



UNITED
BY OUR
DIFFERENCE



Detaljerad riskbedömning för detaljplan

Transporter av farligt gods

Karlavagnsplatsen, Göteborgs Stad

2015-06-02

Reviderad 2016-10-24 och 2017-04-26

Uppdragsgivare

Tore Hjelte
Stadsbyggnadskontoret Göteborgs Stad
Box 2554
403 17 Göteborg

tore.hjelte@sbk.goteborg.se

WSP kontaktperson

Fredrik Larsson
WSP Sverige AB
Box 13033
40251 Göteborg

Tel: +46 10 722 50 00
Fax: +46 10 722 74 20

www.wspgroup.se

Dokumenthistorik och kvalitetskontroll

Utgåva/revidering	Utgåva 1	Revision 1	Revision 2	Revision 3
Anmärkning	Rapport	Rapport	Rapport	
Datum	2015-06-02	2016-10-24	2017-04-26	
Uppdragsledare	Fredrik Larsson	Fredrik Larsson	Fredrik Larsson	
Granskare	Johan Lundin	Johan Lundin	Johan Lundin	
Uppdragsnummer	10213716	10213716	10213716	

Sammanfattning

Stadsbyggnadskontoret i Göteborg arbetar med en ny detaljplan för området Karlavagnsplatsen. Syftet med detaljplanen är att möjliggöra byggnation av bostäder, handel, hotell, skola och kontor.

Planområdet är beläget söder om Lundbyleden och Hamnbanan på Hisingen i Göteborgs Stad. WSP har fått i uppdrag att upprätta en detaljerad riskbedömning med avseende på riskpåverkan från transport av farligt gods på väg och järnväg.

Syftet med riskbedömningen är att uppfylla länsstyrelsen i Västra Götalands läns krav på beaktande av riskhanteringsprocessen vid markanvändning intill farligt gods-led. Målet med riskbedömningen är att utreda lämpligheten med planerad markanvändning utifrån riskpåverkan samt att föreslå åtgärder vid behov.

De risker som har identifierats för undersökt planområde är förknippade med farligt gods-trafiken på Hamnbanan. På Lundbyleden råder restriktioner mot transporter av farligt gods. Därtill finns två drivmedelsstationer i planområdets närhet, dock uppgår avstånd till ca 270 respektive 390 meter, vilket innebär att gällande skyddsavstånd efterlevs.

Resultatet av individriskberäkningarna påvisar behov av åtgärder för den norra delen av planområdet. Vid läget för planerad bebyggelse inom planområdet är individrisknivån att betrakta som acceptabel. Samhällsriskberäkningarna visar dock att riskreducerande åtgärder krävs för hela planområdet, eftersom samhällsriskens överstiger tillämpade värderingskriterier.

Det är svårt att reducera frekvenserna med tanke på att riskkällan generellt inte kan påverkas i detta detaljplanesammanhang och därför har ett antal konsekvensbegränsande åtgärder föreslagits och diskuterats. Det bör poängteras att åtgärdsförslagen är just förslag i detta skede och att fortsatta utredningar kring funktionskrav, dimensionering och placering av åtgärderna krävs för att kunna bedöma om den riskreducerande effekten är tillräcklig.

De föreslagna åtgärderna är:

- En vall uppförs mellan Hamnbanan och planområdet. Vallen skall hindra urspårning mot grönområdet, vara så hög att den avskärmar jetflammar och begränsar strålningspåverkan från pölbränder samt ha en sådan utbredning och höjd att den reducerar spridning av tunga gaser mot planområdet och ger ett visst explosionsskydd.
- Berört järnvägsavsnitt förses med urspårningsräl.
- Grönområdet i planområdets norra del utformas som naturmark utan större lekplatser, idrottsplatser eller liknande verksamheter som kan uppmuntra till stadigvarande vistelse.
- Inom planområdet utformas ”första radens bebyggelse (den bebyggelse som ligger närmst riskkällan i norr) så att utrymning bort från riskkällan medges.
- Ventilation för byggnader inom planområdet skall placeras så högt som möjligt och med friskluftsintag vända bort från riskkällan. Därtill skall ventilationen förses med nödavgångsmöjlighet så att ventilation kan stängas av vid t.ex. ett VMA (viktigt meddelande till allmänheten).

Givet de förutsättningar som finns i detta skede bedöms de föreslagna riskreducerande åtgärderna kunna sänka samhällsrisknivån för planområdet och grönområdet från oacceptabla nivåer till en nivå inom den övre delen av det s.k. ALARP-området enligt DNV:s värderingskriterier. Givet att alla rimliga åtgärder vidtas, samt att nyttan med exploateringen anses mycket stor, bör därmed risknivån vara tolerabel enligt definitionen för ALARP-området.

Vilka värderingskriterier och bedömningsgrunder som skall gälla för planen bör fastställas i samråd enligt miljöbedömningsprocessen. I aktuellt fall bedömer Göteborgs stad att DNV:s kriterier för riskvärdering är tillämpliga.

Innehållsförteckning

1	Inledning	5
1.1	Bakgrund	5
1.2	Syfte och mål	5
1.3	Avgränsningar	5
1.4	Styrande dokument.....	5
1.5	Underlagsmaterial.....	6
1.6	Revidering	7
1.7	Internkontroll.....	7
2	Områdesbeskrivning	8
2.1	Planområde	8
2.2	Infrastruktur	8
3	Omfattning av riskhantering och metod.....	10
3.1	Begrepp och definitioner.....	10
3.2	Metod för riskinventering	10
3.3	Metod för riskuppskattning.....	11
3.4	Metod för riskvärdering	12
3.5	Metod för identifiering av riskreducerande åtgärder.....	14
4	Riskidentifiering.....	15
4.1	Identifiering och beskrivning av riskkällor	15
4.2	Transportleder för farligt gods.....	15
5	Riskuppskattning och riskvärdering.....	17
5.1	Individrisknivå med avseende på farligt gods- transporter.....	17
5.2	Samhällsrisknivå med avseende på farligt gods- transporter.....	18
6	Riskreducerande åtgärder.....	19
6.1	Behov av riskreducerande åtgärder.....	19
6.2	Förslag till riskreducerande åtgärder	19
6.3	Uppskattad risknivå efter vidtagna åtgärder	21
7	Diskussion och osäkerheter	22
8	Slutsatser	23
	Bilaga A. Frekvens- och sannolikhetsuppskattningar.....	24
	Bilaga B. Konsekvensuppskattningar.....	33
	Bilaga C. Kontrollberäkningar ventilationsåtgärder	40
	Bilaga D. Referenser	46

1 Inledning

WSP har av Stadsbyggnadskontoret i Göteborg fått i uppdrag att göra en riskbedömning i samband med upprättande av detaljplan för Karlavagnsplatsen i Göteborgs kommun. Riskbedömningen avser beskriva riskbilden för planområdet och därmed utgöra en grund för att bedöma lämpligheten med detaljplanen, samt vid behov ge förslag på riskreducerande åtgärder.

1.1 Bakgrund

Planområdet är beläget söder om Lundbyleden och Hamnbanan på Hisingen i Göteborgs kommun. På båda dessa infrastrukturleder förekommer transporter av farligt gods. Avståndet mellan Lundbyleden och planområdet uppgår till ca 160 meter och mellan Hamnbanan och planområdet till ca 110 meter.

Enligt länsstyrelserna i Skåne, Stockholms och Västra Götalands län ska riskhanteringsprocessen beaktas i framtagandet av detaljplaner inom 150 meter från farligt gods-led [1]. Med anledning av länsstyrelsernas krav upprättas denna riskbedömning.

1.2 Syfte och mål

Syftet med denna riskbedömning är att uppfylla länsstyrelsen i Västra Götalands läns krav på beaktande av riskhanteringsprocessen vid markanvändning intill farligt gods-led. Riskbedömningen upprättas som ett underlag för fattande av beslut om lämpligheten med planerad markanvändning, med avseende på närhet till farligt gods-led.

Målet med riskbedömningen är att utreda och värdera riskpåverkan på planområdet och vid behov ge förslag på åtgärder.

1.3 Avgränsningar

I riskbedömningen belyses risker förknippade med transport av farligt gods på Hamnbanan, urspårning på densamma samt transporter av farligt gods på Lundbyleden. De risker som har beaktats är plötsligt inträffade skadehändelser (olyckor) med livshotande konsekvenser för tredje man, d.v.s. risker som påverkar personers liv och hälsa. Egendomsskador, eventuella skador på naturmiljön eller skador orsakade av långvarig exponering för avgaser/emissioner eller buller har inte beaktats.

