

Riskutredning detaljplan



Nabbensberg Västra, Vänersborg

2024-04-19

Rev. Datum:

-

PROJEKTNAMN
Detaljplan för Nabbensberg Västra

STATUS
Version 0.1

FASTIGHET OCH KOMMUN
Nabbensberg Västra, Vänersborg

UPPDRAGSGIVARE
Serneke Fastighetsstyrning AB

UPPDRAGSANSVARIG
Fredrik Nystedt

HANDLÄGGARE
Adam Lindström



Briab
The right side of risk



Innehåll

| | |
|---|-----------|
| 1. Inledning | 3 |
| 1.1. Bakgrund | 3 |
| 1.2. Syfte och mål | 3 |
| 1.3. Omfattning och avgränsningar | 3 |
| 1.4. Metod | 3 |
| 1.5. Kvalitetsledningssystem | 4 |
| 1.6. Revideringar och egenkontroll | 4 |
| 2. Riskhänsyn vid fysisk planering | 5 |
| 2.1. Fysisk planering | 5 |
| 2.2. Risk | 5 |
| 2.3. Regelverk och styrande dokument | 5 |
| 2.4. Metodik, principer och kriterier för riskvärdering | 6 |
| 3. Planområdets förutsättningar | 10 |
| 3.1. Planområdet och planförslaget | 10 |
| 3.2. Edsvägen | 10 |
| 3.3. Personintensitet | 11 |
| 4. Riskinventering | 12 |
| 4.1. Översiktlig riskinventering | 12 |
| 4.2. Transport av farligt gods | 12 |
| 4.3. Projektspecifika data för beräkningar | 16 |
| 5. Risknivåer och riskvärdering | 17 |
| 5.1. Individrisk | 17 |
| 5.2. Samhällsrisk | 18 |
| 5.3. Bedömning av lämpliga säkerhetshöjande åtgärder | 19 |
| 6. Slutsatser | 20 |
| 6.1. Allmänt | 20 |
| 6.2. Rekommendationer | 20 |
| 7. Referenser | 21 |
| A. Frekvenser för olycka med farligt gods | 23 |
| B. Konsekvenser av olyckor med farligt gods | 28 |
| C. Risknivåer | 41 |
| D. Diskussion om modell och indata | 44 |
| E. Säkerhetshöjande åtgärder | 46 |



1. Inledning

1.1. Bakgrund

Briab har fått i uppdrag av Serneke Fastighetsstyrning AB att utreda den riskbild som är förknippad med exploatering av Nabbensberg Västra i Vänersborg. Utredningen görs utifrån plan- och bygglagens (2010:900) krav på att bebyggelse ska lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till människors hälsa och säkerhet, och risken för olyckor.

1.2. Syfte och mål

Syftet med riskutredningen är att bedöma riskbilden som är förknippad med planerad markanvändning inom planområdet. Målet med utredningen är att ta fram ett underlag för aktuell detaljplaneprocess.

1.3. Omfattning och avgränsningar

Med risk avses i dessa sammanhang en sammanvägning av frekvensen för en olycka och dess konsekvens. Rapporten behandlar akuta risker för människors liv, så kallade olycksrisker vilka är relaterade till transport av farligt gods och omkringliggande farliga verksamheter. Följande risker behandlas ej:

- Risker för egendom, arbetsmiljö och påverkan på miljön.
- Risker förknippade med långsamma och negativa hälsoeffekter, så som buller, vibrationer, radioaktiv strålning, elektromagnetiska fält och luftföroreningar.
- Risker relaterade till trafiksäkerhet som påkörning av personer och elsäkerhet vid järnvägen.

Tidshorisont för utredningen är vald till 2040, med tanke på trafiktal och befolkningstäthet.

Denna riskutredning omfattar följande typer av riskkällor:

- Transport av farligt gods på Edsvägen (väg in till Vänersborg från väg E45).
- Verksamheter i planområdets närhet som bensinstationer och mindre industrier.

Riskanalysen besvarar följande centrala frågeställningar.

- Hur kan riskhänsyn visas och finns det ett behov av åtgärder eller begränsningar för att möjliggöra föreslagen utveckling av planområdet?

1.4. Metod

Följande metodik används i denna riskutredning:

1. Riskidentifiering. För att ta reda på vilka riskkällor som kan vara relevanta för området studeras området (med omgivning) inom ramen för utredningens avgränsningar. I riskidentifieringen görs en första översiktlig bedömning för att sålla ut vilka riskkällor som erfordrar fördjupad analys.
2. Fördjupad analys. De olyckshändelser som är svårbedömda och väntas ge upphov till förändrad risknivå för området analyseras mer ingående via separata analyser. Händelsernas frekvenser och konsekvenser studeras via logiska argument och/eller via kvantitativa, probabilistiska metoder för att uppskatta risknivån.



Analysen arbetar efter följande frågeschema:

- a. Vad kan hända?
 - b. Hur ofta kan det hända?
 - c. Vilka blir konsekvenserna?
 - d. Hur stor är risken?
3. Riskvärdering. Uppskattade risknivåer ställs samman och en riskvärdering genomförs. Eventuella säkerhetshöjande åtgärder med koppling till markanvändning och funktion identifieras och därefter verifieras att de ger avsedd effekt på risknivån, det vill säga att den sjunker till en acceptabel nivå. Säkerhetshöjande åtgärder kan exempelvis vara att rekommendera mindre känslig verksamhet, verksamhet där människor inte uppehåller sig längre stunder, skyddsavstånd eller tekniska lösningar och funktionskrav.

1.5. Kvalitetsledningssystem

Denna rapport omfattas av egenkontroll enligt anvisningarna i Briabs kvalitetsledningssystem, vilket är certifierat enligt ISO 9001. Egenkontrollen omfattas av en handläggarkontroll samt en kvalitetsgranskning genomförd av en särskild utsedd kvalitetskontrollant inom Briab. Vid kontrollen används en särskild checklista för att säkerställa att relevanta krav tillgodosätts. Checklistan ser olika ut beroende på typ av uppdrag och handling. Revideringar av handlingar ska normalt genomgå samma kontroll som ovan. Mindre formaliaändringar som inte påverkar utformning i övrigt får ske av handläggare själv. I dessa fall ska detta framgå i handlingen.

1.6. Revideringar och egenkontroll

Datum och revideringsdatum samt handläggare och kvalitetsgranskare för samtliga framtagna versioner av denna handling sammanfattas i tabell nedan:

| DATUM | STATUS | HANDLÄGGARE | KONTROLL |
|------------|----------------------|----------------|-----------------|
| 2024-03-XX | Version 0.1 (utkast) | Adam Lindström | Fredrik Nystedt |
| 2024-04-19 | Version 0.1 | Adam Lindström | -* |

* Endast förtydligande i kapitel 5.3 att åtgärder gäller alla typer av byggnader/verksamheter.



2. Riskhänsyn vid fysisk planering

2.1. Fysisk planering

Fysisk planering regleras av plan- och bygglagen och miljöbalken och är en delprocess i samhällsplaneringen. Den fysiska planeringen reglerar användningen av mark- och vattenområden i tid och rum. Den fysiska planeringen tar oftast sin form i översiktsplaner och detaljplaner, som båda tas fram av kommunen som är självbestämmande i dessa frågor. Länsstyrelsen har i processen en rådgivande och granskande roll. Länsstyrelsens uppgift är att företräda och samordna statens intressen samt bevaka särskilda frågor kopplat till bland annat riksintressen och frågor som rör hälsa och säkerhet.

2.2. Risk

Begreppet **risk** kan tolkas på olika sätt. I denna utredning tolkas risk som en önskad händelses sannolikhet multiplicerat med omfattningen av dess konsekvens, vilka kan vara kvalitativt eller kvantitativt bestämda. I utredningen kvantifieras risk med två olika riskmått, individ- respektive samhällsrisk.

Med **individrisk**, eller platspecifik risk, avses risken för en enskild individ att omkomma av en specifik händelse under ett år på en specifik plats. Individrisken är oberoende av hur många människor som vistas inom ett specifikt område och används för att se till att enskilda individer inte utsätts för oacceptabelt höga risknivåer [1].

Samhällsrisk, eller kollektivrisken, visar den ackumulerade sannolikheten för det minsta antal människor som omkommer till följd av konsekvenser av oönskade händelser. Till skillnad från individrisk tar samhällsrisk hänsyn till den befolkningssituation som råder inom undersökt område [1].

2.2.1. Riskhänsyn

Kommunernas planer prövas alltid av länsstyrelsen med avseende på miljö, hälsa och risken för olyckor. Riskhänsyn i fysisk planering är därför högst relevant, och viktigt att ta med i planeringsprocessens tidiga skeden för att minska sårbarhet och öka planområdets robusthet [2].

Alla verksamheter är förknippade med risker som människor till viss grad accepterar, och nytta i en aspekt balanseras med en riskkostnad i densamma. I planprocessen innebär en alltför strikt riskhänsyn mycket stora skyddsavstånd från transportleder och verksamheter, vilket i sin tur kan innebära dålig stadsuppbyggnad och ineffektiv markanvändning. En riskanalys i en planprocess syftar därför till att optimera markanvändningsnytta till en låg riskkostnad.

2.3. Regelverk och styrande dokument

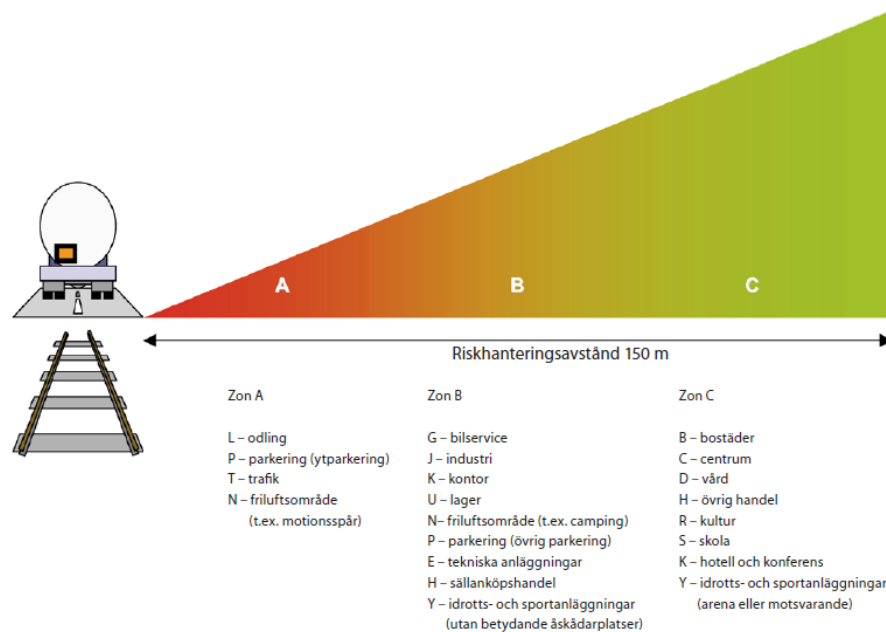
2.3.1. Plan- och bygglagen (2010:900)

Plan- och bygglagen (2010:900) anger att bebyggelse och byggnadsverk ska lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till bland annat människors hälsa och säkerhet. Vidare ska bebyggelse och byggnadsverk utformas och placeras på den avsedda marken på ett sätt som ger lämpligt skydd mot uppkomst och spridning av brand och mot trafikolyckor och andra olyckshändelser.



2.3.2. Riskpolicy från Länsstyrelserna i Skåne, Stockholm och Västra Götalands län

Länsstyrelserna i Skåne, Stockholm samt Västra Götalands län gemensamma dokument *Riskhantering i detaljplaneprocessen* anger att riskhanteringsprocessen ska beaktas vid markanvändning inom 150 meter från en transportled för farligt gods [3]. I Figur 1 illustreras lämplig markanvändning i anslutning till transportleder för farligt gods. Zonerna har inga fasta gränser, utan riskbilden för det aktuella planområdet är avgörande för markanvändningens placering. En och samma markanvändning kan därmed tillhöra olika zoner.



Figur 1. Zonindelning för riskhanteringsavstånd [3]. Zonerna representerar lämplig markanvändning i förhållande till transportled för farligt gods. Zonerna har inga fasta gränser.

2.4. Metodik, principer och kriterier för riskvärdering

2.4.1. Metodik för riskhantering

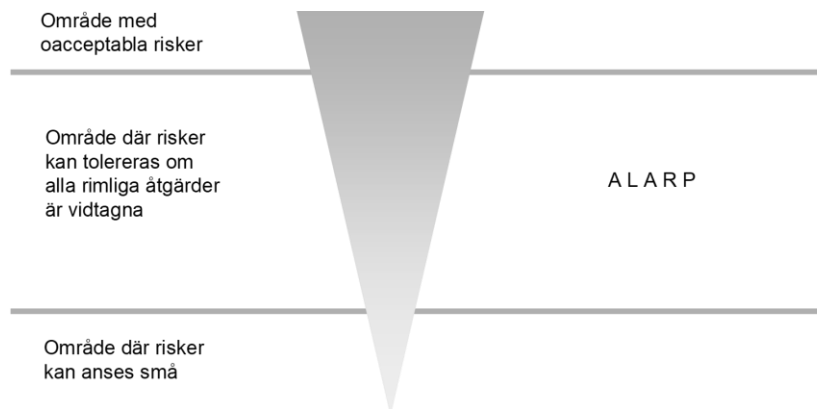
Riskhanteringsprocessen utgör ett systematiskt och kontinuerligt arbete för att kontrollera eller minska olycksrisker. Hanteringen kan delas in i tre delar: riskanalys, riskvärdering och riskreduktion. Dessa behandlar allt från identifiering av riskkällor och potentiella olyckshändelser till beslut om och genomförande av säkerhetshöjande åtgärder samt uppföljning av att besluten ger avsedd påverkan på riskbilden. Schematiskt kan processen beskrivas enligt Figur 2.



Figur 2. Metodik för riskhantering [3].