Resultatet av riskbedömningen gäller under angivna förutsättningar. Vid förändring av förutsättningarna behöver riskbedömningen uppdateras

1.4 Styrande dokument

Plan- och bygglagen (2010:900) anger följande:

Vid planläggning och i ärenden om bygglov eller förhandsbesked enligt denna lag ska bebyggelse och byggnadsverk lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till:

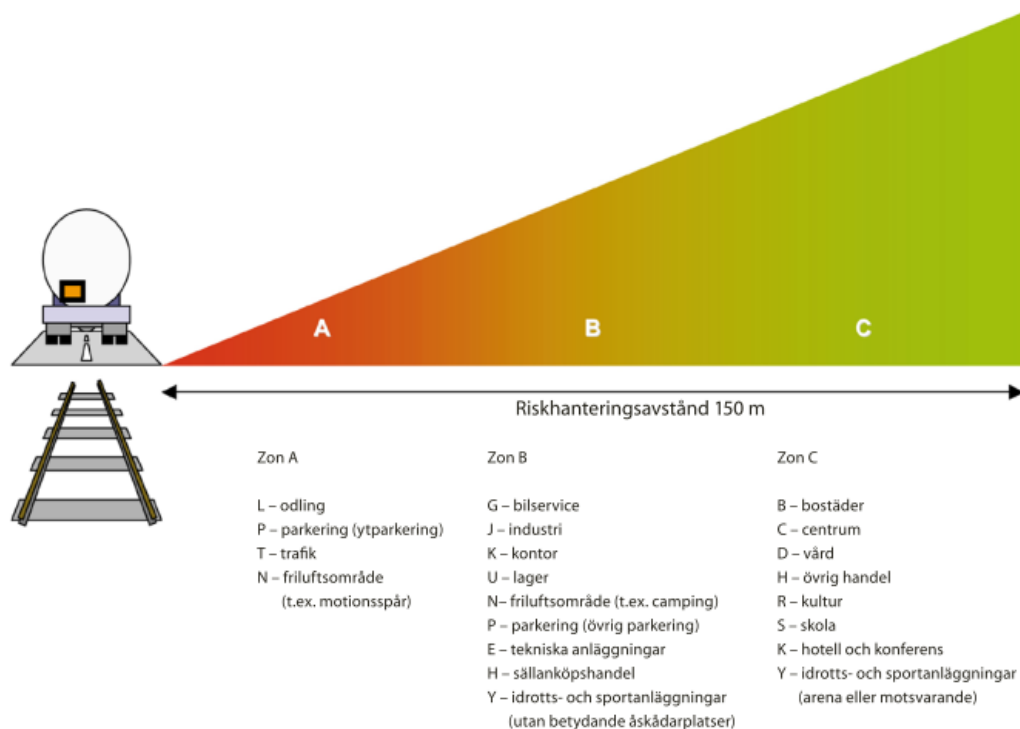
1. människors hälsa och säkerhet, ... (2 kap. 5§)

Vid planläggning och i ärenden om bygglov enligt denna lag ska bebyggelse och byggnadsverk utformas och placeras på den avsedda marken på ett sätt som är lämpligt med hänsyn till:

2. skydd mot uppkomst och spridning av brand och mot trafikolyckor och andra olyckshändelser, ... (2 kap. 6§).

Länsstyrelserna i Skånes, Stockholms samt Västra Götalands län gemensamma dokument Riskhantering i detaljplaneprocessen [1] anger att riskhanteringsprocessen ska beaktas vid markanvändning inom 150 meter från en transportled för farligt gods. 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. Zonerna representerar lämplig markanvändning i förhållande till transportled för farligt gods [1].

1.5 Underlagsmaterial

Arbetet baseras på följande underlag:

- Grundkarta, Göteborgs stadsbyggnadskontor, uttagen 2015-05-06.
- Offertförfrågan, Göteborgs Stad, Stadsbyggnadskontoret, 2015-02-27, Diarienummer 0656/15.
- Riktlinjer för riskbedömningar (Räddningstjänsten Storgöteborg, 2004).
- Riskhantering i detaljplaneprocessen (Länsstyrelserna i Skåne län, Stockholms län och Västra Götalands län, 2006).
- Säkerhetshöjande åtgärder i detaljplaner - Vägledningsrapport (Räddningsverket/Boverket, 2006).

1.6 Revidering

Denna handling utgör en tredje version och innehåller därmed revideringar. Samtliga reviderade avsnitt, relativt grundrapporten daterad 2015-06-02, markeras med lodrätt streck i vänstermarginalen.

De avsnitt som reviderats sammanställs i Tabell 1.

Tabell 1. Reviderade avsnitt relativt grundrapporten daterad 2015-06-02.

Revision 1, 2016-10-24	Revision 2, 2017-04-26
Sammanfattning	6.2.1
2.1	6.2.4
2.2.2	A.1.4
5.1	A.2
5.2	
6.2.1	
6.3	
8	
A.1	
A.1.3	
A.2	
B.1	

1.7 Internkontroll

Rapporten är utförd av Fredrik Larsson (Brandingenjör och Civilingenjör i Riskhantering). I enlighet med WSP:s miljö- och kvalitetsledningssystem, certifierat enligt ISO 9001 och ISO 14001, omfattas denna handling av krav på internkontroll. Ansvarig för denna granskning har varit Johan Lundin (Brandingenjör och Tekn. Dr.).

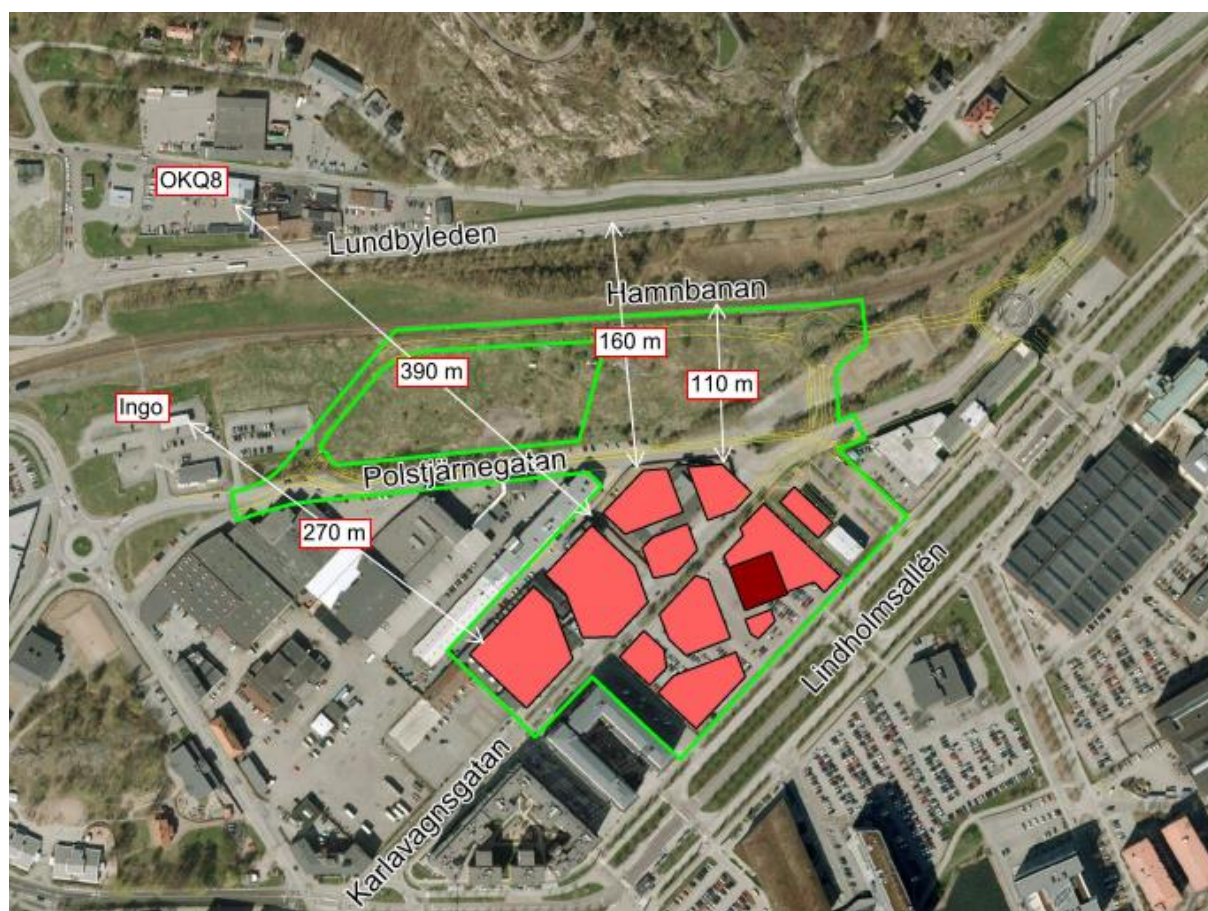
2 Områdesbeskrivning

I detta kapitel ges en översiktlig beskrivning av planområdet med dess omgivning.

2.1 Planområde

En ny detaljplan för Karlavagnsplatsen är under framtagande, se Figur 2. Syftet med detaljplanen är att möjliggöra byggnation av bostäder, handel, hotell, skola och kontor vid Karlavagnsgatan i stadsdelen Lindholmen. Bebyggelsen uppförs i kvartersform i varierande antal våningar. Den högsta byggnaden, det så kallade Karlavagnstornet, föreslås få en byggnadshöjd av ca 240 meter (64 vån.).

Omgivningen runt det undersökta planområdet består mestadels av verksamheter av olika slag (kontor, lager, ej störande industri etc.) och bostäder. Norr om planområdet löper Hamnbanan och Lundbyleden. Nordväst om planområdet finns två befintliga bensinstationer. Söder om planområdet löper Göta Älv.



Figur 2. Planområdets gräns markerat med grön linje. Byggnation inom planområdet markerat rött. Avstånd till riskkällor i omgivningen.

2.2 Infrastruktur

I följande avsnitt beskrivs den infrastruktur som omgärdar planområdet.

2.2.1 Lundbyleden

Lundbyleden är en vägtrafikled som utgör del av länsväg 155. Aktuellt avsnitt angränsande till planområdet utgör inte utpekad transportled för farligt gods. Vägen ansluter i väster till

Lundbytunneln, som tillhör tunnelkategori E, vilket innebär restriktioner mot transporter av farligt gods andra än t.ex. diesel och eldningsolja med hög flampunkt. Enligt uppgift förekommer dock vissa transporter av brandfarlig vätska (ADR-S-klass 3) till drivmedelsstationer etc.

Avståndet mellan Lundbyleden och bebyggelse inom planområdet uppgår som närmst till ca 160 meter.

2.2.2 Hamnbanan

Norr om planområdet löper järnvägen (Hamnbanan), vilken är en starkt trafikerad transportled för bland annat farligt gods. Kortaste avståndet mellan Hamnbanan och bebyggelse inom planområdet är ca 110 meter. Till Karlavagnstornet uppgår avstånd till ca 160 meter. Aktuell del av Hamnbanan utgörs av enkelspår med en maxhastighet av 40 km/h. Tvåspårsutbyggnad är inte aktuell för avsnittet angränsande till planområdet inom avsnittet Eriksberg – Kville. Alternativa utformningar av aktuellt avsnitt har tidigare utretts, såsom nedläggning i tråg, överdäckning, spårdragning genom berg etc. Inga beslut finns dock tagna kring alternativa utformningar varvid befintligt spår förväntas vara kvar vid tilltänkt exploatering av planområdet. Detta är ett konservativt antagande då övriga nämnda utformningar skulle innebära en riskminskning för omgivningen, planområdet inkluderat.

Vid horisontår 2035 förväntas Hamnbanan trafikerats av ungefär 87 godståg per dygn enligt basprognos [2]. Ca 5% av det transporterade godset antas utgöras av farligt gods [3]. Ingen persontrafik förekommer på banan.

2.2.3 Göta Älv

Söder om planområdet går Göta älv, som är en viktig transportled för regionen, och fartygstrafiken är relativt intensiv. Såväl färjor, bunkerbåtar och lastfartyg som turbåtar och fritidsbåtar trafikerar älven. Tillgänglig farledsbredd är 150 till 200 meter i området, med ett vattendjup om ca 10 meter.

Enligt Översiktplan för Göteborg, fördjupad för sektorn transporter av farligt gods [4] medges intill Göta älv tät bebyggelse fram till 10 meter från kaj. Avstånd mellan älven och planområdet uppgår i aktuellt fall till ca 500 meter.

2.2.4 Drivmedelsstationer

Nordväst om planområdet finns två befintliga bensinstationer (Ingo och OKQ8) som hanterar brandfarlig vara i form av bensin, diesel och etanol. Avstånd från dessa verksamheter till bebyggelse inom planområdet uppgår till ca 270 respektive 390 meter.

3 Omfattning av riskhantering och metod

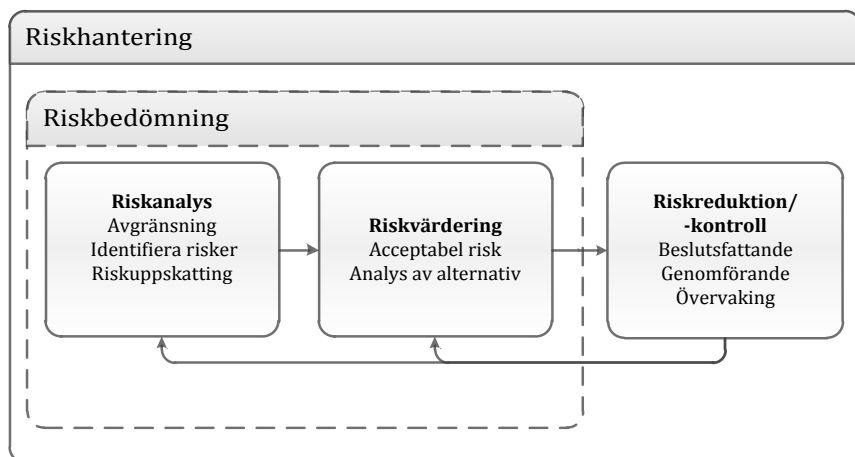
Detta kapitel innehåller en beskrivning av begrepp och definitioner, arbetsgång och omfattning av riskhantering i projektet samt de metoder som använts.

3.1 Begrepp och definitioner

Begreppet risk avser kombinationen av sannolikheten för en händelse och dess konsekvenser. Sannolikheten anger hur troligt det är att en viss händelse kommer att inträffa och kan beräknas om frekvensen, d.v.s. hur ofta något inträffar under en viss tidsperiod, är känd.

Riskanalys omfattar, i enlighet med de internationella standarder som beaktar riskanalyser i tekniska system [5] [6], riskidentifiering och riskuppskattning, se Figur 3. Riskidentifieringen är en inventering av händelseförlopp (scenarier) som kan medföra oönskade konsekvenser, medan riskuppskattningen omfattar en kvalitativ eller kvantitativ uppskattning av sannolikhet och konsekvens för respektive scenario.

Sannolikhet och frekvens används ofta synonymt, trots att det finns en skillnad mellan begreppen. Frekvensen uttrycker hur ofta något inträffar under en viss tidsperiod, t.ex. antalet bränder per år, och kan därigenom anta värden som är både större och mindre än 1. Sannolikheten anger istället hur troligt det är att en viss händelse kommer att inträffa och anges som ett värde mellan 0 och 1. Kopplingen mellan frekvens och sannolikhet utgörs av att den senare kan beräknas om den första är känd.



Figur 3. Riskhanteringsprocessen.

Efter att riskerna analyserats görs en riskvärdering för att avgöra om riskerna kan accepteras eller ej. Som en del av riskvärderingen kan det även ingå förslag till riskreducerande åtgärder och verifiering av olika alternativ. Det sista steget i en systematisk hantering av riskerna kallas riskreduktion/-kontroll. I det skedet fattas beslut mot bakgrund av den värdering som har gjorts av vilka riskreducerande åtgärder som ska vidtas.

Riskhantering avser hela den process som innehåller analys, värdering och reduktion/-kontroll, medan riskbedömning enbart avser analys och värdering av riskerna.