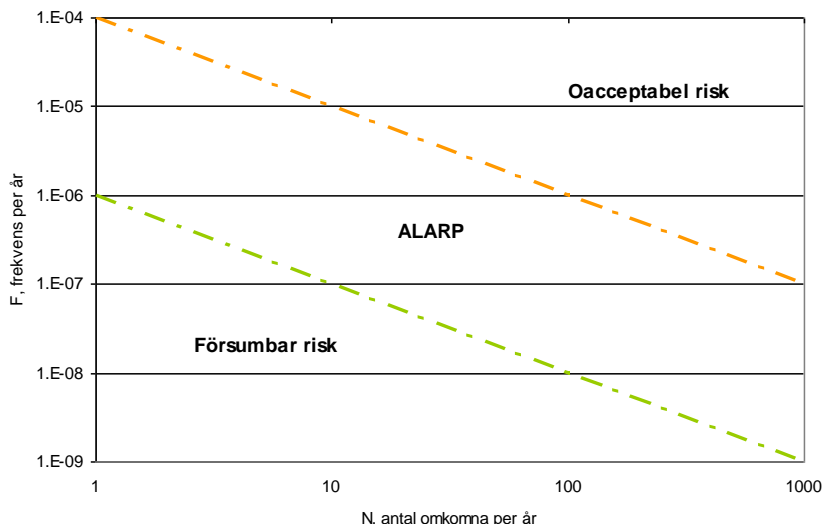
2.4.2. Allmänt om kriterier för riskvärdering

Kriterier för riskvärdering kommer att användas för att avgöra om risknivån är acceptabel eller inte. Acceptanskriterierna uttrycks vanligen som sannolikheten för att en olycka med en given konsekvens skall inträffa. Risker kan delas in i tre kategorier. De kan anses vara acceptabla, acceptabla med restriktioner eller oacceptabla. Figur 3 beskriver principen för riskvärdering [1].



Figur 3. Princip för uppbyggnad av riskvärderingskriterier [1].

Om en risk anses vara acceptabel med restriktioner innebär det att risknivån är i ett område som vanligtvis benämns "ALARP", vilket är en förkortning av "As Low As Reasonably Practicable". Befinner sig risken för en olycka inom detta område bör riskerna reduceras så mycket som är möjligt utifrån samhällsekonomiska och praktiskt perspektiv. Konkret kan det efter en avvägning avseende kostnad och riskreduktion innebära en kombination av olika säkerhetshöjande åtgärder. Exempel på sådana säkerhetshöjande åtgärder kan vara separering (avstånd till transportleden), differentierad bebyggelse, byggnadstekniska åtgärder och utformning av området närmast transportleden. I Figur 4 visas hur ALARP-zonen kan definieras med kvantitativa mått.



Figur 4. Illustration av ALARP-zonen för samhällsrisk med exempel på riskvärderingskriterier [1].

2.4.3. Räddningsverkets (MSB:s) fyra principer för riskvärdering

För risker förknippade med människors hälsa och säkerhet bedöms risknivåerna övergripande utifrån de fyra principer som utarbetats av Räddningsverket, nuvarande MSB [1]:

- **Rimlighetsprincipen** - Risker som med tekniskt och ekonomiskt rimliga medel kan elimineras eller reduceras ska alltid åtgärdas (oavsett risknivå).
- **Proportionalitetsprincipen** - En verksamhets totala risknivå bör stå i proportion till den nytta i form av exempelvis produkter och tjänster som verksamheten medför.
- **Fördelningsprincipen** - Riskerna bör, i relation till den nytta verksamheten medför, vara skäligt fördelade inom samhället.
- **Principen om undvikande av katastrofer** - Om risker realiserats bör detta hellre ske i form av händelser som kan hanteras av befintliga resurser än i form av katastrofer.

Proportionalitets- och fördelningsprincipen och principen om undvikande av katastrofer uppfylls vid värdering med de kvantitativa värderingskriterierna för individ- och samhällsrisk. Rimlighetsprincipen kan uppfyllas genom exempelvis så kallad kostnad-nytta-analys [1].

2.4.4. Risker för tredje man

När riskvärdering och kriterier för risktolerans diskuteras ska graden av frivillighet att utsätta sig för den aktuella risken tas med, och därför skiljs det på personer som har anknytning till den aktuella riskkällan, och personer ur allmänheten, så kallat "tredje man". Denna uppdelning grundar sig i fördelningsprincipen som menar att enskilda grupper inte ska utsättas för oproportionerligt stora risker i förhållande till den nytta som den riskfyllda verksamheten genererar för dem, se avsnitt 2.4.3. Tredje man är alltså för verksamheten utomstående individer som inte är direkt inblandade i verksamhetens riskbild men som ändå kan löpa skada vid en olycka.

När det gäller transport av farligt gods eller andra risker i den fysiska planeringen räknas exempelvis boende, personer som befinner sig på offentliga platser eller i affärer som tredje man. Risknivåtoleransen för tredje man bör vara mycket låg, eftersom dessa personer endast har liten eller ingen nytta av att verksamheten bedrivs. För att risknivån ska anses tolerabel



för tredje man kan säkerhetshöjande åtgärder bli nödvändiga, och markanvändning kan behöva regleras genom att planera för exploatering avsedd för låg persontäthet.

2.4.5. DNV:s föreslagna kriterier

I Sverige finns inget nationellt beslut om vilket tillvägagångssätt eller vilka kriterier som ska tillämpas vid riskvärdering inom planprocessen. Praxis vid riskvärderingen är att använda Det Norske Veritas (DNV) förslag på riskkriterier gällande individ- och samhällsrisk [1].

För *individrisk* föreslog DNV följande kriterier:

- Övre gräns för område där risker, under vissa förutsättningar, kan accepteras: 10^{-5} per år.
- Övre gräns för område där risker kan kategoriseras som låga: 10^{-7} per år.

För *samhällsrisk* föreslog DNV följande kriterier:

- Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras: $F=10^{-4}$ per år för $N=1$ med lutning på F/N-kurva: -1.
- Övre gräns för område där risker kan kategoriseras som låga: $F=10^{-6}$ per år för $N=1$ med lutning på F/N-kurva: -1.

Samhällsriskskriterierna ovan beräknas med frekvenser för 1 km transportled och avser ett område på 1 km^2 med den tillkommande bebyggelsen placerad i mittpunkt.



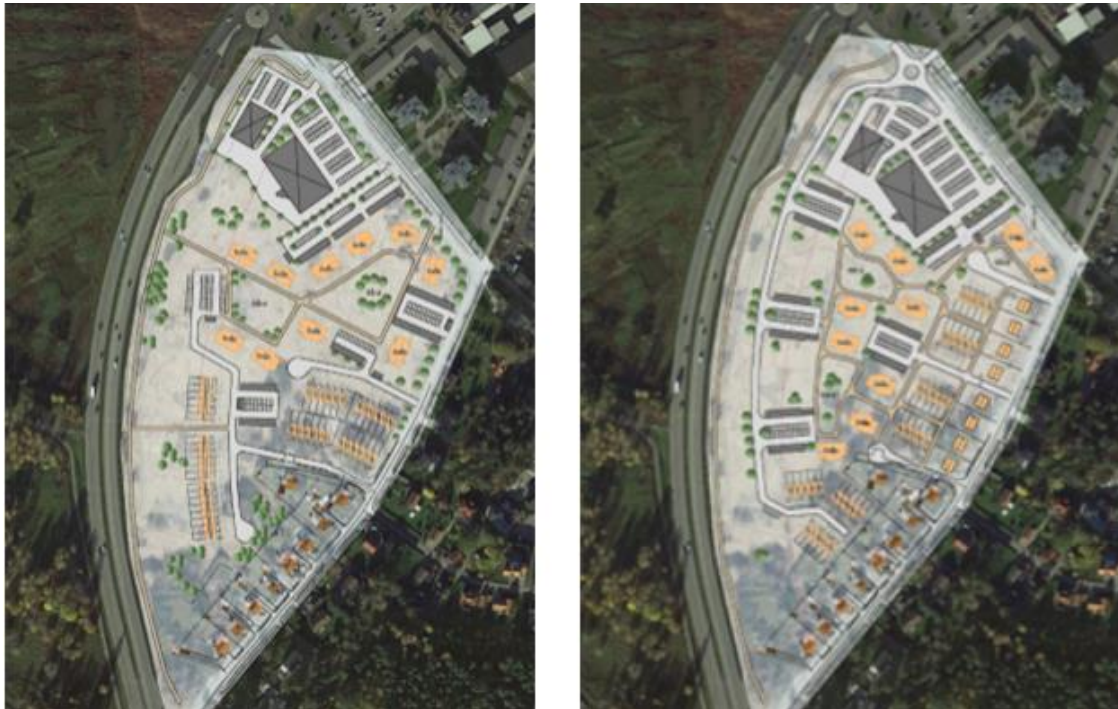
3. Planområdets förutsättningar

3.1. Planområdet och planförslaget

Planområdet ligger vid Vänersborgs södra infart, i anslutning till befintliga bostadsområden och grönområden. Det gränsar i norr till tre punkthus och Quality hotell, i öster och söder till villabebyggelse och i väster till Edsvägen och det kommunala naturreservatet Nygårdsängen. Marken kan idag närmast beskrivas som öppen ängsmark med träd i södra delen

Syftet med planansökan är att upprätta en ny detaljplan för bostäder och handel. I dagsläget finns inga planer på att uppföra skola eller förskola inom området. Bostäder utförs i form av både flerbostadshus och villor.

Det finns två framtagna skisser på området, se figur 5. I skiss 1 är avstånd mellan Edsvägen och handelsbyggnad 30 meter. I skiss 2 är motsvarande avstånd 50 meter, dock 40 meter mellan rastplats vid Edsvägen och garagelänga.



Figur 5. Till vänster: skiss 1. Till höger: skiss 2.

3.2. Edsvägen

Edsvägen är att betrakta som sekundär transportled för farligt gods för det aktuella planområdet.

Hastighetsbegränsningen vid det aktuella planområdet är 70 km/h.

Vägen består av två körfält i vardera riktningen. Mellan södergående och norrgående körfält finns ett smalare gräsdike samt en refug närmare rondellen i norr. Mellan vägen och planområdet finns ett vägdike och en mindre vall.



Trafikinformation har erhållits från gatuenheten i Vänersborgs kommun. Senaste trafikmätning för Edsvägen gjordes 2021 och uppgick då till ca 21 000 fordon per vardag. I denna analys förenklas detta till att motsvara ÅDT, vilket medför ett konservativt antagande i analysen eftersom heltrafiken sannolikt är något lägre.

År 2016 gjorde Trafikverket en mätning där Edsvägen övergår till väg E45. ÅDT uppgick då till ca 13 000 fordon. Av dessa var ca 6,5 % tunga fordon och antal axelpar var ca 2,8 % mer än totala ÅDT. Dessa procentsiffror förutsätts gälla även med dagens trafik.

I denna analys ska år 2040 användas som prognosår. Trafikuppräkningsstal 2021-2040 är 1,39 för lastbilar i Västra Götalands län och 1,16 för personbilar i Vänersborgs kommun.

Tabell 1. Inhämtade trafikuppgifter för år 2021, och uppräknade trafikuppgifter avseende år 2040 [4].

| PARAMETER | ÅR 2021 | PROGNOS 2040 |
|---------------|---------|--------------|
| ÅDT Fordon | 21 000 | 24 749 |
| ÅDT Lastbilar | 1 365 | 1 892 |
| ÅDT Axelpar | 21 588 | 25 564 |

En viktig parameter för att kunna bedöma sannolikheten för en trafikolycka, och därigenom också sannolikheten för en olycka med farligt gods är *olyckskvoten*. Detta är ett mått på mängden olyckor som sker på vägen. Enheten för olyckskvot är olyckor per miljon fordonskilometer. För aktuellt sträcka har värdet 0,70 olyckor per miljon fordonskilometer använts [5].

3.3. Personintensitet

Personintensiteten ansätts till 5000 personer per km², vilket är brukligt för denna typ av områden utanför själva centrumbebyggelsen.



4. Riskinventering

4.1. Översiktlig riskinventering

Det finns inga direkta riskkällor i närheten av planområdet mer än Edsvägen. Närmaste bensinstation är belägen ca 350 meter från planområdets yttre gräns. Därtill finns mindre industrier norr om området på andra sidan av kanalen (Karls grav). Avståndet till industriområdet uppgår till ca 350 meter.

Därmed bedöms tillräckligt säkerhetsavstånd finns till närliggande verksamheter som hanterar farligt gods.

4.2. Transport av farligt gods

Med farligt gods avses varor eller ämnen som har sådana egenskaper att de kan vara skadliga för människor, miljö och egendom om de inte hanteras rätt under transport [6]. Med transportleder för farligt gods avses sådana leder som är utpekade som primära eller sekundära transportleder eller vägar där det sannolikt kan gå farligt gods-transporter. En primär transportled för farligt gods är avsedd för genomfartstrafik, varför där kan förväntas gå farligt gods-transporter i alla klasser¹, medan en sekundär transportled är avsedd för lokala transporter till och från de primära lederna.

Huvuddelen av olyckorna med farligt gods inblandat är i grunden trafikolyckor och åtgärder för att förbättra vägsäkerheten medverkar därför också till att minska risken för en olycka med farligt gods. Det finns andra händelser än trafikolyckor som kan ge ett utsläpp av farligt gods, till exempel fordonsbränder och handhavandefel vid lastning. En brittisk studie visar att andelen sådana händelser är i storleksordningen 5 % och det antas därmed att dessa händelser inryms i de konservativa skattningar av olycksfrekvenserna som rapporten bygger på [7].

4.2.1. Transportklasser (ADR) och representativa scenarier

Transport av farligt gods på land regleras i ADR² för transport på väg. Farligt gods utgörs av flera olika ämnen vars fysikaliska och kemiska egenskaper varierar, och i ADR delas farligt gods in i klasser beroende på vilka farliga egenskaper som ämnet har. I Tabell 2 beskrivs klasserna och karakteristiska konsekvenser för respektive klass.

Tabell 2. Kortfattad beskrivning av respektive ADR -klass.

| KLASS | KATEGORI | BESKRIVNING | KONSEKVENSER |
|-------|-----------------------------|--|---|
| 1 | Explosiva ämnen och föremål | Sprängämnen, tändmedel, ammunition, etc. | Orsakar tryckpåverkan, brännskador och splitter. Stor mängd massexplosiva ämnen ger skadeområde med 100 m radie (orsakat av tryckvåg). Personer kan omkomma både inomhus och utomhus. Övriga explosiva ämnen och mindre mängder massexplosiva ämnen ger enbart lokala konsekvenser. |

¹ Transporter med farligt gods delas in i nio olika klasser för ämnen med liknande risker vid transport på väg. Klassificeringen benämns ofta ADR-klasser efter ett europeiskt regelverk för transport av farligt gods på landsväg.