3.2 Metod för riskinventering

För att ta reda på vilka risker som föreligger inom aktuellt planområde har kartstudier genomförts. Information från Göteborgs kommun, Trafikverket och Räddningstjänsten Storgöteborg har tillsammans med kartstudierna sedan legat till grund för riskinventeringen.

3.3 Metod för riskuppskattning

Riskbedömningen utgör i aktuellt fall en kvantitativ bedömning där de skadescenerier som kan inträffa vid transport av farligt gods. Kvantitativa metoder är helt numeriska och beskriver således risker med kvantitativa termer, exempelvis förväntat antal omkomna per år [7].

Med hjälp av Banverkets (nuvarande Trafikverket) rapport [8] beräknas frekvensen för att en järnvägsolycka, med eller utan farligt gods, inträffar på den aktuella sträckningen. För beräkning av frekvenser/sannolikheter för respektive skadescenario används händelseträdsanalys. Frekvensberäkningarna redovisas i Bilaga A.

Konsekvenserna av olika skadescenarier uppskattas utifrån litteraturstudier, datorsimuleringar och handberäkningar. Konsekvensuppskattningar redovisas mer omfattande i Bilaga B.

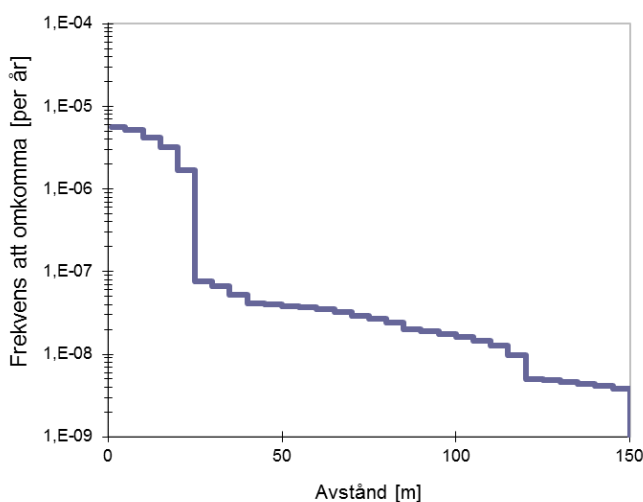
I denna detaljerade riskbedömning har riskmåttet individ- och samhällsrisk använts för att uppskatta risknivån med avseende på identifierade risker förknippade med farligt gods-transporter.

Det är nödvändigt att använda sig av båda riskmått, individ- och samhällsrisk, vid uppskattning av risknivån i ett område så att risknivån för den enskilde individen tas i beaktande (individperspektiv), samtidigt som hänsyn tas till hur stora konsekvenserna kan bli med avseende på antalet personer som samtidigt påverkas (samhällsperspektiv).

3.3.1 Individrisk

Individrisken är sannolikheten att omkomma för en person som kontinuerligt vistas på en specifik plats, t.ex. på ett visst avstånd från en industri eller transportled, oftast utomhus [9]. Individrisken är platsspecifik och är oberoende av hur många personer som vistas i det givna området. Syftet med riskmålet är att se till att enskilda individer inte utsätts för oacceptabla risknivåer.

Individrisken kan redovisas i form av en individriskprofil, som visar frekvensen att omkomma per år som funktion av avståndet från riskkällan, se Figur 4.

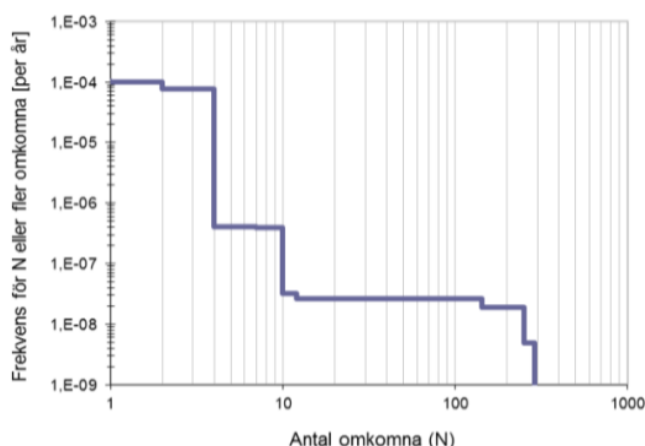


Figur 4. Exempel på individriskprofil.

3.3.2 Samhällsrisk

Riskmålet samhällsrisk beaktar även hur stora konsekvenserna kan bli med avseende på antalet personer som påverkas vid olika skadescenarier. Hänsyn kan därmed tas till befolkningssituationen inom det aktuella området, i form av befolkningens mängd och persontäthet. Hänsyn tas även till eventuella tidsvariationer, som t.ex. att persontätheten i området kan vara hög under en begränsad tid på dygnet eller året och låg under andra tider.

Samhällsrisken redovisas ofta med en F/N-kurva (Frequency/Number), se Figur 5, som visar den ackumulerade frekvensen för N eller fler omkomna till följd av de antagna olycksscenarierna.



Figur 5. Exempel på F/N-kurva för beskrivning av samhällsrisk.

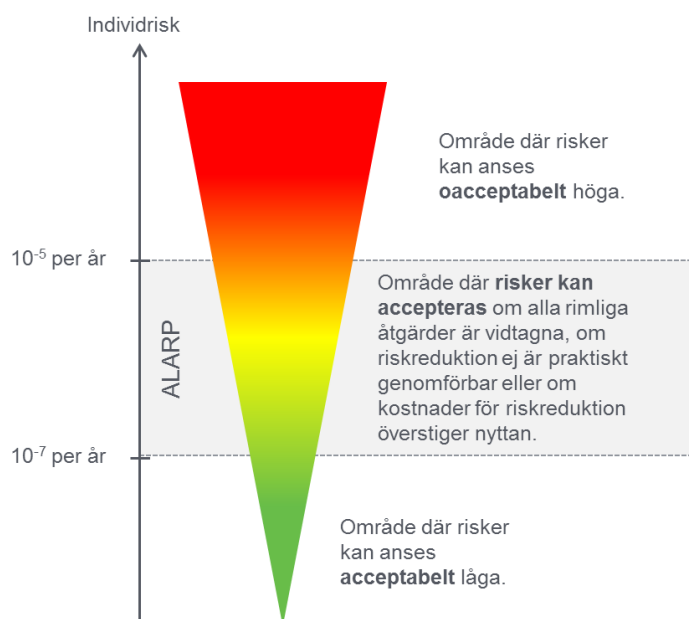
I F/N-kurvan illustreras hur ofta olyckor sker med ett givet antal omkomna personer, och det går således att särskilja på frekvensen av olyckor med en liten konsekvens och olyckor med stor konsekvens.

3.4 Metod för riskvärdering

Både individrisk och samhällsrisk används vid uppskattning av risknivån i ett område, så att risknivån för den enskilde individen beaktas samtidigt som hänsyn tas till hur stora konsekvenserna kan bli med avseende på antalet personer som påverkas.

3.4.1 DNV:s föreslagna kriterier

Det Norske Veritas (DNV) tog, på uppdrag av Räddningsverket, fram förslag på riskkriterier [9] gällande individ- och samhällsrisk. Risker kan kategoriskt indelas i tre grupper; acceptabla, acceptabla med restriktioner eller oacceptabla, se Figur 6.



Figur 6. Princip för värdering av risk vid fysisk planering.

Följande förslag till tolkning rekommenderas [9]:

- Risker som klassificeras som oacceptabla värderas som oacceptabelt höga och tolereras ej. Dessa risker kan vara möjliga att reducera genom att åtgärder vidtas.
- De risker som bedöms tillhöra den andra kategorin värderas som acceptabla om alla rimliga åtgärder är vidtagna. Risker i denna kategori ska behandlas med ALARP-principen (As Low As Reasonably Practicable). Risker som ligger i den övre delen, nära gränsen för oacceptabla risker, accepteras endast om nyttan med verksamheten anses mycket stor, och det är praktiskt omöjligt att vidta riskreducerande åtgärder. I den nedre delen av området bör inte lika hårda krav ställas på riskreduktion, men möjliga åtgärder till riskreduktion ska beaktas. Ett kvantitativt mått på vad som är rimliga åtgärder kan erhållas genom kostnads-nyttoanalys.
- De risker som kategoriseras som låga kan värderas som acceptabla. Dock ska möjligheter för ytterligare riskreduktion undersökas. Riskreducerande åtgärder, som med hänsyn till kostnad kan anses rimliga att genomföra, ska genomföras.