² ADR är europeiska föreskrifter för transport av farligt gods på väg och i terräng. I Sverige används den nationella anpassningen ADR-S (MSBFS 2022:3).



| KLASS | KATEGORI | BESKRIVNING | KONSEKVENSER |
|-------|---------------------------------------|--|--|
| 2 | Gaser | Inerta gaser (kväve, argon etc.) oxiderande gaser (syre, ozon, etc.), brandfarliga gaser (acetylen, gasol etc.) och giftiga gaser (klor, svaveldioxid etc.). | Förgiftning, brännskador och i vissa fall tryckpåverkan till följd av giftigt gasmoln, jetflamma, gasmolnsexplosion eller BLEVE. Konsekvensområden över hundratals meter. Omkomna både inomhus och utomhus. |
| 3 | Brandfarliga vätskor | Bensin och diesel (majoriteten av klass 3) transporteras i tankar som rymmer maximalt 50 ton. | Brännskador och rökskador till följd av pölbrand, värmestrålning eller giftig rök. Konsekvensområden för brännskador utbreder sig vanligtvis inte mer än omkring 20 m från en pöl. Rök kan spridas över betydligt större område. Bildandet av vätskepöl beror på vägutformning, underlagsmaterial och diken etc. |
| 4 | Brandfarliga fasta ämnen | Kiseljärn (metallpulver), karbid och vit fosfor. | Brand, strålning och giftig rök. Konsekvenserna vanligtvis begränsade till närområdet kring olyckan. |
| 5 | Oxiderande ämnen. Organiska peroxider | Natriumklorat, väteperoxider, kaliumklorat, ammoniumnitrat, etc. | Tryckpåverkan och brännskador. Självantändning, explosionsartat brandförlopp vid kontakt med brännbart organiskt material. Konsekvensområden för tryckvågor uppemot 100 m. |
| 6 | Giftiga ämnen. Smittförande ämnen | Arsenik-, bly- och kvicksilversalter, bekämpningsmedel, etc. | Giftigt utsläpp. Konsekvenserna vanligtvis begränsade till kontakt med själva olycksfordonet eller dess omedelbara närhet. |
| 7 | Radioaktiva ämnen | Medicinska preparat. Vanligtvis små mängder. | Utsläpp radioaktivt ämne, kroniska effekter, mm. Konsekvenserna begränsas till närområdet. |
| 8 | Frätande ämnen | Saltsyra, svavelsyra, salpetersyra, natrium- och kaliumhydroxid (lut). | Utsläpp av frätande ämne. Dödliga konsekvenser begränsade till närområdet. Personskador kan uppkomma på längre avstånd. |
| 9 | Övriga farliga ämnen | Gödningsämnen, asbest, magnetiska material etc. | Konsekvenserna vanligtvis begränsade till kontakt med själva olycksfordonet eller dess omedelbara närhet. |

I tabellen ovan kan fyra olika typer av konsekvenser härledas:

- Brand
- Explosion
- Utsläpp av giftiga kemikalier
- Utsläpp av frätande kemikalier

Dessa konsekvenser kan härledas till olyckor med farligt gods i klass 1, 2, 3, 6 och 8. Ämnen i klass 4 (4.1-4.3), oxiderande ämnen och organiska peroxider i klass 5 (5.1-5.2), radioaktiva ämnen i klass 7 och övriga ämnens i klass 9 utgör normalt ingen fara för omgivningen då konsekvenserna koncentreras till fordonets närhet. Det finns dock undantag, till exempel kan oxiderande ämnen och organiska peroxider (klass 5) som blandas med brandfarliga vätskor (klass 3) orsaka explosioner. Föroreningar i en tank med väteperoxid (klass 5) kan orsaka ett skenande sönderfall med en tanksprängning som följd.

Utöver den uppdelningen i olika klasser krävs kännedom om fördelningar inom respektive klass för att kunna göra korrekta beräkningar av risken. Exempelvis omfattar klass 2 "gaser", vilka kan vara brandfarliga, giftiga eller sakna någon av dessa egenskaper. Likaså spelar det



stor roll vilken av underklasserna 1.1-1.3 alternativt 1.4 som explosivämnen i klass 1 tillhör. Klass 1.4 kan nämligen inte ge upphov till skador som påverkar omgivningen.

4.2.2. Farligt gods på Edsvägen

Nationell statistik från förvaltningsmyndigheten Trafikanalys under perioden 2017-2021 visar att transporter med farligt gods utgjorde cirka 1 % av antalet godstransporter.

Det bör dock poängteras att 1 % av totala antalet godstransporter ger ca 20 transporter per dag med farligt gods. In till Vänersborg finns två sekundära transportleder för farligt gods in till Vänersborg. Den ena via E45 väster om Vänersborg och den andra är aktuell väg, Edsvägen. Vägen väster om Vänersborg mynnar som sekundär transportled vid Vänersborgs hamn varför transport till och från hamnen förväntas ske via denna väg, och inte via Edsvägen.

De verksamheter som har identifierats som mottagare av farligt gods i närheten av planområdet är 3 bensinstationer och ett mindre industriområde med småskaliga industrier. En bensinstation får uppskattningsvis leveranser av drivmedel 4 gånger per vecka vilket för tre bensinstationer ger 12 leveranser per vecka. Ingen av de identifierade verksamheterna i närliggande industriområden bedöms ge upphov till någon större mängd transport av farligt gods. För att ändå beakta möjliga transporter dubbleras mängden transporter med brandfarlig vätska i förhållanden till drivmedelsleveranser. Dessutom antas viss transport av brandfarlig gas och giftig gas ske. 12 transporter i veckan antas ske vilket får anses vara konservativt då det är lika många transporter som till bensinstationerna (vilka är de verksamheter som identifierats ge upphov till flest transporter av farligt gods vid aktuellt planområde).

Dessutom antas få transporter av farligt gods klass 5, 6 och 8 ske längs med Edsvägen för att risker kopplade till dessa klasser inte ska försummas, även om det troligen endast sker enstaka transporter av dessa klasser. 1 transport i veckan av klass 2, 2 transporter i veckan av klass 6 och 3 transporter i veckan av klass 8 beaktas i denna riskanalys (fördelningen följer rangordning enligt nationell statistik).

Totalt uppskattas mängden transporter av farligt gods per vecka till:

- Klass 2.1: 8
- Klass 2.3: 4
- Klass 3: 24
- Klass 5.1: 1
- Klass 6: 2
- Klass 8: 3

Totalt 42 transporter i veckan vilket ger 6 transporter om dagen. Det utgör 0,3 % av antalet tunga fordon på Edsvägen. Observera att antalet transporter är grovt uppskattade och kan avvika från faktiska förhållanden. Antalet transporter bedöms dock vara konservativt antagna.



Fördelningen av mängden transporter blir:

- Klass 2.1: 19 %
- Klass 2.3: 10 %
- Klass 3: 57 %
- Klass 5.1: 2 %
- Klass 6: 5 %
- Klass 8: 7 %

4.2.3. Val av olycksscenarioer

Vid transport av farligt gods utgör nedanstående olycksförlopp de dimensionerande olycksscenarioerna som utgör underlag till beräkning av individ- och samhällsrisknivåer (se även Tabell 3):

- Detonation till följd av blandning av oxiderande ämne med brandfarlig vätska.
- Utsläpp och antändning av kondenserad brännbar gas som kan ge upphov till BLEVE, gasmolnexplosion, gasmolnsbrand och jetflamma, vilket leder till brännskador och i vissa fall även tryckskador.
- Utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor vilka orsakar pölbrand med efterföljande brännskador.
- Utsläpp av kondenserad giftig gas som orsakar förgiftning vid inandning.
- Utsläpp av giftiga brandfarliga vätskor vilka orsakar förgiftning vid inandning när de driver i väg som gasmoln.
- Utsläpp av giftiga vätskor som orsakar förgiftning vid inandning när de driver i väg som gasmoln.
- Utsläpp av frätande vätskor vilka orsakar frätskador vid hudkontakt.

Tabell 3. Sammanfattning av dimensionerande olycksscenarioer vid transport av farligt gods.

| ÄMNE | PRIMÄR HÄNDELSE | SEKUNDÄR HÄNDELSE | SKADEVERKAN |
|-------------------------|---|---|--|
| Tryckkondenserade gaser | Förångas vid utsläpp och övergår i gasform som driver i väg med vinden. | Brand och explosion vid antändning av gasmoln på längre avstånd från utsläppskällan (UVCE ³). Jetflamma vid antändning av utströmmande gas. Explosion vid kraftig upphettning av tryckkondenserad gas som kokar och släpps ut momentant från en bristande tank (BLEVE ⁴). | Brännskador Tryckskador Förgiftningsskador vid inandning |

³ Unconfined Vapour Cloud Explosion.

⁴ Boiling Liquid Expanding Vapour Cloud Explosion.



| ÄMNE | PRIMÄR HÄNDELSE | SEKUNDÄR HÄNDELSE | SKADEVERKAN |
|--|--|--|---|
| Brandfarliga, giftiga och frätande vätskor | Breder ut sig på marken och bildar pölar som avdunstar. Giftiga ångor driver i väg med vinden. | Pölbrand vid antändning av vätskepöl. Explosion vid antändning av avdunstade ångor, eller vid blandning med oxiderande organiska peroxider. | Brännskador Tryckskador Förgiftningsskador vid inandning Frätskador vid hudkontakt |

4.3. Projektspecifika data för beräkningar

Nedan redovisas övrig projektspecifika data som använts vid beräkningar av risknivåer, enligt metoden som beskrivs i bilagan.

4.3.1. Vägtrafikdata

Antal fordon förbi planområdet med farligt gods på Edsvägen beräknas till 2 190 per år.

Nedan anges övriga trafikdata till beräkningarna. Se beräkningsbilagan för mer information.

| HASTIGHET | ANDEL SINGELOLYCKOR | KORRIGERINGSFAKTOR | INDEX FARLIGT GODS |
|-----------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 70 km/h | 0,20 | 1,80 | 0,12 |

Olyckskvoten på 0,7 olyckor per miljon fordonskilometer från VTI räknas om till 0,68 olyckor per miljon axelparskilometer på följande sätt:

$$O_{k,axelpar} = O_{k,fordon} \times \frac{\text{ÅDT}_{fordon}}{\text{ÅDT}_{axelpar}} = 0,7 \times \frac{24749}{25564} \approx 0,68$$

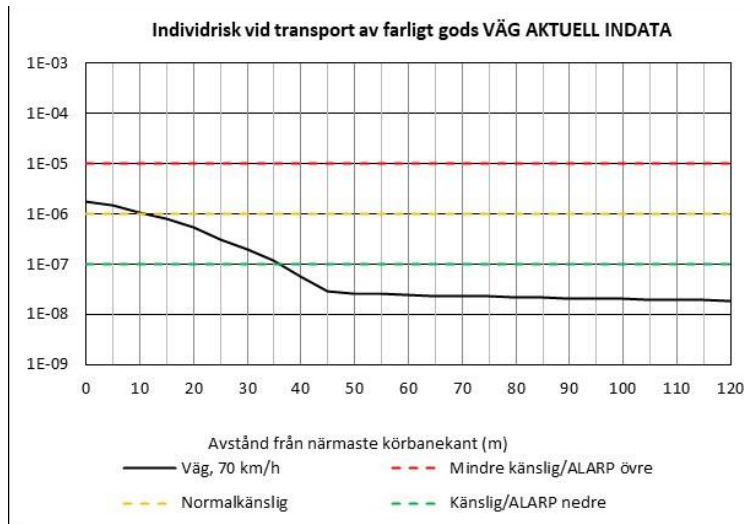
Dimensionerande olycksfrekvens beräknas därefter till 1,224 olyckor per miljon axelparskilometer, genom att multiplicera olyckskvoten med korrigeringsfaktorn.



5. Risknivåer och riskvärdering

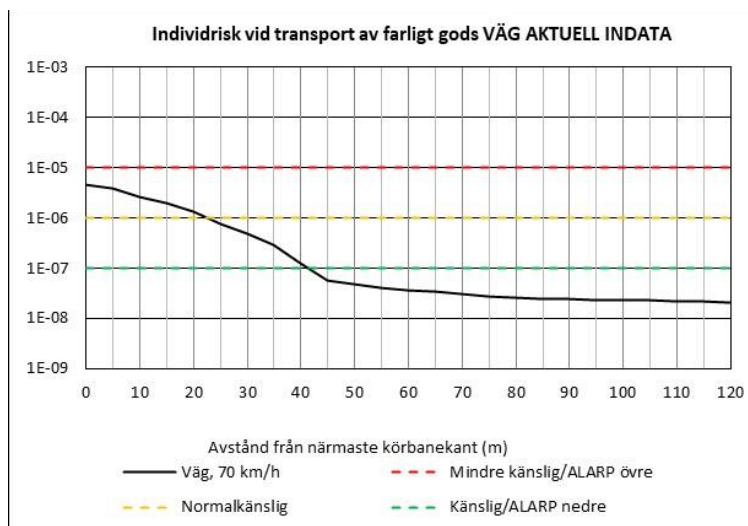
5.1. Individrisk

I detta avsnitt redovisas graf över beräknade individrisknivåer utmed studerad vägsträcka enligt antagna transportmängder.



Figur 6. Individrisk vid transport av farligt gods på Edsvägen utmed planområdet med antagen transportmängd.

I nedanstående figur redovisas graf över beräknade individrisknivåer utmed studerad vägsträcka med statistik för farligt gods enligt nationellt underlag.



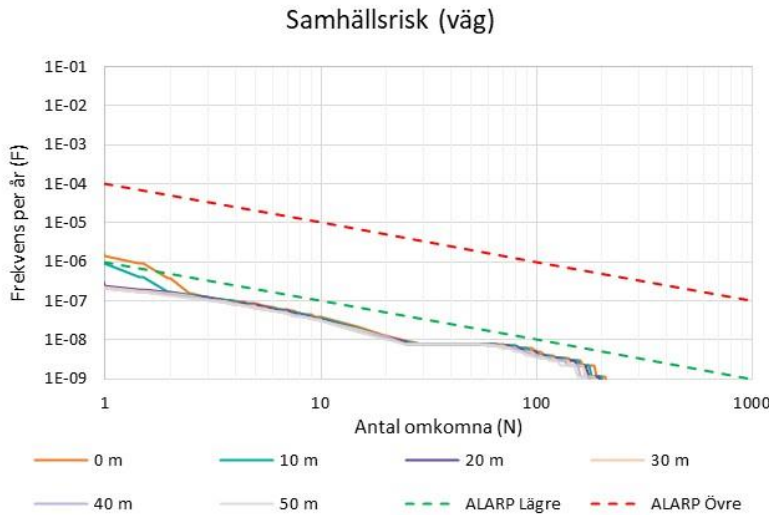
Figur 7. Individrisk vid transport av farligt gods på Edsvägen utmed planområdet med nationell statistik.

Skillnaden i risknivån är således marginell mellan antagna transportmängder och nationell statistik.



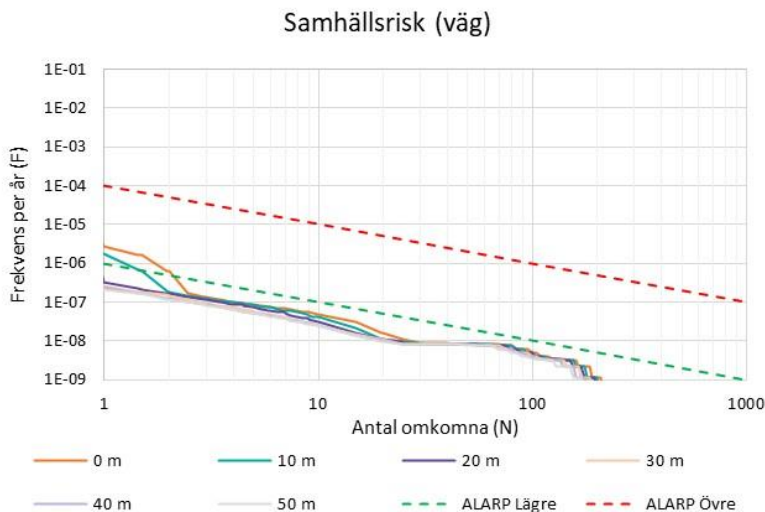
5.2. Samhällsrisk

I detta avsnitt redovisas samhällsrisken utmed vägen. De olika linjerna anger bebyggelsefritt avstånd från vägen.



Figur 8. Samhällsrisk för planområdet med hänsyn till transport av farligt gods på Edsvägen med antagna transportmängder.

I nedanstående figur redovisas graf över beräknad samhällsrik utmed studerad vägsträcka med statistik för farligt gods enligt nationellt underlag.



Figur 9. Samhällsrisk för planområdet med hänsyn till transport av farligt gods på Edsvägen med nationell statistik.

Skillnaden i risknivån är således marginell mellan antagna transportmängder och nationell statistik.



5.3. **Bedömning av lämpliga säkerhetshöjande åtgärder**

Med hänsyn beräknade risknivåer i denna handling föreslås att ett minsta skyddsavstånd mellan Edsvägen och bebyggelse ska uppgå till 35 meter om inte skyddsåtgärder införs.

Mellan 30–35 meter från Edsvägen föreslås byggnader uppföras med ytterväggar i minst klass EI 30. Kortare avstånd än 30 meter mellan Edsväg och byggnader bör inte förekomma.

Inom 35 meter från Edsvägen bör samtliga byggnader utformas så att utrymning är möjlig bort från Edsvägen.

Med byggnader och bebyggelse i detta avsnitt avses bostäder, handel, skolor och motsvarande samt tillhörande bebyggelse, d.v.s. den bebyggelse som föreslås i Figur 5 i kapitel 3.1.



6. Slutsatser

6.1. Allmänt

Syftet med riskanalysen är att undersöka om olycksriskerna avseende farligt gods är acceptabla för studerat planområde. Genom en riskanalys kan möjliga olyckor identifieras och bedömas och eventuella skyddsåtgärder kan därmed rekommenderas.

Avstånd till närliggande verksamheter, som potentiellt skulle kunna utgöra en riskkälla för aktuellt planområde, överstiger 350 meter varför ytterligare detaljstudier av dessa verksamheter ej har varit nödvändig.

6.2. Rekommendationer

Utifrån beräkningar, kriterier, platsspecifika förhållanden och kvalitativa värderingar görs följande rekommendationer gällande skyddsåtgärder:

- Ett minsta skyddsavstånd mellan Edsvägen och bebyggelse ska uppgå till 35 meter utan att ytterligare åtgärder krävs.
- Mellan 30–35 meter från Edsvägen föreslås byggnader uppföras med ytterväggar i minst klass EI 30. Kortare avstånd än 30 meter mellan Edsvägen och byggnader bör inte förekomma.
- Inom 35 meter från Edsvägen bör samtliga byggnader utformas så att utrymning är möjlig bort från Edsvägen.

Inga ytterligare skyddsåtgärder anses nödvändiga att lyfta in i detaljplanen. Notera att detta enbart gäller vid den markanvändning och övriga förutsättningar som anges i kapitel 3.



7. Referenser

- [1] Räddningsverket, "Värdering av risk," Statens Räddningsverk, Karlstad, 1997.
- [2] Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), "Riskhänsyn i fysisk planering," [Online]. Available: <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/samhallsplanering/riskhansyn-i-fysisk-planering/>.
- [3] Länsstyrelserna i Skåne län, Stockholms län, Västra Götalands län, "Riskhantering i detaljplaneprocessen – Riskpolicy för markanvändning intill transportleder för farligt gods," 2006.
- [4] Trafikverket, "PM Trafikuppräkningsstal för EVA och manuella beräkningar 2017-2040-2066," Trafikverket, Borlänge, 2020.
- [5] Räddningsverket, "Farligt gods - Riskbedömning vid transport," Karlstad, 1996.
- [6] Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), "Transport av farligt gods," 2020. [Online]. Available: <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/farligt-gods/>.
- [7] HMSO, "Major hazard aspects of the transport of dangerous substances - report and appendice," Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

Bilagor till riskutredning farligt gods



2024-04-19

Rev. Datum:

PROJEKTNAMN
Detaljplan för Nabbensberg Västra

STATUS
Version 0.1

KOMMUN OCH FASTIGHET
Nabbensberg Västra, Vänersborg





A. Frekvenser för olycka med farligt gods

A.1. Generella indata

A.1.1. Olycksriktning

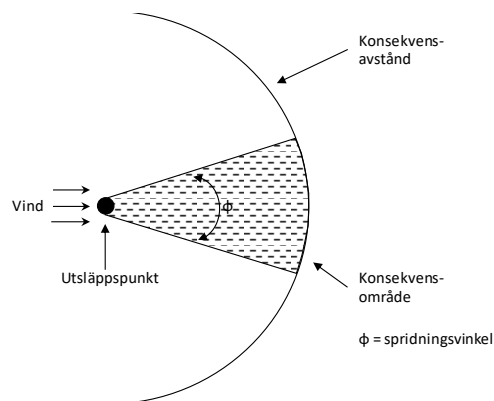
Med "olycksriktning" menas att hänsyn måste tas i vilken riktning som olyckan breder ut sig. Flertalet av scenarierna som kan inträffa är beroende av omgivningsförhållanden som vindriktning, men även olycksförloppets karakteristiska gör att den inte har en cirkulär påverkan. I Tabell 4 redovisas vilken reduktion som måste göras i samband med beräkning av risk.

Tabell 4. Korrektionsfaktor för olyckans riktning.

| SCENARIO | BESKRIVNING | KORRIGERING |
|---------------|--|--------------------|
| Giftmoln | Utbredning i vindriktningen ⁵ (22°) | $22 / 360 = 0,061$ |
| BLEVE | Cirkulär utbredning | 1,0 |
| UVCE | Utbredning i vindriktningen ⁵ (22°) | $22 / 360 = 0,061$ |
| Jetflamma | Riktning uppåt, mot eller bort ⁶ | $2/3 = 0,67$ |
| Pölbrand | Cirkulär utbredning | 1,0 |
| Frätande ämne | Riktning mot eller bort ⁷ | $1/2 = 0,50$ |
| Ursårning | På båda sidor om spåret | 1,0 |

A.1.2. Spridningsvinkel

Giftmoln driver i väg med vinden. Gasen sprids i huvudsak längs med vindriktningen, men även till viss del i sidled. Spridningen i sidled bestäms av en spridningsvinkel, vilken i första hand beror på vindhastigheten. I Figur 10 visas en schematisk bild av spridningsförloppet. Spridningsvinkeln kan beräknas med en metod som visas i Figur 11.



Figur 10. Illustration av konsekvensavstånd, konsekvensområde och spridningsvinkel vid spridning av giftmoln.

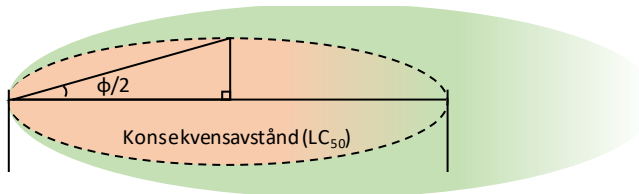
⁵ I avsnitt A.1.2 redovisas hur spridningsvinkeln beräknats.

⁶ Jetflamman antas kunna vara riktad mot området, bort från området eller uppåt. Flammor som är riktade bort från området tas inte med i analysen.

⁷ Utsläpp av frätande ämne antas kunna ske mot eller bort från området. Utsläpp som riktas bort tas inte med i analysen.



Vid halva avståndet till LC50 (se Figur 11) längs utsläppets centrumlinje mäts avståndet i sidled ut till samma koncentration. Denna sträcka är den motstående kateten till halva spridningsvinkeln.



Figur 11. Illustration hur spridningsvinkeln kan beräknas med utgångspunkt i gasspridningsmodellen.

Spridningsvinkeln har beräknats för olika väder- och vindförhållanden och redovisas i Tabell 5. Beräkningar har utförts med metodiken redovisad i avsnitt B.

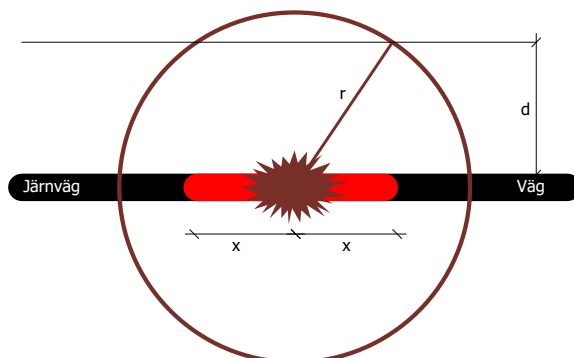
Tabell 5. Sammanställning av spridningsvinkel för olika väder- och vindförhållanden.

| STABILITETSKLASS | VINDHASTIGHET | SPRIDNINGSVINKEL |
|------------------|---------------|------------------|
| Instabil | 1–4 m/s | 29–31° |
| Neutral | 2–8 m/s | 15–29° |
| Stabil | 1–4 m/s | 11–33° |

Spridningsvinkeln blir smalare ju mer det blåser och vinkeln antar sitt högsta värde när vindhastigheten är 1 m/s. Med hjälp av statistisk analys som bygger på indata relevant för spridning i luft (se avsnitt B) kan det konstateras att spridningsvinkeln kommer vara 22° eller lägre i 95 % av fallen. 22° används som dimensionerande värde i riskanalysen.

A.1.3. Korrigeringsfaktor för att bedöma frekvensen att specifik olycka påverkar en punkt på ett givet avstånd från transportleden

Olycksfrekvenserna som beräknas utgår från en sträcka på 1 km. Eftersom de flesta olyckor endast påverkar en liten del av denna sträcka är det nödvändigt att korrigera för hur ofta en olycka som har en given utbredning, påverkar en punkt på ett visst avstånd från transportleden. Detta kan göras med en modell som bygger på den som redovisas i Figur 12.



Figur 12. Modell för beräkning av frekvensen att en olycka påverkar ett visst avstånd från transportleden.

Om olyckan har utbredningen r så måste olyckan inträffa på sträckan $2x$ för att ge en påverkan på avståndet d från transportleden. Notera att det endast är intressant att studera



de fall där $d \leq r$, eftersom om $d > r$ blir det ingen konsekvens. Med hjälp av Pythagoras sats⁸ kan x beräknas och sannolikheten att olyckan med utbredningen r påverkar avståndet d vid en olycksfrekvens angiven per kilometer blir således:

$$\frac{2\sqrt{r^2 - d^2}}{1\ 000}$$

A.2. Scenarier

Nedan förtydligas huvud- och underklasser och vilka scenarier som analyseras.

Explosivämnen (ADR-klass 1)

Explosivämnen kan detonera på grund av stötar i samband med olycka, vid värmepåverkan i samband med fordonsbrand eller på grund av felaktiga förpackningar.

Gaser (ADR -klass 2)

Gaser delas in i tre huvudgrupper – de som är brännbara, de som är giftiga och de som inte utgör någon fara för omgivningen. För brännbara gaser behövs kännedom om vilka olyckor som inträffar. Om utsläpp av brännbara gaser sker kan följande inträffa^{9,10}:

- Ingen antändning, 30 %.
- UVCE, 50 %.
- BLEVE, 1 %.
- Jetflamma, 19 %.

Brandfarliga vätskor (ADR-klass 3)

Följande olyckor beaktas vid utsläpp av brandfarliga vätskor^{9,10}:

- Ingen antändning, 94 %
- Fördröjd antändning, 3 % och omedelbar antändning, 3 %

Oxiderande ämnen och organiska peroxider (ADR-klass 5) som kan orsaka explosion vid blandning med brännbara vätskor

Oxiderande ämnen i klass 5 utgör normalt ingen påtaglig risk för omgivningen. Under särskilda omständigheter kan en explosion inträffa, vilket sker om vissa typer av oxiderande ämnen blandas med brännbar vätska. De ämnen inom ADR/RID-klass 5 som kan leda till kraftiga brand- och explosionsförlopp är i huvudsak ej stabiliserade väteperoxider, vattenlösningar av väteperoxider med över 60 % väteperoxid samt organiska peroxider. Det uppskattats att oxiderande ämne och brandfarlig vätska vid olycka på väg kommer i kontakt med varandra i 50 % av olyckorna och att det är en sannolikhet på 10 % att explosion sker efter kontakt¹¹, givet att de oxiderande ämnen och organiska peroxider kan orsaka en explosion vid blandning med brännbar vätska.

⁸ Pythagoras sats anger sambandet mellan sidorna i en rätvinklig triangel där kvadraten på hypotenusan är lika med summan av kvadraterna på kateterna.

⁹ Purdy, G., *Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail*, Journal of Hazardous Materials, 33, pp 229-259, 1993.