För individrisk föreslog DNV [9] följande kriterier:

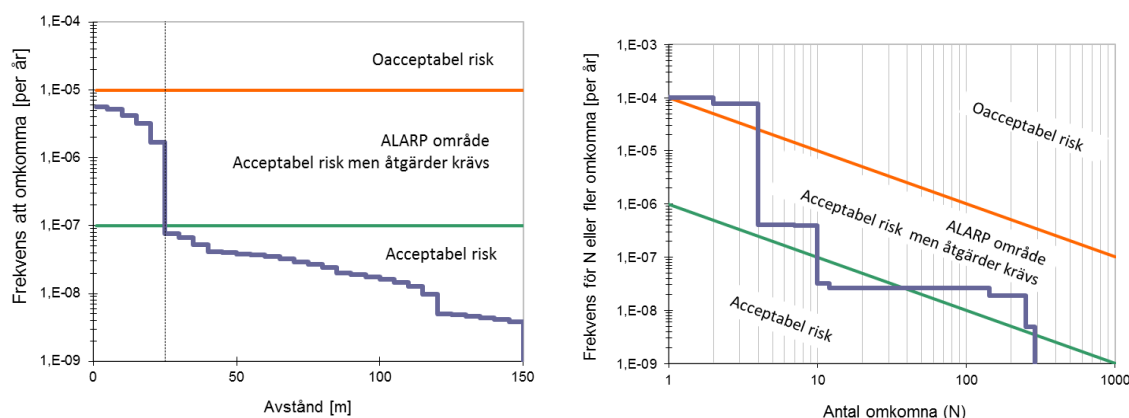
- Övre gräns för område där risker, under vissa förutsättningar, kan accepteras: 10^{-5} per år
- Övre gräns för område där risker kan kategoriseras som låga: 10^{-7} per år

För samhällsrisk föreslog DNV [9] 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

Ovanstående kriterier återfinns i riskvärderingen för bedömning av huruvida risknivån är acceptabel eller ej. Den övre gränsen markeras med röd streckad linje, och den undre med grön, se Figur 7.

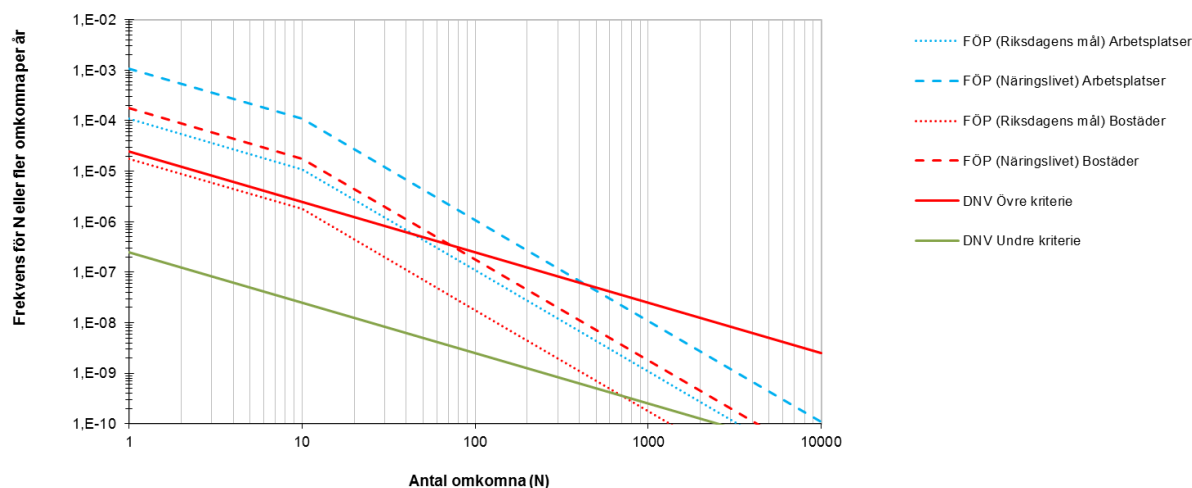
För samhällsrisk föreslog DNV [9] en uppsättning kriterier som baseras på att risken utmed en sträcka om 1 kilometer studeras. I denna riskutredning studeras dock en kortare sträcka på 500 meter, varför acceptanskriterierna måste justeras (sänkas). Resultatet visas i Figur 7. Anledningen till denna korrigering är att planområdet får en mycket högre persontäthet än kringliggande områden inom 1 km^2 . Grundtanken med att korrigera acceptanskriterierna är att planområdet skall värderas på jämförliga grunder som andra ytor med mer homogen befolkningsstruktur.



Figur 7. Föreslagna kriterier på individrisk samt samhällsrisk enligt DNV [9].

3.4.2 Stadsbyggnadskontoret i Göteborgs föreslagna aversionskurvor

Stadsbyggnadskontoret i Göteborg [4] har föreslagit aversionskurvor för samhällsrisk som kan jämföras med de riskkriterier som DNV föreslagit ovan. Aversionskurvorna i FÖP finns i olika versioner för tillämpning på arbetsplatser respektive på bostäder och gäller tät typbebyggelse på båda sidor om en 2 km lång riskkälla/transportled. För att kunna jämföras med DNV-kriterierna har FÖP-kriterierna anpassats på ett likartat sätt som beskrivits i avsnitt 3.4.1. Resultatet åskådliggörs i Figur 8.



Figur 8. Föreslagna kriterier samhällsrisk enligt DNV och FÖP Göteborg [4].

Samtliga ovanstående kriterier återfinns i riskvärderingen, vid jämförelse med resultatet av riskanalysen för planområdet, för bedömning av huruvida risknivån är acceptabel eller inte.

3.5 Metod för identifiering av riskreducerande åtgärder

Om risknivån bedöms som ej acceptabel ska riskreducerande åtgärder identifieras och föreslås. Exempel på vanligt förekommande riskreducerande åtgärder anges i Boverkets och Räddningsverkets (nuvarande Myndigheten för samhällsskydd och beredskap) rapport Säkerhetshöjande åtgärder i detaljplaner [10], vilken är lämplig att använda som utgångspunkt. Åtgärder redovisas som kan eliminera eller begränsa effekterna av de identifierade scenarier som bedöms ge störst bidrag till risknivån utifrån de lokala förutsättningarna. För att rangordna och värdera åtgärders effekt kan med fördel kostnads-effekt- eller kostnads-nyttoanalys användas. Riskbilden efter de valda åtgärdernas genomförande bör verifieras.

4 Riskidentifiering

I detta kapitel presenteras identifierade riskkällor samt en sammanställning av de olycksscenarier som beaktas vidare i rapporten.

4.1 Identifiering och beskrivning av riskkällor

De risker som har identifierats för planområdet är förknippade med farligt gods-trafiken på Hamnbanan samt urspårning. På Lundbyleden råder restriktioner mot transporter av farligt gods och endast transporter av brandfarliga vätskor i mindre omfattning till t.ex. drivmedelsstationer förekommer. Transporterna på Lundbyleden föranleder inget riskbidrag på det avstånd där planområdet är beläget. Därtill finns en drivmedelsstation i planområdets närhet, dock uppgår avstånd till ca 200 meter, vilket innebär att gällande skyddsavstånd efterlevs avseende denna.

Inga övriga riskkällor, såsom farliga verksamheter, Sevesoverksamheter, farligt gods-led på väg etcetera har identifierats i områdets närhet.

4.2 Transportleder för farligt gods

Farligt gods är ett samlingsbegrepp för farliga ämnen och produkter som har sådana egenskaper att de kan skada människor, miljö och egendom om det inte hanteras rätt under transport. Transport av farligt gods omfattas av regelsamlingar [11] som tagits fram i internationell samverkan. Farligt gods delas in i nio olika klasser enligt RID-S-systemet som baseras på den dominerande risken som finns med att transportera ett visst ämne eller produkt. I Tabell 2 redovisas klassindelningen av farligt gods och en beskrivning av vilka konsekvenser som kan uppstå vid olycka.

Tabell 2. Kortfattad beskrivning av respektive farligt gods-klass inom RID-S samt konsekvensbeskrivning.

RID-S Klass	Kategori	Beskrivning	Konsekvenser
1	Explosiva ämnen och föremål	Sprängämnen, tändmedel, ammunition, etc.	Tryckpåverkan och brännskador. Stor mängd massexplosiva ämnen ger <u>skadeområde med uppemot 250 m radie</u> (orsakat av tryckvåg). Personer kan omkomma både inomhus och utomhus. Övriga explosiva ämnen och mindre mängder massexplosiva ämnen ger enbart lokala konsekvensområden. Splitter och annat kan vid stora explosioner ge skadeområden med uppemot 700 m radie [12].
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, brinnande gasmoln eller BLEVE. <u>Konsekvensområden över 100-tals m</u> . Omkomna både inomhus och utomhus.
3	Brandfarliga vätskor	Bensin och diesel (majoriteten av klass 3) transporteras i tankar rymmandes upp till 50 ton.	Brännskador och rökskador till följd av pölbrand, strålningseffekt eller giftig rök. <u>Konsekvensområden vanligtvis inte större än 40 m för brännskador</u> . Rök kan spridas över betydligt större område. Bildandet av vätskepöl beror på vägutformning, underlagsmaterial och diken etc.

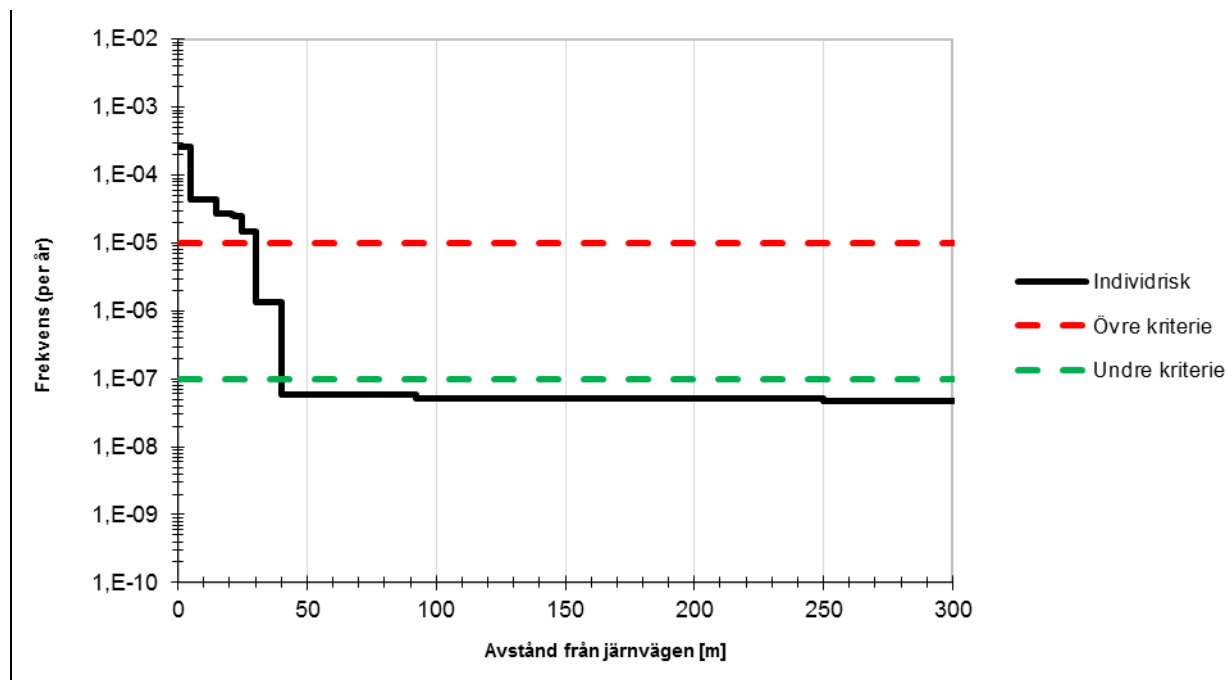
RID-S Klass	Kategori	Beskrivning	Konsekvenser
4	Brandfarliga fasta ämnen	Kiseljärn (metallpulver) karbid och vit fosfor.	Brand, strålning, giftig rök. <u>Konsekvenserna vanligtvis begränsade till närområdet kring olyckan.</u>
5	Oxiderande ämnen, organiska peroxider	Natriumklorat, väteperoxider och kaliumklorat.	Tryckpåverkan och brännskador. Självantändning, explosionsartade brandförlopp om väteperoxidlösningar med koncentrationer > 60 % eller organiska peroxider kommer i kontakt med brännbart, organiskt material. <u>Konsekvensområden för tryckvågor 150 m.</u>
6	Giftiga och smittförande ämnen	Arsenik-, bly- och kvicksilversalter, bekämpningsmedel, etc.	Giftigt utsläpp. Konsekvenserna vanligtvis begränsade till närområdet.
7	Radioaktiva ämnen	Medicinska preparat, vanligtvis små mängder.	Utsläpp radioaktivt ämne, kroniska effekter, mm. <u>Konsekvenserna begränsas till närområdet.</u>
8	Frätande ämnen	Saltsyra, svavelsyra, salpetersyra, natrium- och kaliumhydroxid (lut). Transporteras ofta som bulkvara.	Utsläpp av frätande ämne. <u>Dödliga konsekvenser begränsade till närområdet [13] (LC₅₀).</u> Personskador kan uppkomma på längre avstånd (IDLH).
9	Övriga farliga ämnen och föremål	Gödningsämnen, asbest, magnetiska material etc.	Utsläpp. <u>Konsekvenser begränsade till närområdet.</u>

Utifrån beskrivningarna i Tabell 2 samt statistik över transporterade ämnen och mängder bedöms följande farligt gods-kategorier vara relevanta för den fortsatta riskbedömningen; RID-S-klass 1, 2, 3 och 5. Övriga klasser transporteras i begränsad mängd, eller bedöms inte ge signifikanta konsekvenser förutom i olycksfordonets omedelbara närhet. Därtill studeras mekanisk skada vid urspårningar fortsatt i analysen.

5 Riskuppskattning och riskvärdering

I detta kapitel redovisas individrisknivå och samhällsrisknivå för planområdet med avseende på identifierade riskscenarier förknippade med transport av farligt gods på Hamnbanan år 2035. Individ- och samhällsrisknivå värderas sedan med hjälp av de acceptanskriterier som angivits i avsnitt 3.4.

5.1 Individrisknivå med avseende på farligt gods-transporter



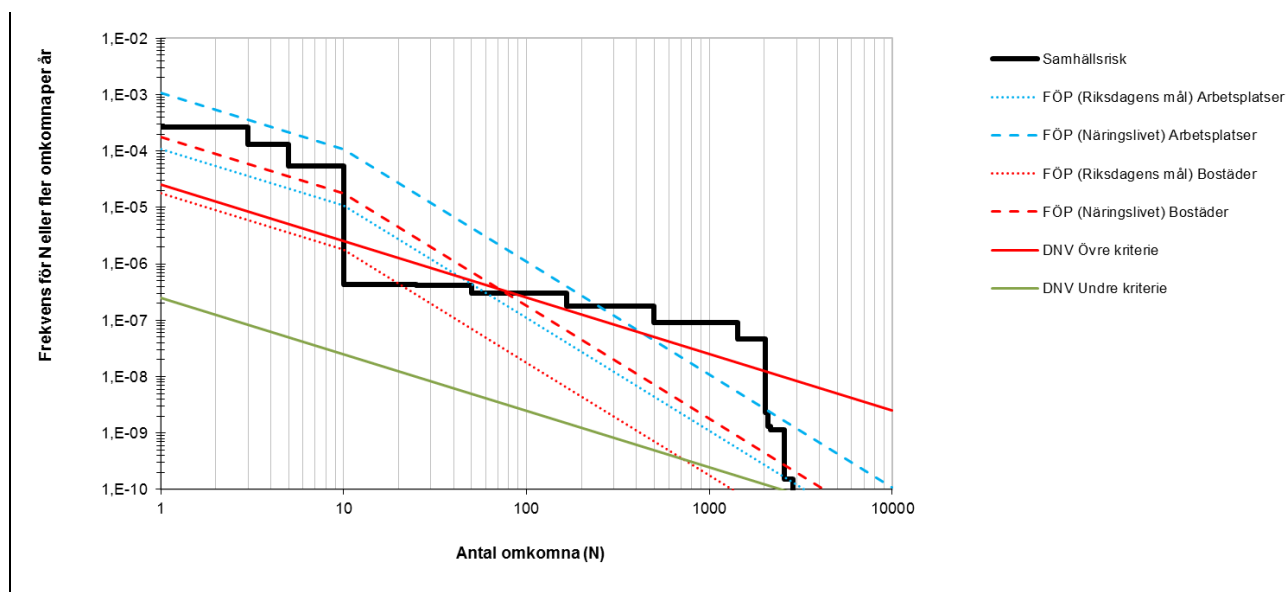
Figur 9. Individrisknivå med avseende på farligt gods-transporter på Hamnbanan.