¹⁰ CPQRA, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.

¹¹ Riskanalysen i den fördjupade översiktsplanen för Göteborg använder en sannolikhet för explosion på 0,8 %, i jämförelse med 5,0 % som används i denna analys. Kunskapsunderlaget är litet och därför är det nödvändigt med konservativa antaganden.



Giftiga ämnen (ADR-klass 6)

Giftiga ämnen i klass 6 transporteras antingen i flytande eller fast form. Ämnen i fast form utgör normalt ingen akut påverkan på omgivningen.

Frätande ämnen (ADR-klass 8)

Samtliga läckage av ämnen i klass 8 kan orsaka skada på omgivningen.

A.3. Olyckor på väg

De allra flesta olyckor med transport av farligt gods är i grunden trafikolyckor vid vilka tankens skadas och utsläpp sker. Beräkning av antalet olyckor som leder till utsläpp av farligt gods kan göras med en modell som bygger på kännedom om:

1. Trafikarbete uttryckt som antal axelparskilometer med transport av farligt gods per år.
2. Olycksfrekvens uttryckt i antal olyckor per axelparskilometer.
3. Index för farligt godsolycka, vilket anger sannolikheten för utsläpp av farligt gods, givet att en trafikolycka inträffar.

Trafikarbete för fordon som medför farligt gods beräknas för en referenstid av ett år och utgör ett underlag för att bedöma det årliga antalet olyckor med fordon som medför farligt gods.

När olycksfrekvensen ska beräknas krävs kännedom om olyckskvoten, trafikarbetet och andelen singelolyckor. Modellen som beräknar antalet olyckor utgår från att alla olyckor är singelolyckor. Därför är det nödvändigt att kompensera för att fler än en bil kan vara inblandad i en trafikolycka. Detta kan lämpligen göras med en korrigeringsfaktor redovisad i Tabell 6 och beräknad enligt nedanstående modell¹²:

$$K_s = Y + 2 \cdot (1 - Y)$$

Data avseende andel singelolyckor har kurvanpassats för att ge möjlighet att bedöma värden för hastighetsbegränsningar som ej finns redovisade i ursprungsmaterialet.

Tabell 6. Andel singelolyckor i stad och på landsbygd.

| HASTIGHETSBEGRÄNSNING | ANDEL SINGELOLYCKOR, Y | KORRIGERINGSFAKTOR, K _S |
|-----------------------|------------------------|------------------------------------|
| 30 km/h | 0,10 | 1,90 |
| 40 km/h | 0,10 | 1,90 |
| 50 km/h | 0,10 | 1,90 |
| 60 km/h | 0,20 | 1,80 |
| 70 km/h | 0,20 | 1,80 |
| 80 km/h | 0,30 | 1,70 |
| 90 km/h | 0,30 | 1,70 |
| 100 km/h | 0,35 | 1,65 |
| 110 km/h | 0,35 | 1,65 |
| 120 km/h | 0,35 | 1,65 |

Olycksfrekvensen *OF* uttryckt i förväntat antal olyckor med fordon som medför farligt gods per fordonskilometer beräknas enligt nedanstående uttryck.

¹² Väg- och Trafikforskningsinstitutet, *Vägtransporter med farligt gods – Farligt gods i vägtrafikolyckor*, rapport nr 387:3, 1994.



$$OF = O_k \cdot K_s$$

där:

O_k = Olyckskvoten. Om olyckskvot anges i enheten olyckor per miljon fordonskilometer räknas den om till enheten olyckor per miljon axelparskilometer. Se huvudrapporten för mer information.

K_s = Korrigeringsfaktor för olyckor med fler än ett fordon inblandade.

VTI¹² anger ett index för farligt godsolycka, vilket ska tolkas som sannolikheten för utsläpp av farligt gods, givet att en trafikolycka inträffar. Indexet är beroende av hastigheten med vilken olyckan inträffar, se Tabell 7. VTI har i sin redovisning av olyckskvoten utgått från ett statistiskt underlag för 70 km/h och därefter har VTI antagit att olyckskvoten är proportionerlig mot rörelseenergin i kvadrat, ett samband som använts för att beräkna olyckskvoterna för övriga hastigheter.

Tabell 7. Index för farligt godsolycka¹³.

| HASTIGHETSBEGRÄNSNING | INDEX FÖR FARLIGT GODSOLYCKA |
|-----------------------|------------------------------|
| 30 km/h | 0,01 |
| 40 km/h | 0,02 |
| 50 km/h | 0,03 |
| 60 km/h | 0,06 |
| 70 km/h | 0,12 |
| 80 km/h | 0,22 |
| 90 km/h | 0,25 |
| 100 km/h | 0,31 |
| 110 km/h | 0,40 |
| 120 km/h | 0,51 |

Index för farligt godsolycka i Tabell 7 gäller för tunnväggiga tankar, det vill säga alla transporter undantaget tryckkondenserade gaser i ADR-klass 2. För dessa tankar är index för farligt godsolycka 1/30-del av värdet som anges där¹⁴.

Explosivämnen i ADR-klass 1 kan inte hanteras på samma sätt som övrigt farligt gods då sannolikheten för en detonation inte är direkt relaterad till det faktum att det sker en olycka där farligt gods läcker ut. Detonation av explosivämnen kan ske antingen genom fordonsbrand, vid kollisionsvåld eller genom defekt material/förpackning. Det finns statistik från Storbritannien (där transporter sker under liknande regelverk) som tydligt belyser risker med transport av explosivämnen. Frekvensen för detonation har bestämts till $1,1 \cdot 10^{-9}$ per fordonskilometer¹⁵.

A.3.1. Sammanställning av frekvenser för enskilda scenarier

Frekvenserna för respektive scenario beräknas enligt nedanstående modell:

$$F_{scenario} = OF \cdot T \cdot N_{ADR-X} \cdot N_{ADR-X.X} \cdot I_{FaGo-olycka} \cdot P_{kons|ADR-X.X} \cdot K_{rikt}$$

¹³ Notera att index för farligt godsolycka för hastigheter större än 80 km/h är baserade på uppgifter för landsbygd då underlag saknas för stad.

¹⁴ Räddningsverket, *Farligt Gods – riskbedömning vid transport. Handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg*, 1996.

¹⁵ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.



där:

OF är olycksfrekvensen.

T är trafikarbetet i form av axelparskilometer per år.

N_{ADR-X} är andelen av farligt gods i huvudklass ADR 1-9.

$N_{ADR-X.X}$ är andelen inom respektive ADR-klass.

$I_{FaGo-olycka}$ är index för farligtgoodsolycka.

$P_{kons|ADR-X.X}$ är sannolikheten att ett visst scenario inträffar givet utsläpp i en specifik underklass.

K_{riktn} är en korrigeringsfaktor som tar hänsyn till i vilken riktning olyckan breder ut sig.

De enskilda scenariernas frekvenser är den data som frekvensmodellen lämnar över till "riskmodellen". I riskmodellen används ovanstående frekvenser tillsammans med resultatet av konsekvensberäkningarna i avsnitt B.

En tabell över beräknade frekvenser redovisas i huvudrapporten.

B. Konsekvenser av olyckor med farligt gods

B.1. Beräkning av konsekvenser

I detta avsnitt redovisas de modeller som har använts för beräkning av olyckornas konsekvenser. Syftet med avsnittet är att visa vilka modeller som använts på en övergripande nivå. Huvudreferens för detta avsnitt är:

Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Forsvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.

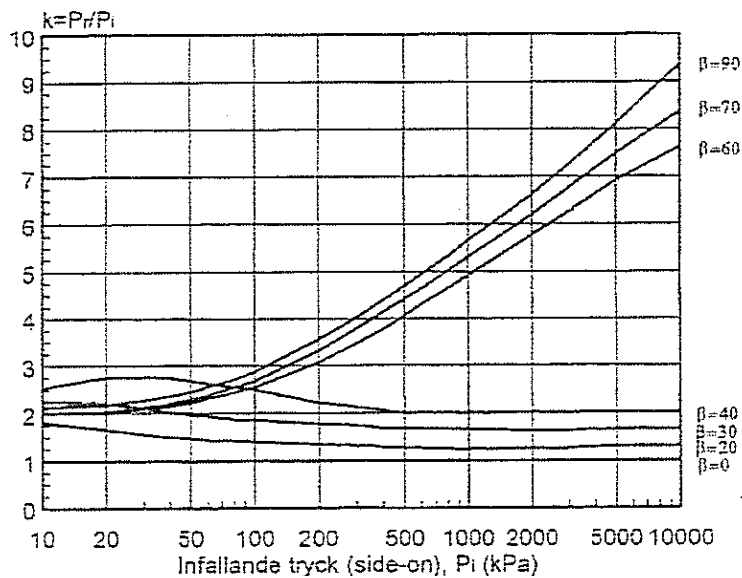
Om inget annat anges kommer beräkningsmetodik och ekvationer från ovanstående referens.

B.2. Detonation

Beräkning av tryckverkan vid detonation av explosivämne i ADR-klass 1 och ADR-klass 5 utförs enligt nedanstående metodik¹⁶:

- Inledningsvis beräknas laddningsvikten, vilken är en statistisk fördelning relaterat till förekommande transporter av farligt gods. Laddningsvikten ökas 1,8 gånger för att ta hänsyn till att explosionen sker nära mark (och ej fritt i luften).
- Det skalade avståndet ($r/Q^{1/3}$) beräknas där r är avståndet till laddningen och Q är den omräknade laddningsvikten.
- Med hjälp av information i Figur 13 kan det infallande fria trycket på ett givet avstånd beräknas. Det fria trycket används sedan för att uppskatta skador på människor och egendom.

¹⁶ Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Forsvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.



Figur 13. Maximalt övertryck respektive kvot mellan reflekterat- och infällande tryck där $\beta = 90$ innebär vinkelrätt tryckinfall (dimensionerande värde).

B.2.1. Avdunstning

Massflödet vid avdunstning behöver bedömas för att kunna uppskatta effekterna av spridning i luft vid utsläpp av giftig brandfarlig vätska i ADR-klass 3. Massflödet beror på karakteristiska för utsläppt ämne (ångtryck, densitet, molekylvikt), vind samt utsläppets area. Beräkningen av massflödet görs genom att utnyttja det dimensionslösa masstransporttalet B med ekvationer¹⁷ enligt nedan. Traditionellt används alternativa metoder inom andra ingenjörsciensdiscipliner, men jämförande beräkningar visar att de olika metoderna överensstämmer väl¹⁷. Nedanstående ekvationer gäller för vätskor vars kokpunkt är högre än omgivningens temperatur.

$$Y_{FW} = \frac{1}{\left[1 + \left[\left(\frac{p}{p_F} - 1\right)\left(\frac{M_{luft}}{M_F}\right)\right]}\right]} \quad (1)$$

$$B = \frac{(Y_{F_\infty} - Y_{FW})}{(Y_{FW} - Y_{FR})} \quad (2)$$

$$Re = u \cdot D_{eq} / \nu \quad (3)$$

$$Nu = 0,037 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr_{luft}^{1/3} \quad (4)$$

$$h = Nu \cdot k_{luft} / D_{eq} \quad (5)$$

$$Q'' = \frac{(h / C_{P_{luft}}) \cdot \ln(1 + B)}{1000} \quad (6)$$

$$Q = Q'' \cdot A \quad (7)$$

¹⁷ Andersson, B., *Introduktion till konsekvensberäkningar, några förenklade typfall*, Institutionen för Brandteknik, Lunds universitet, Lund, 1992.



$$D_{eq} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (8)$$

där

- Y_{FW} = Massfraktion bränsle vid ytan i gasfas.
 $Y_{F_{\infty}}$ = Massfraktion bränsle i luften ovanför bränsleytan.
 Y_{FR} = Massfraktion bränsle i vätskepölen.
 p = Lufttryck = 101,3 kPa.
 p_F = Ångtryck för bränsle i kPa.
 M_{luft} = Molekylvikt för luft = 28,85 g/mol.
 M_F = Molekylvikt för bränsle i g/mol.
 B = Dimensionslöst masstransporttal.
 Re = Reynolds tal, dimensionslöst.
 Nu = Nusselts tal, dimensionslöst.
 Pr_{luft} = Prandtls tal för luft, dimensionslöst = 0,71.
 u = Vindhastighet, m/s.
 D_{eq} = Pölens ekvivalenta diameter¹⁸, m.
 A = Pölens area, m.
 ν = Kinematisk viskositet för luft = $15,08 \cdot 10^{-6}$ m²/s.
 h = Konvektivt värmeövergångstal, W/m²K.
 k_{luft} = Konduktivitet för luft = 0,02568 W/mK.
 Q'' = Massflöde från ytan, kg/m²s.
 Q = Massflöde från ytan, kg/s.
 $C_{P_{luft}}$ = Värmekapacitet för luft = 1 J/gK.

Det är även möjligt att beräkna hur lång tid det tar för hela pölen att förångas. Förångningshastigheten (massflödet) används sedan som indata till spridningsmodellen. Om den avdunstande vätskan antänds gäller inte denna modell, utan modellen för beräkning av konsekvensen av en pölbrand (se avsnitt B.2.6).

B.2.2. Utströmning av gas (i vätskefas)

Vid utsläpp av tryckkondenserade gaser krävs kännedom om källstyrka (kg/s) och den initiala spridningsmodellen vilken är en så kallad turbulent jet (fri cirkulär jet i medvind).

¹⁸ Den ekvivalenta diametern används för att skapa en cirkel med samma area som själva vätskepölen.



$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2(P_0 - P_a)}{\rho_f}} \quad (9)$$

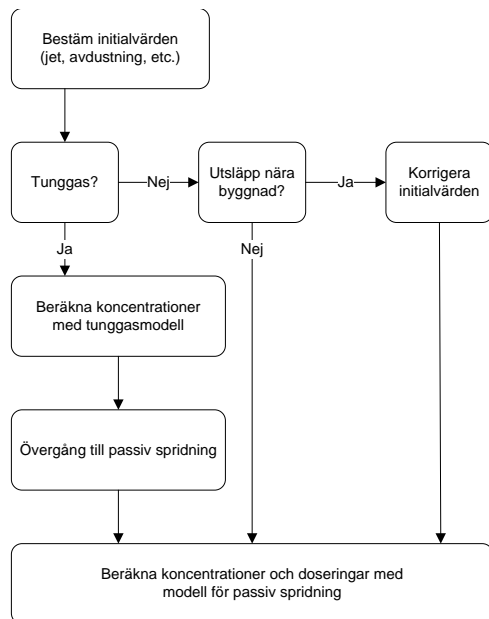
$$F = \frac{Q^2 \rho_f}{C_d^2 A} \quad (10)$$

där,

- Q = Massflödet, kg/s.
- C_d = Kontraktionsfaktor för vätskeutströmning.
- A = Hålstorlek, m².
- P_0 = Tanktryck, Pa.
- P_a = Atmosfärstryck, Pa.
- ρ_f = Specifik volym hos vätskefas, m³/kg.
- F = Rörelsemängdsflöde i jetstråle, N.