I Figur 9 illustreras individrisknivå för planområdet längs Hamnbanan vid horisontår 2035. De streckade vågräta linjerna markerar övre och undre gräns för ALARP-området, se avsnitt 3.4. Bortom 40 meter från järnvägen är risknivå låg och acceptabel.

Bebyggelse inom planområdet planeras på ett avstånd av ca 110 meter från järnvägen. På detta avstånd är individrisken låg och acceptabel.

Detta riskmått tar dock inte hänsyn till persontäthet inom området. Därför är det nödvändigt att även studera samhällsrisknivå i området.

5.2 Samhällsrisknivå med avseende på farligt gods-transporter



Figur 10. Samhällsrisknivå med avseende på farligt gods-transporter på Hamnbanan.

I Figur 10 illustreras samhällsrisknivån för planområdet. Risknivån ligger på en nivå som är att betrakta som oacceptabelt hög enligt samtliga tillämpade värderingskriterier. Innebörden av detta är att riskreducerande åtgärder krävs om planerad etablering skall kunna genomföras.

6 Riskreducerande åtgärder

Riskreducerande åtgärder identifieras utifrån det specifika planförslaget samt Boverkets och Räddningsverkets rapport *Säkerhetshöjande åtgärder i detaljplaner* [10]. Åtgärder redovisas som kan eliminera eller begränsa effekterna av de identifierade scenarier som ger störst bidrag till risknivån.

6.1 Behov av riskreducerande åtgärder

Resultaten av riskuppskattningen visar att den beräknade samhällsrisknivån för planområdet är högre än vad som kan accepteras enligt både DNV:s [9] och FÖP:s [4] värderingskriterier. Detta innebär att riskreducerande åtgärder skall vidtas för att önskad exploatering inom planområdet och grönområdet norr om Polstjärnegatan skall kunna möjliggöras.

6.2 Förslag till riskreducerande åtgärder

Det finns ett antal riskreducerande åtgärder att vidta för att minska riskpåverkan på planområdet och grönområdet. Eftersom den beräknade samhällsrisknivån är att betrakta som oacceptabelt hög ställs höga krav på riskreduktion. Det är svårt att reducera frekvenserna med tanke på att riskkällorna inte kan påverkas i detta detaljplanesammanhang och därför ges primärt förslag på konsekvensbegränsande åtgärder. WSP bedömer föreslagna åtgärder som rimliga att kräva med hänsyn till risksituationen. Det bör poängteras att åtgärdsförslagen är just förslag i detta skede. Fortsatt analys av utformning och riskreducerande effekt samt kostnad-nytta krävs för att kunna optimera åtgärdspaketet.

6.2.1 Vall

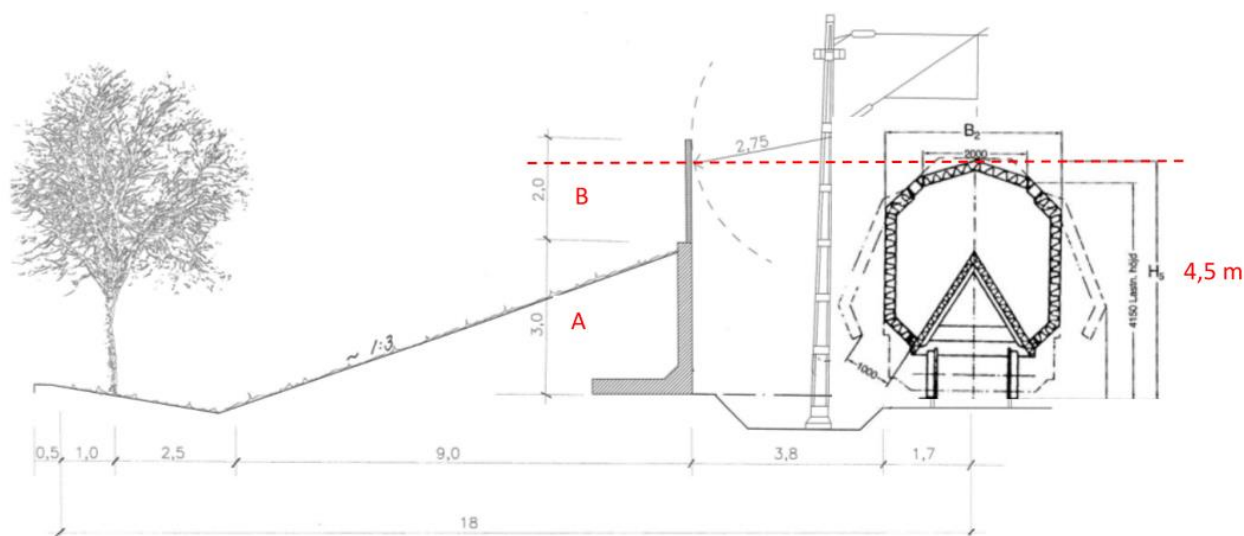
En vall av jordmassor kan fungera som en fysisk barriär mellan godsled och planområde. Vallen tjänar som en avgränsning mot planområdet vid utsläpp av vätskor, och begränsar både storlek och bildandet av pölar, och i förlängningen eventuella pölbränder. Gasutsläpp nära marken kan, till följd av den turbulens som vallen skapar, reduceras till ca hälften i koncentration. Tryckvågor från explosioner kan reduceras och avåknings mot planområdet och grönområdet förhindras. Åtgärden har dessutom hög tillförlitlighet och kräver ingen skötsel avseende bibehållen riskreducerande effekt. I det fall det finns överskottsmassor inom projektet är vallen kostnadseffektiv. Vallens höjd och utbredning bör utredas i detalj för att säkerställa den riskreducerande effekten. Därtill behöver geotekniska förhållanden utredas så att inte vallen ger sättningar i banvallen.

De funktionskrav som ställs på vallen är att den skall hindra urspårning mot grönområdet, vara så hög att den avskärmar jetflammar och begränsar strålningspåverkan från pölbränder samt ha en sådan utbredning och höjd att den hindrar spridning av tunga gaser mot planområdet.

Vid tidpunkten för revision 2 av denna riskbedömning planeras en motfylld mur placeras ca 5,5 meter söder om spårmit. Muren och dess motfyllning (A) planeras bli ca 3 meter hög och kröns av ett 2 meter högt obrännbart plank (B), se vidare Figur 11.

Givet en utformning i enlighet med Figur 11 och med en utbredning i längdled om totalt ca 700 meter (planområdets projicerade längd längs Hamnbanan (ca 300 meter) plus 200 meters överlapp i vardera riktningen bedöms barriären ge avsedd effekt.

För att barriären, i form av hinder i järnvägens närområde, inte ska förvärra en olycka vid tågurspårningar planeras aktuellt järnvägsavsnitt förses med urspårningsräl.



Figur 11. Planerad utformning av vall/mur och plank utmed Hamnbanan. Exempel på godsvagn schematiskt inklippt i figuren.

6.2.2 Disposition av grönområdet

Grönområdet bör utformas som parkmiljö utan större lekplatser, idrottsplatser eller liknande verksamheter som kan uppmuntra till stadigvarande vistelse och ansamling av större folkmassor.

6.2.3 Disposition av planområdet

Inom planområdet bör ”första radens bebyggelse” (den bebyggelse som ligger närmst riskkällan i norr) utformas så att utrymning bort från riskkällan medges.

6.2.4 Ventilationsåtgärder

Ventilation för byggnader inom planområdet bör placeras så högt som möjligt och med friskluftsintag vända bort från riskkällan. Därtill skall ventilationen förses med nödavstängningsmöjlighet så att ventilation kan stängas av vid t.ex. ett VMA (viktigt meddelande till allmänheten).

Bebyggelsen inom planområdet består till stor del av höga byggnader (>20 meter), men är inte homogen, vare sig vad gäller byggnadshöjd, verksamheter, täthet, typ av ventilationssystem etc.