B.2.3. Spridning i luft

Följande flödesschema¹⁹ för utsläpp används för att uppskatta spridning i luft:



Figur 14. Flödesschema¹⁹ för kontinuerliga utsläpp.

¹⁹ Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.



Källmodell

Källmodellen kan antingen vara modellen för avdunstning i avsnitt B.2.1 eller modellen för bestämning av källstyrka vid utsläpp av tryckkondenserade gaser i avsnitt B.2.2.

Bestäm initialvärden

Värden för den initiala utspädningsprocessen¹⁹ bestäms med följande ekvationer:

Avdunstning

= 0 i pölens kant uppströms i vindriktningen

$$\sigma_{y0} = 0,25 \cdot D_{eq} \quad (11)$$

$$\sigma_{z0} = 0,05 \cdot D_{eq} \quad (12)$$

där

σ_{y0}, σ_{z0} = Initiala utspädningskoefficienter i y- respektive z-led.

Tryckkondenserad gas

Utströmning av tryckkondenserad gas sker med en så kallad turbulent jet för vilken följande initiala dimensionsmått erhålls:

$$\sigma_{y0} = \sigma_{z0} = 0,44R(x_{tr}) \quad (13)$$

Tunggas?

Nästa steg blir att avgöra om det finns ett tunggassteg eller inte vid beräkning av koncentrationer. Om tunggassteget inte existerar kan modellen för passiv spridning användas direkt. Tunggaseffekterna är försumbara när molnets tillväxt i sidled nått ner till samma värde som för passiv spridning. Detta kan uttryckas som ett avståndsvillkor för tunggasmodellens giltighet:

$$x \leq \frac{0,037L_b}{(\sigma'_{yp})^3} - \frac{\sigma_{y0}^{3/2}}{0,35L_b^{1/2}} = x_{\max} \quad (14)$$

$$\sigma'_{yp} = \beta \left(\frac{z_0}{z_{03}} \right)^{0,2} \quad (15)$$

$$L_b = g \left(1 - \frac{M_{luft}}{M_{F_{eff}}} \right) \cdot \frac{Q}{\rho_a u^3} \quad (16)$$

$$M_{F_{eff}} = M_F \left[1 + \frac{c_{pg}(T_a - T_{g0})}{c_{pa} T_a} \right] \quad (17)$$

där

T_{g0} = Gasens temperatur före luftinblandning, K

Eftersom gasens temperatur innan inblandning av luft är densamma som efter luftinblandning är $M_{F_{eff}} = M_F$. Tunggasmodellen ska tillämpas i intervallet $0 \leq x \leq x_{\max}$ varefter en övergång till modell för passiv spridning ska göras. Om x_{\max} är mindre än noll så ska tunggasmodellen överhuvudtaget inte användas.



Beräkning av koncentrationer med tunggasmodell

I intervallet $0 \leq x \leq x_{\max}$ har plymen en maximal koncentration i vindriktningen enligt nedanstående ekvation.

$$X_{\max}(x) = X(x, 0, 0) = \frac{85Q \cdot K_r^{-1} \cdot K_s}{\left(x + \sqrt{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_{z0} \cdot \sigma_{y0}}\right)^2 \cdot u} \quad (18)$$

$$K_r = \left(\frac{z_0}{z_{01}}\right)^{0,2} \quad (19)$$

där

X_{\max} = Maximal koncentration i vindriktningen, kg/m³.

K_r = Korrektionsfaktor för skrovlighet (ytråhet).

K_s = Korrektionsfaktor för atmosfärsstabilitet.

z_{01} = Referenslängd för skrovlighet (ytråhet) = 0,01 m.

Plymens bredd- och höjdmått beräknas med följande ekvationer.

$$\sigma_y(x) = \left[\sigma_{y0}^{3/2} + 0,35L_b^{1/2}x\right]^{2/3} \quad (20)$$

$$\sigma_z(x) = \frac{\left(x + \sqrt{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_{z0} \cdot \sigma_{y0}}\right)^2}{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_y(x)} \quad (21)$$

där

$\sigma_y(x)$ = Standardavvikelse för masskoncentration i y-led, m.

$\sigma_z(x)$ = Standardavvikelse för masskoncentration i z-led, m.

Övergång till passiv spridning

Vid x_{\max} är inte längre tunggasmodellen tillämpbar. Plymen har då fått standardavvikelser enligt ekvationerna (20) och (21) med $x = x_{\max}$ och dessa värden på σ_y och σ_z används som initiala värden (σ_{y0} och σ_{z0}) i modellen för passiv spridning.

Beräkning av koncentrationer med modell för passiv spridning

För den passiva spridningsfasen rekommenderas en gaussisk spridningsmodell i stället för en mindre realistisk boxmodell. Spridningsmodellen ger koncentrationen av gas på ett givet avstånd från utsläppspunkten med hjälp av nedanstående ekvationer.

$$X(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (22)$$

där

$X(x, y, z)$ = Koncentrationen på avståndet x, y och z, kg/m³.

Q = Utsläppets källstyrka, kg/s.

σ_y, σ_z = Dispersionskoefficienter i sid- och höjded



u = Vindhastigheten, m/s.

H = Utsläppets höjd, m

Dispersionskoefficienterna som styr spridning i sid- och höjddled beräknas enligt nedan.

$$\sigma_y = \frac{a_y (x + x_{y0})}{(1 + b_y (x + x_{y0}))^{\gamma_y}} K_{rp} K_{yt} \quad (23)$$

$$\sigma_z = \frac{a_z (x + x_{z0})}{(1 + b_z (x + x_{z0}))^{\gamma_z}} K_{rp} \quad (24)$$

där a , b , och γ är parametrar som beror på rådande stabilitet; x_{y0} och x_{z0} är avstånden till så kallade virtuella källor, det vill säga de koordinatförsjutningar som är nödvändiga för att plymen ska få rätt bredd och höjd initialt. K_{rp} anger en korrigering för underlagets skrovlighet och K_{yt} för samplingstidens (medelvärdesbildningstidens) påverkan på den horisontella spridningen. För bebyggt område är $K_{rp} = 1$ och K_{yt} antar ett värde på 1,0 då den önskade medelvärdesbildningstiden är densamma som medelvärdestiden (500 s).

Tabell 8. Konstanter för olika stabilitetsklasser.

| STABILITETSKLASS | A_y | B_y | γ_y | A_z | B_z | γ_z |
|------------------|-------|--------|------------|-------|--------|------------|
| A | 0,32 | 0,0004 | 0,5 | 0,24 | 0,001 | -0,5 |
| B | 0,32 | 0,0004 | 0,5 | 0,24 | 0,001 | -0,5 |
| C | 0,22 | 0,0004 | 0,5 | 0,20 | 0 | 0 |
| D | 0,16 | 0,0004 | 0,5 | 0,14 | 0,0003 | 0,5 |
| E | 0,11 | 0,0004 | 0,5 | 0,08 | 0,0015 | 0,5 |
| F | 0,11 | 0,0004 | 0,5 | 0,08 | 0,0015 | 0,5 |

Nedanstående ekvationer används för beräkning av x_{y0} och x_{z0} .

$$x_{y0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} K_{yt}}\right)^2 b_y + \frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} K_{yt}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} K_{yt}}\right)^2 b_y^2 + 4a_y^2}}{2a_y^2} \quad \text{för } \gamma_y = 0,5 \quad (25)$$

$$x_{z0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)}{a_z - b_z \left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)} \quad \text{för } \gamma_z = 1 \quad (26)$$

$$x_{z0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)^2 b_z + \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)^2 b_z^2 + 4a_z^2}}{2a_z^2} \quad \text{för } \gamma_z = 0,5 \quad (27)$$



$$x_{z0} = \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp} a_z} \text{ för } \gamma_z = 0 \quad (28)$$

$$x_{z0} = \frac{\sqrt{1 + \frac{4 \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}} (\sqrt{2} - 1) b_z}{a_z} - 1}}{2(\sqrt{2} - 1) b_z} \text{ för } \gamma_z = -0,5 \quad (29)$$

σ_{y0} och σ_{z0} är de initiala dispersionskoefficienterna, vilka väljs utifrån riktlinjerna i avsnitt B.2.3.

B.2.4. BLEVE

En BLEVE ger upphov till ett stort eldklot och beräknas med hjälp av nedanstående ekvationer.

$$D = 6,48m^{0,325} \quad (30)$$

$$t_{BLEVE} = 0,825m^{0,26} \quad (31)$$

$$F_{21} = \frac{D^2}{4X^2} \quad (32)$$

$$\tau = 2,02(p_w X)^{-0,09} \quad (33)$$

$$q_r = \frac{X_E m \Delta h_c}{\pi D^2 t_{BLEVE}} \quad (34)$$

$$q_x = \tau q_r F_{21} \quad (35)$$

där

- D = Eldklotets diameter, m.
- m = Utsläppt massa brännbar vätska, kg.
- t_{BLEVE} = Eldklotets varaktighet, s.
- F_{21} = Synfaktor
- X = Avstånd mellan eldklotets yta och mottagande föremål, m.
- τ = Andel av strålningen som transmitteras genom luften.
- p_w = Vattens ångtryck, Pa
- q_r = Avgiven strålning, kW/m².
- X_E = Strålningsandel.
- Δh_c = Förbränningsvärme, kJ/kg.
- q_x = Mottagen strålning, kW/m².

Avståndet till 50 % dödlighet beräknas genom att bestämma det avstånd där mottagande strålning är lika med gränsvärdet för kritisk strålningspåverkan enligt avsnitt B.3.3. Sedan har eldklotets radie lagts till detta avstånd för att få en korrekt angivelse i förhållande till platsen där olyckan inträffar.



B.2.5. Jetflamma

Jetflamman är en "svetslåga" som uppkommer vid direkt antändning av en kondenserad brandfarlig gas. Följande ekvationer används för att beräkna riskavståndet vid en jetflamma.

$$R_{s,50} = 1,9t^{0,4}Q^{0,47} \quad (36)$$

där

- $R_{s,50}$ = Riskavstånd till 50 % dödlighet, m.
 t = Exponeringstid vid strålningspåverkan, s.
 Q = Utsläppets källstyrka, kg/s (se avsnitt B.2.2).

B.2.6. Pölbrand

Strålningen från en pölbrand kan beräknas med nedanstående ekvationer.

$$Q = \dot{m} \Delta h_c A_p \quad (37)$$

$$q_r = X_e Q \quad (38)$$

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi X^2} \quad (39)$$

$$q_x = \tau q_r F_{12} \quad (40)$$

där

- Q = Brandens effekt, kW.
 \dot{m} = Förbränningshastighet per ytenhet, kg/s/m².
 Δh_c = Förbränningsvärme, kJ/kg.
 A_p = Pölens area, m².
 q_r = Avgiven strålning, kW/m².
 X_e = Strålningsandel.
 F_{12} = Synfaktor.
 X = Avstånd mellan eldklotets yta och mottagande föremål, m.
 q_x = Mottagen strålning, kW/m².
 τ = Andel av strålningen som transmitteras genom luften, se avsnitt B.2.4.

Avståndet till 50 % dödlighet beräknas genom att bestämma det avstånd där mottagande strålning är lika med gränsvärdet för kritisk strålningspåverkan enligt avsnitt B.3.3. Sedan har pölens diameter lagts till detta avstånd för att få en korrekt angivelse i förhållande till platsen där olyckan inträffar.

B.2.7. Stänk

Frätande ämnen kan orsaka svåra skador och dödsfall om det finns personer i tankens omedelbara närhet vilka får stänk över sig. Det finns inga kvantitativa modeller för att



uppskatta effekterna av stänk med frätande vätska, utan det antas att människor som befinner sig inom 10 meter från tanken utsätts för dödliga skador.

B.3. Indata

B.3.1. Väder- och vindförhållanden

Väder- och vindförhållanden har betydelse när konsekvenserna av utsläpp av gaser (brännbara eller giftiga) ska bedömas. I Tabell 9 redovisas de värden som använts vid konsekvensberäkningarna.

Tabell 9. Dimensionerande väder- och vindförhållanden.

| STABILITETSKLASS | SANNOLIKHET | VINDHASTIGHET (MEDELVÄRDE) |
|------------------|-------------|----------------------------|
| Instabil | 10 % | 1,7 m/s |
| Neutral | 50 % | 4,4 m/s |
| Stabil | 40 % | 2,4 m/s |

B.3.2. Ämnesspecifika data

I nedanstående tabeller ges väsentliga indata, vilka är de samma som använts i Länsstyrelsen i Skåne läns riktlinjer²⁰.

Tabell 10. Generella indata till konsekvensberäkningarna.

| VARIABEL | ENHET | VÄRDE |
|----------------------|-------|-----------------------|
| Atmosfärstryck | [Pa] | 101 325 |
| Flödeskoefficient | [-] | Likformig (0,65;0,80) |
| Höjd på vätskepelare | [m] | Likformig (1,0;2,0) |

Tabell 11. Fördelning av hålstorlek. Källstyrkan avser utsläpp av gasol.

| HÅLTYP | HÅLDIAMETER | KÄLLSTYRKA | SANNOLIKHET |
|--------|-------------|------------|-------------|
| Litet | 10 mm | 1 kg/s | 62,5 % |
| Medel | 30 mm | 12 kg/s | 20,8 % |
| Stort | 110 mm | 160 kg/s | 16,7 % |

Sannolikheten för de olika hålstorlekarna kommer från Räddningsverket²¹, medan de olika hålstorlekarna bygger på uppskattningar från bland annat Cox²² och CPQRA²³.

Tabell 12. Ämnesspecifika indata.

| VARIABEL | ENHET | PROPYLENOXID | DIMETYLSULFAT | SVAVELDIOXID | GASOL | BENSIN |
|-----------------|----------------------|--------------|---------------|--------------|-------|--------|
| Molvikt | [g/mol] | 58,1 | 126 | 64 | 76,53 | |
| Densitet vätska | [kg/m ³] | 830 | 1330 | 1460 | 605 | 750 |
| Utsläppt mängd | [ton] | 15-25 | 15-25 | 15-25 | 15-25 | 15-25 |

²⁰ Länsstyrelsen i Skåne län, *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods*, Rapport "Skåne i utveckling", 2007:06.

²¹ Räddningsverket, *Farligt Gods – riskbedömning vid transport. Handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg*, 1996.

²² Cox, A.W., Lees, F.P., Ang, M.L., *Classification of Hazardous Locations*, ISBN 0-85295-258-9, Institution of Chemical Engineers, Warwickshire 1990.

²³ Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989.



| VARIABEL | ENHET | PROPYLENOXID | DIMETYLSULFAT | SVAVELDIOXID | GASOL | BENSIN |
|-----------------------|------------------------|--------------|---------------|--------------|--------|--------|
| Förbränningsvärme | [kJ/kg] | 34 845 | - | - | 46 000 | 45 000 |
| Strålningsandel | [-] | 0,30 | - | - | 0,30 | 0,30 |
| Ångtryck | [kPa] | 60 | 0,067 | | 833 | |
| Kokpunkt | [°C] | 34 | 188 | | | |
| Tanktryck | [kPa] | | | 230 | 535 | |
| Förbränningshastighet | [m/s] | | | | | 0,0001 |
| Förbränningshastighet | [kg/m ² /s] | | | | | 0,048 |

Trotyl, vilket är det representativa ämnet för explosioner i ADR/RID-klass 1 och ADR/RID-klass 5 har ett värmevärde på 4,2 MJ/kg och den massa som deltar i explosionen är hämtad från HMSO²⁴ och antar en fördelning enligt Tabell 13 nedan och gäller för både väg och järnväg.

Tabell 13. Massa som deltar i explosion i ADR/RID-klass 1.

| MASSA, KG | ACK. SANNOLIKHET | MASSA, KG | ACK. SANNOLIKHET |
|-----------|------------------|-----------|------------------|
| 50 | 1,1 % | 1 047 | 21,4 % |
| 61 | 1,2 % | 1 095 | 22,3 % |
| 126 | 1,2 % | 1 778 | 86,5 % |
| 204 | 3,8 % | 2 399 | 86,8 % |
| 316 | 20,8 % | 16 000 | 100,0 % |
| 562 | 21,3 % | | |

Vid en olycka med ADR-klass 5 på väg kan lasten blandas med fordonets egna drivmedel, vilket antas ha ett medelvärde på 400 kg och ett minsta respektive ett största värde på 100 respektive 500 kg. En explosiv oxidator-bränsleblandning innehåller cirka 13 % bränsle, vilket för 400 kg drivmedel ger $400/0,13 = 3\ 080$ kg explosiv blandning²⁵.

B.3.3. Skadekriterier

Risikanalyser berör skador på människor och de skadekriterier för exponering av giftiga gaser, värmestrålning och tryck som används redovisas i Tabell 14 nedan. Skadekriterierna representerar LC₅₀-värden, det vill säga den koncentration där 50 % av en population förväntas omkomma, vilka beräknats med probitfunktion för angiven exponeringstid.

Tabell 14. Skadekriterier för giftiga gaser, värmestrålning²⁶ och tryck.

| SKADEVERKAN | KRITISK PÅVERKAN |
|--|----------------------|
| Explosion – tryck ²⁷ | 260 kPa |
| Explosion – värmestrålning ²⁸ | 43 kW/m ² |
| Värmestrålning – BLEVE ²⁸ | 31 kW/m ² |

²⁴ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

²⁵ Stadsbyggnadskontoret i Göteborg. *Översiktsplan för Göteborg - Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods*, Bilaga 2, 1997.

²⁶ Strålningsnivåerna gäller oskyddad hud och någon skyddseffekt av kläder har inte tagits hänsyn till vid beräkning av skadekriterierna.

²⁷ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

²⁸ Eldklotets varaktighet för explosion är cirka 7 sekunder och för BLEVE cirka 11 sekunder. För värmestrålning från polbränder gäller en exponeringstid på 30 s. Beräkningar av kritisk strålning sker enligt metodik redovisas i "CPR 16E, *Methods for the determination of possible damage*. Committee for the prevention of disasters, The Netherlands, 1992".



| SKADEVERKAN | KRITISK PÅVERKAN |
|--|-------------------------------------|
| Värmestrålning – brandfarliga varor ²⁸ | 14 kW/m ² |
| Toxicitet – giftig gas ²⁹ | 2 200 mg/m ³ (860 ppm) |
| Toxicitet – lättflyktig, giftig vätska ³⁰ | 4 900 mg/m ³ (2 000 ppm) |
| Toxicitet – giftig vätska ³¹ | 186 mg/m ³ (35 ppm) |

B.4. Resultat

Modeller, indata, skadekriterier samt väder- och vindförhållanden används för att beräkna konsekvensen av ett utsläpp. Konsekvensen antas inträffa i det område där koncentrationen, trycket eller värmestrålningen överskrider ett visst gränsvärde för dödlighet. Gränsvärdet för dödlighet bestäms av den påverkan som bedöms orsaka en dödlighet på 50 % av en population. För att avgöra vid vilket avstånd detta inträffar översätts 50 % dödlighet med hjälp av så kallade probitfunktioner till en fysikalisk parameter (toxisk koncentration (LC₅₀) eller kritisk värmestrålning).

Ytterligare en förenkling är nödvändig för att kunna genomföra beräkningarna. Det ansätts att inom området 100 till 50 % dödlighet omkommer alla människor och i området 50 till 0 % omkommer ingen. Denna förenkling är nödvändig för att kunna ta fram de olika riskmåten. Vid en verklig olycka kan människor som befinner sig inom riskområdet komma att överleva samtidigt som människor utanför kan omkomma. Användningen av 50 % dödlighet skall därför ses som ett genomsnitt och följer principerna i CPQRA³². Ytterligare en nödvändig förenkling är att förutsätta att samtliga personer befinner sig oskyddade, i fri siktlinje med olycksplatsen. Då flertalet av variablerna beskrivs med sannolikhetsfördelningar i stället för punktvärden, utgör också resultatet statistiska fördelningar.

B.4.1. Konsekvensområde, enbart skyddsavstånd

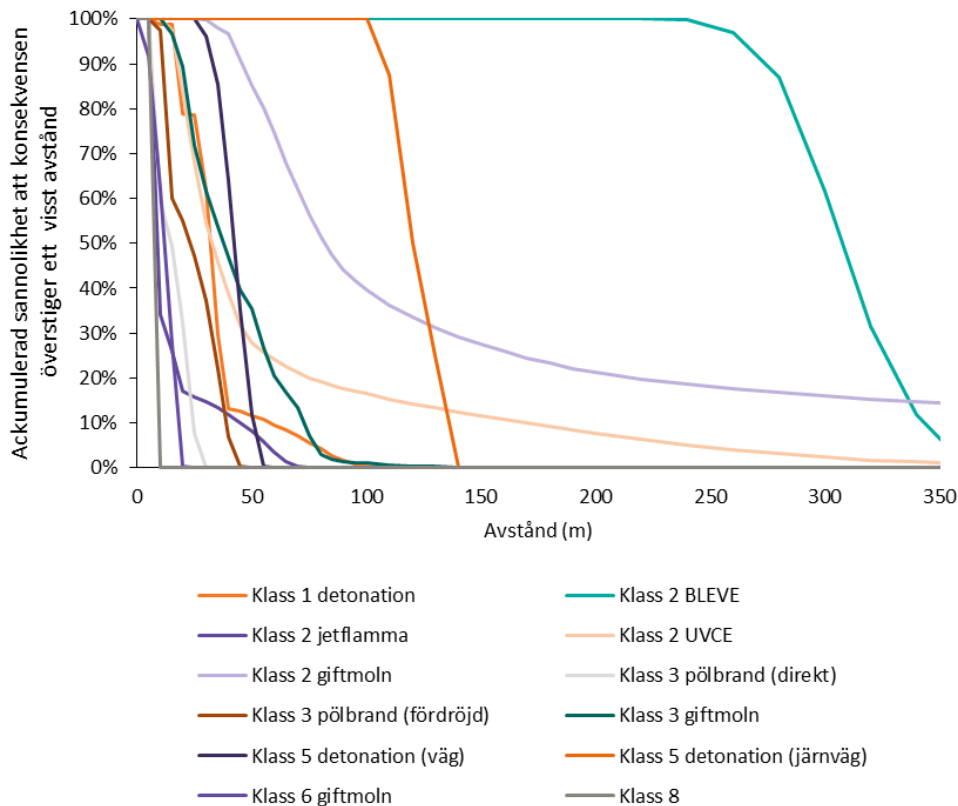
I Figur 15 visas konsekvensområdet i form av en statistisk fördelning när olyckans utbredning inte påverkas av någon säkerhetshöjande åtgärd.

²⁹ Representeras av svaveldioxid, 30 minuters exponering.

³⁰ Representeras av propylenoxid, 30 minuters exponering.

³¹ Representeras av dimetylsulfat, 30 minuters exponering (TEEL-3).

³² CPQRA, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.



Figur 15. Konsekvensområde vid olycka med farligt gods. Figuren visar en fördelning av konsekvensområdet vid olyckor av en viss typ. Exempelvis ger en BLEVE alltid ett skadefall som överstiger 240 meter och 10 % av olyckorna som orsakar en BLEVE når 340 meter eller längre.

Informationen i Figur 15 kan översättas till ett medelvärde för olyckan samt med ett konfidensintervall, inom vilket det är 95 % säkerhet att konsekvens inträffar. I Tabell 15 redovisas dessa värden.

Tabell 15. Medelvärde, samt en bedömning av konfidensintervallets övre gräns för de olika olycksscenariernas utbredning.

| SCENARIO | RISKOMRÅDE I METER | |
|--|--------------------|-------|
| | 50 % | 95 % |
| Klass 1 detonation → tryck | 35 | 80 |
| Klass 2 BLEVE → brännskada | 320 | 360 |
| Klass 2 jetflamma → brännskada | 10 | 60 |
| Klass 2 UVCE → brännskada | 35 | 260 |
| Klass 2 giftmoln → förgiftning | 85 | 1 000 |
| Klass 3 pölbrand (direkt) → brännskada | 15 | 30 |
| Klass 3 pölbrand (fördröjd) → brännskada | 25 | 45 |
| Klass 3 giftmoln → förgiftning | 40 | 80 |
| Klass 5 detonation (väg) → tryck | 45 | 55 |
| Klass 5 detonation (järnväg) → tryck | 120 | 140 |
| Klass 6 giftmoln → förgiftning | 15 | 20 |
| Klass 8 → frätskada | 10 | 10 |



Syftet med Tabell 15 är endast att beskriva spridningen i konsekvensens utbredning på ett tydligare sätt. Störst avvikelse från medelvärdet (50 %) har olyckor som medför spridning till luft (UVCE och giftmoln). Detta beror på att koncentrationen i en given punkt kan variera mycket beroende på källstyrka, vindhastighet och atmosfärsförhållanden.

B.4.2. Konsekvensområde vid begränsning av vätskeutbredning

I Tabell 16 redovisas hur den ackumulerade sannolikhetsfördelningen ändras när en säkerhetshöjande åtgärd som begränsar utbredningen av vätskor används. Informationen i Tabell 16 används för att ta fram sannolikhetsfördelningar lika de som redovisas i avsnitt B.4.1, vilka sedan används för att beräkna risknivåer.

Tabell 16. Jämförelse av konsekvensområde utan och med säkerhetshöjande åtgärd som begränsar utbredningen av vätskor.

| Avstånd | KLASS 3 PÖLBRAND DIREKT | | KLASS 3 PÖLBRAND FÖRDRÖJD | | KLASS 3, GIFTMOLN | | KLASS 6, GIFTMOLN | |
|---------|-------------------------|------|---------------------------|------|-------------------|------|-------------------|-----|
| | Utan | Med | Utan | Med | Utan | Med | Utan | Med |
| 0 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 22% |
| 5 | 100% | 63% | 100% | 99% | 100% | 100% | 92% | - |
| 10 | 59% | 40% | 98% | 57% | 100% | 94% | 62% | - |
| 15 | 49% | 4% | 60% | 43% | 97% | 81% | 28% | - |
| 20 | 32% | - | 55% | 19% | 89% | 60% | - | - |
| 25 | 8% | - | 47% | 1% | 72% | 48% | - | - |
| 30 | - | - | 37% | - | 62% | 39% | - | - |
| 35 | - | - | 22% | - | 54% | 30% | - | - |
| 40 | - | - | 7% | - | 47% | 25% | - | - |
| 45 | - | - | - | - | 40% | 20% | - | - |
| 50 | - | - | - | - | 35% | 14% | - | - |
| 55 | - | - | - | - | 27% | 8% | - | - |
| 60 | - | - | - | - | 21% | 3% | - | - |
| 65 | - | - | - | - | 17% | 2% | - | - |
| 70 | - | - | - | - | 13% | 2% | - | - |
| 75 | - | - | - | - | 7% | 1% | - | - |
| 80 | - | - | - | - | 3% | 1% | - | - |
| 85 | - | - | - | - | 2% | 1% | - | - |
| 90 | - | - | - | - | 1% | 1% | - | - |
| 95 | - | - | - | - | 1% | 1% | - | - |
| 100 | - | - | - | - | 1% | - | - | - |
| 105 | - | - | - | - | 1% | - | - | - |

C. Risknivåer

C.1. Individrisk

Nedan följer en översiktlig beskrivning av den metodik som används för att kombinera frekvenser och konsekvenser till ett mått på individrisken.

Modellen för olyckor på väg tar hänsyn till vägområdets bredd och dess påverkan på olyckors placeringar. För en smal väg så som en vanlig landsväg antas alla olyckor inträffa i



körbanekanten närmast planområdet. Om vägbredden är större än 10 meter antas hälften av olyckorna inträffa i körbanekanten närmast planområdet, och den andra hälften i mitten av vägen. En bredare väg förskjuter olyckorna i vägens mitt längre bort från den närmaste körbanekanten.

Olyckor med farligt gods

Frekvenserna för respektive scenario finns angivna i avsnitt A. Dessa frekvenser kombineras med sannolikhetsfördelningen för konsekvensens utbredning redovisad i avsnitt B och sannolikheten att ett område påverkas från avsnitt A. Beräkningsgången exemplifieras i avsnitt C.1.1 och C.1.2.

C.1.1. Sannolikheten att en olycka når en viss punkt som en funktion av avståndet från transportleden

I avsnitt B redovisas sannolikhetsfördelningar för respektive olycksscenario och samt en faktor för att korrigera olycksfrekvensen per km till den faktiska påverkan på ett visst avstånd från transportleden. Denna information kombineras genom korsvis multiplikation för att ta kunna ta fram en sannolikhetsfördelning som en funktion av avståndet från transportleden, vilken sedan används i riskberäkningarna.

C.1.2. Beräkning av individrisk

Individrisken beräknas med en upplösning om 5 meter, det vill säga beräknas var femte meter från vägkanten genom att multiplicera olycksfrekvensen för en olycka med en viss ADR/RID-klass med sannolikheten för att en olycka sker på en sträcka av 1 km när ett visst avstånd. För att ta fram den sammanlagda individrisken adderas slutligen individrisken för vart olycksscenario på alla studerade avstånd och ritas ut i ett individrisk-diagram i huvudrapporten.

C.2. Samhällsrisk

Beräkningar av samhällsrisk syftar till att försöka uppskatta skadeutfallet när en olycka väl inträffar. Skadeutfallet styrs av vilket scenario som inträffar samt hur många människor som befinner sig utomhus i anslutning till olyckan vid den aktuella tidpunkten. Samhällsriskberäkningarna kan inte göras med sådan precision att de visar på faktisk risk, utan de måste göras schablonmässigt utifrån ett antal givna förutsättningar.

C.2.1. Indata

Modellen för beräkning av samhällsrisken är uppbyggd med en iterativ process där statistiska fördelningar används för att ta fram skadeutfallet för tänkbara olyckor. Modellen bygger på följande huvudsakliga indata.

Personintensitet

När personintensiteten är känd krävs information om hur många människor som vistas utomhus under dagtid respektive på natten. En holländsk vägledning anger att 93 % befinner sig inomhus under dagtid och 99 % är inomhus på natten³³. Dagtid antas råda mellan 08:00-18:30 och natt mellan 18:30-08:00. Dessa värden bedöms vara relevanta även för planområdet.

³³ TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.



Påverkansområde

Kännedom om olyckornas utbredning i form av statistiska fördelningar används för att bestämma hur stor yta som olyckan påverkar. Det finns tre olika typer av påverkansområde:

- Cirkulär utbredning, till exempel bränder och explosioner.
- Konformad utbredning, till exempel utsläpp av giftig gas.
- Rektangulär utbredning vid urspårning.

Påverkansområdet (m^2) vid cirkulär utbredning bestäms genom att använda olyckans utbredning som radie och därefter beräkna den yta ($A = \pi r^2$) som påverkas. Om det finns ett bebyggelsefritt område ska beräknat påverkansområde minskas med ytan som detta område upptar. Vid konformad utbredning beräknas konsekvensområdet på liknande sätt efter kännedom om spridningsvinkeln³⁴ ($A = \varphi \pi r^2$).

C.2.2. Beräkning av samhällsrisk

Beräkningen av samhällsrisk sker med hjälp av statistisk simulering där värden slumpas fram från de fördelningar som representerar indata till modellen. Modellen består av ett antal "frågor", vilka besvaras med hjälp av de fördelningar som beskriver indata, se Tabell 17. En iteration består av att samtliga frågor i Tabell 17 besvaras.

Tabell 17. Modell för beräkning av samhällsrisk.

| FRÅGA | SVARSALTERNATIV | KOMMENTAR |
|------------------|--|--|
| Vilken tidpunkt? | Dag Natt | Bestämmer hur många människor som är utomhus. Se avsnitt C. |
| Vilket scenario? | Klass 1 detonation Klass 2 BLEVE Klass 2 jetflamma Klass 2 UVCE Klass 2 giftmoln Klass 3 pölbrand (direkt) Klass 3 pölbrand (fördröjd) | Se avsnitt A för information om frekvenser. |
| | Klass 3 giftmoln Klass 5 detonation Klass 6 giftmoln Klass 8 | |
| Riskområde? | 0 - 1 000 m | Bestämmer hur långt från olycksplatsen som dödsfall kan inträffa. Information finns i avsnitt B. |
| Påverkansområde? | Cirkulärt Konformat | Avgör hur stor yta som påverkas av olyckan. Se avsnitt C. |

Efter en iteration finns således information om hur befolkningstätheten i anslutning till olyckan samt hur stort påverkansområde som olyckan har. Därmed är det möjligt att beräkna antalet omkomna med följande uttryck:

$$\text{Antal döda} = \text{Personintensitet}(\text{pers}/\text{km}^2) \times \text{Påverkansområde}(\text{km}^2)$$

Antalet iterationer (upprepningar) är högt (1 000 000) för att säkerställa att alla möjliga kombinationer av olycksscenarioer, tidpunkter och olycksplacering kommer med i resultatet. För varje iteration sparas information om "antal döda" och när simuleringen är klar kan en

³⁴ Mer information om spridningsvinkeln (φ) finns i avsnitt A.



statistisk fördelning för antalet döda tas fram. Denna fördelning används sedan tillsammans med frekvensen för olycka för att plotta en så kallad FN-kurva.

Notera att varje gång som påverkansområdet antar ett positivt värde, det vill säga då riskområdet är större än det bebyggelsefria avståndet antas att minst 1 människa omkommer. Konsekvensen (antal döda) avrundas alltid uppåt till närmsta heltal. Detta ger en viss överskattning av samhällsriskerna för $N = 1$, men samtidigt finns det inget enkelt sätt att avgöra om det finns minst en människa i påverkansområdet. Därför måste det förutsättas att så är fallet.

Samtliga personer som vistas utomhus inom påverkansområdet antas omkomma. För personer som befinner sig inomhus omkommer en viss andel av personerna. I Tabell 18 redovisas de bedömningar som använts för att uppskatta andelen omkomna inomhus^{35,36}.

Tabell 18. Andel av personer inomhus som omkommer vid viss skadeverkan.

| SKADEVERKAN | ANDEL INOMHUS SOM OMKOMMER |
|-----------------------|----------------------------|
| Tryckskada | 50 % |
| Brännskada (pölbrand) | 0 % |
| Brännskada (övrigt) | 5 % |
| Förgiftning | 10 % |
| Frätskada | 0 % |

D. Diskussion om modell och indata

Risken analysen utförs med en analysteknik som bygger på en omfattande och detaljerad hantering av den variation och osäkerhet som kan förknippas med riskbedömningar. Metodiken följer det arbetssätt som använts för underlaget till Länsstyrelsens i Skåne läns riktlinjer (RIKTSAM) och i de fall där specifika indata saknas har värden, fördelningar och annan betydelsefull information hämtats från RIKTSAM.

D.1. Beräkningsmodeller

Modellerna som används för att beräkna konsekvenser av olyckor bygger i huvudsak på information som finns tillgänglig i den så kallade FOA-handboken³⁷. I stort är det samma modeller som RIKTSAM bygger på, med undantag av vissa förbättringar. Bland annat modelleras utsläpp av giftiga gaser med både jet- och tunggassteg, vilket RIKTSAM inte gör. Detta ger mer realistiska (och längre) konsekvensområden i föreliggande riskanalys.

D.1.1. Indata

Val av indata har stor betydelse för konsekvensberäkningarna och i många fall är indata förknippade med stor variation eller osäkerhet. Indata där variationen spelar roll är exempelvis väder- och vindförhållanden och indata som är förknippad med stor osäkerhet är till exempel hålstorlek vid utsläpp.

³⁵ TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.

³⁶ Stadsbyggnadskontoret i Göteborg. *Översiktsplan för Göteborg - Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods*, Bilagor 1-5. 1997.

³⁷ Fischer, S. m.fl., *Vädautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1997.



Väder- och vindförhållanden

Väder- och vindförhållanden baseras på generisk statistik för Sverige. Statistiken gör det möjligt att ta fram diskreta sannolikhetsfördelningar för atmosfärens stabilitet och kontinuerliga fördelningar för vindhastigheten för respektive stabilitetsklass.

Generella indata och ämnesspecifika uppgifter

Exempel på generella indata är flödeskoefficienter och höjd på vätskepelare (i tanken), samt de hålstorlekar som kan uppkomma vid en olycka. Hålstorlekarna är de samma som i RIKTSAM, med sannolikheter från VTI³⁸:

- Litet hål (62,5 %), 10 mm diameter, 1 kg/s.
- Medelstort hål (20,8 %), 30 mm diameter, 12 kg/s.
- Stort hål (16,7 %), 110 mm diameter, 160 kg/s.

Dessa hålstorlekar är betydligt större än de som redovisas av Räddningsverket³⁹ där håldiametrar på 3, 9 respektive 31 mm används, vilket ger källstyrkor på 0,1–20 kg/s. En brittisk studie⁴⁰ använder 2 respektive 35 kg/s i sina beräkningar.

Konsekvensområdet för pölbränder bestäms i huvudsak av antagen hålstorlek och till viss del av antagen strålningsandel. Hålstorleken har drygt 5 gånger så stor påverkan på resultatet i jämförelse med strålningsandelen.

Det är tre variabler som har störst betydelse för konsekvensområdet för gasutsläpp som driver i väg med vinden – hålstorleken, vindhastigheten och stabilitetsklassen. Variablernas inbördes betydelse är 6,5 - 1,6 - 1, vilket innebär att det är hålstorleken som dominerar konsekvensområdets storlek. Kunskapsunderlaget för val av källstyrkor är sparsamt, men valda värden är konservativa i förhållande till andra modeller och riktlinjer.

Skadekriterier

Riskanalysen berör skador på människor och använder olika skadekriterier för exponering av giftiga gaser, värmestrålning och tryck. Konsekvensområdet bestäms av avståndet från utsläppskällan till en punkt där en dödlighet på 50 % inträffar. En förenkling som görs i enlighet med metodik redovisad i CPQRA⁴¹ är att anta att alla människor omkommer inom området 100 till 50 % dödlighet och i området 50 till 0 % omkommer ingen. Vid en verklig olycka kan människor som befinner sig inom konsekvensområdet överleva samtidigt som människor utanför kan omkomma. Användningen av 50 % dödlighet skall därför ses som ett genomsnitt.

Den exponering som ger 50 % dödlighet kallas även för LC₅₀-värde. LC₅₀-värdet kan bestämmas med kännedom om exponering och tid. CPR 18E⁴² har använts som inspiration för de exponeringstider som används, vilka är 30 minuter för giftig gas och 30 sekunder för brännskada.

³⁸ Väg- och Trafikforskningsinstitutet, *Konsekvensanalys av olika olycksscenarioer vid transport av farligt gods på väg och järnväg*, rapport nr 387:4, 1994.

³⁹ Räddningsverket, *Farligt gods – riskbedömning vid transport*, 1996.

⁴⁰ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

⁴¹ Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989.

⁴² TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.



D.2. Slutsatser

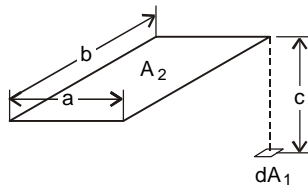
De variabler som påverkar riskbedömningen mest är utsläppets källstyrka (hålstorlek), vindhastighet och atmosfärens stabilitet. De två sistnämnda variablerna har bestämts med hjälp av generell väderstatistik och bedöms vara robusta i sammanhanget. Källstyrkan bygger på antaganden med ett relativt begränsat kunskapsunderlag. I föreliggande riskanalys används dock källstyrkor som klart överstiger värden som går att finna i andra vägledning och rekommendationer. Rekommendationerna i rapporten bedöms vara tillräckligt robusta inte nödvändiga att justera.

E. Säkerhetshöjande åtgärder

E.1. Skydd mot brandspridning

En pölbrand uppkommer vid utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor. Strålningsvärmen från dessa bränder är intensiv samtidigt som den avtar exponentiellt med avståndet. strålningsnivån ska understiga det värde på 14 kW/m² som ger upphov till 2:a gradens brännskador respektive det värde på 15 kW/m² som ger brandspridning till byggnader⁴³.

För att kunna bedöma på vilket avstånd som det finns risk för brandspridning görs beräkningar av värmestrålning för en dimensionerande pölbrand⁴⁴ på 200 m², vilket ger en flamma som är 21 meter hög och 16 meter bred. Utgående strålning från branden är 43 kW/m² och för att brandspridning/brännskador inte ska ske måste synfaktorn understiga 0,33. Synfaktorn understiger detta värde på cirka 15 meters avstånd från branden. Beräkningarna redovisas nedan och gäller för motstående ytor (fasader parallella med spårområdet). Notera att avståndet (c) är det som söks för att synfaktorn (F_{d1-2}) inte ska överstiga 0,33.



$$F_{d1-2} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{\sqrt{a^2 + c^2}} \tan^{-1} \left(\frac{b}{\sqrt{a^2 + c^2}} \right) + \frac{b}{\sqrt{b^2 + c^2}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{\sqrt{b^2 + c^2}} \right) \right]$$

$$a/2 = 8 \text{ m}$$

$$b/2 = 10,5 \text{ m}$$

$$c = 15 \text{ m}$$

$$4 \times F_{d1-2} = 4 \times 0,079 = 0,32$$

Beräkningarna ovan visar att ett skyddsavstånd på 15 meter är tillräckligt för att undvika brandspridning och brännskador. Men, då avståndet ska mätas från pölens närmaste kant mot byggnaden uppstår några osäkerheter. Det är rimligt att anta att pölen breder ut sig mot planområdet och dess diameter är i storleksordningen 15 meter. Om byggnader inom 30 meter från transportleden skyddas mot brandspridning fås ett skydd som är tillfredsställande i de allra flest fall. Om det finns förutsättningar för att begränsa spridningen av vätskor kan ett skyddsavstånd på 20 meter från kanten där vätskor bromsas upp. Exempel på detta är mitten på ett dike, nedre kanten på en vall eller kanten hos en mur som vetter mot transportleden.

⁴³ Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av brandskydd i byggnader, BBRAD3, BFS 2011:27 med ändringar t.o.m. 2013:12.

⁴⁴ Brandens yta på 200 m² motsvarar ytan som ett stort läckage av en hel tank, cirka 20 m³, resulterar i. Kolväten brinner med en förbränningshastighet på 0,1 kg/m²s, vilket ger en effektutveckling på cirka 370 MW för en pöl på 200 m².