För att optimera höjd för placering av friskluftsintag skulle mer detaljerade beräkningar av gasmolnsspridning och koncentrationer inomhus behöva utföras. Fullständig information avseende typ, placering och höjd för planerad bebyggelse samt information om ventilationssystem etc. saknas i detta skede varför denna fråga bör belysas och utredas vidare i kommande skeden.

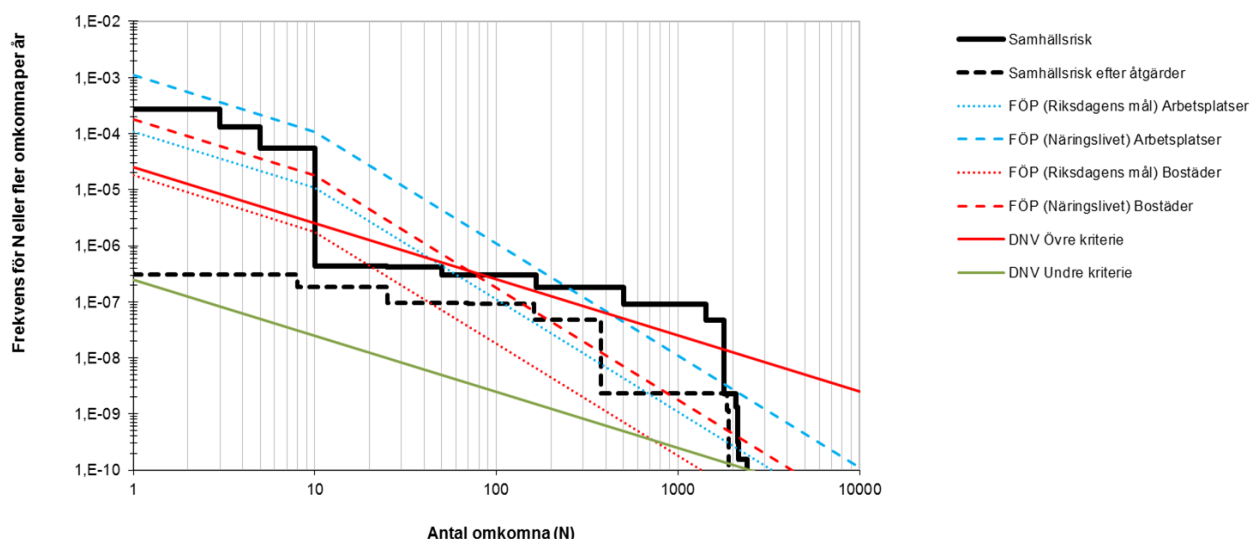
Följande riktvärden bedöms kunna tillämpas i detta skede (och baseras på beräkningar utförda i Bilaga C).

- För byggnader lägre än 20 meter placeras friskluftsintag på tak och vända i riktning bort från riskkällan. Ventilationen utförs avstängningsbar.
- För byggnader högre än 20 meter placeras friskluftsintag som lägst 20 meter ovan mark och vända i riktning bort från riskkällan. Vid placering av friskluftsintag så högt som 50 meter ovan mark är intagsriktningen av underordnad betydelse. Ventilationen utförs avstängningsbar.

6.3 Uppskattad risknivå efter vidtagna åtgärder

För att kunna göra en inledande bedömning av den riskreducerande effekten av de föreslagna åtgärderna har antaganden enligt nedan gjorts. Detaljstudier kommer att behöva utföras i kommande skeden, men det bedöms ändå viktigt att i ett tidigt skede uppskatta vilken effekt föreslaget åtgärds paket kan komma att medföra för risksituationen.

- En vall förväntas helt eliminera urspårningsrisker.
- En vall förväntas sänka andel omkomna utomhus med 50% gällande explosioner.
- En vall förväntas sänka andel omkomna utomhus med 90% gällande brandscenarier (BLEVE exkluderat).
- En vall förväntas sänka andel omkomna utomhus med 50% gällande scenarier med tunga giftiga gaser (klor, ammoniak och svaveldioxid etc).
- Ventilationsåtgärder för bebyggelsen inom planområdet förväntas sänka andel omkomna inomhus med 90% gällande scenarier med giftiga gaser. Se även Bilaga C.
- Grönområdet bör gestaltas så att det inte uppmuntrar till stadigvarande vistelse och ansamling av större folkmassor (det vill säga inga större idrottsplatser, lekplatser etc.). Med denna åtgärd förväntas/uppskattas personantal kunna komma att uppgå till maximalt 50 personer stadigvarande dagtid. Denna siffra bedöms vara konservativ då den ansätts gälla 12 timmar per dygn, 365 dagar per år.



Figur 12. Uppskattad samhällsrisknivå utan (heldragen svart linje) och efter vidtagna åtgärder (streckad svart linje).

Med samtliga ovan nämnda åtgärder vidtagna och med riskreduktion i nivå med ovan nämnda antaganden, skulle risknivån i enlighet med Figur 12, hamna inom det s.k. ALARP-området enligt DNV:s kriterier. Givet att alla rimliga åtgärder vidtas, samt att nyttan med exploateringen anses mycket stor, bör därmed risknivån vara tolerabel enligt definitionen för ALARP-området.

Motsvarande ALARP-område saknas för FÖP:s kriterier. Enligt Figur 12 överstigs kriterierna för bostäder och även det undre kriteriet för arbetsplatser.

Sammantaget kan sägas att FÖP:s kriterier överskrids även efter vidtagna åtgärder, men att risknivån kan betraktas som tolerabel efter vidtagna åtgärder, i förhållande till DNV:s kriterier och definition för ALARP-området. Med anledning av att nyttan med exploateringen bedöms vara stor anser Göteborgs stad att DNV:s kriterier för riskvärdering i aktuellt fall bör tillämpas.

7 Diskussion och osäkerheter

Riskbedömningar av detta slag är alltid förknippade med osäkerheter, om än i olika stor utsträckning. Osäkerheter som kan påverka resultatet kan vara förknippade med bl.a. det underlagsmaterial och de beräkningsmodeller som analysens resultat är baserat på. De beräkningar, antaganden och förutsättningar som generellt är belagda med störst osäkerheter är:

- Personantal inom området
- Utformning och disposition av etableringar
- Antal godståg och antal farligt gods-transporter förbi planområdet
- Schablonmodeller som har använts vid sannolikhetsberäkningar
- Antal personer som förväntas omkomma vid respektive skadescenario

De antaganden som har gjorts har varit konservativt gjorda så att risknivån inom området inte ska underskattas. Av denna anledning är behovet av känslighetsanalyser litet. Det bedöms att mindre variationer i indata inte skulle ge underlag för en annan slutsats än den som dras efter utförda beräkningar.

Vid analyser av detta slag råder ibland brist på relevanta data, behov av att göra antaganden och förenklingar och svårigheter att få fram tillförlitliga uppgifter som dessutom är mer eller mindre osäkra. Dessa svårigheter innebär att olika riskanalyser/riskanalytiker ibland kan komma fram till motstridiga resultat på grund av skillnader i antaganden, metoder och/eller ingångsdata. [14]

Det finns flera skäl till varför systematiska riskanalyser är att föredra framför andra mer informella eller intuitiva sätt att hantera den stora, men långt ifrån fullständiga, kunskapsmassa som finns beträffande riskerna med farligt gods. Användning av riskanalysmetoder av den typ som presenteras i VTI Rapport 389:1 och som använts i detta projekt innebär att befintlig kunskap insamlas, struktureras och sammanställs på ett systematiskt sätt så att kunskapsluckor kan identifieras. Detta medför att analysens förutsättningar kan prövas, ifrågasättas och korrigeras av oberoende. Metoden innebär också att de antaganden och värderingar som ligger till grund för olika skattningar tydliggörs för att undvika missförstånd vid information, diskussion och förhandling mellan beslutsfattare, transportörer och allmänhet. Riskanalyser utgör därigenom ett viktigt led i den demokratiska process som omger transporter av farligt gods i samhället. [14]

8 Slutsatser

De risker som har identifierats kunna påverka undersökt planområde är förknippade med farligt gods-trafiken på Hamnbanan. Resultatet av individriskberäkningarna påvisar behov av åtgärder för grönområdet norr om Polstjärnegatan. Vid läget för planområdet är individrisknivån att betrakta som acceptabel. Samhällsriskberäkningarna visar dock att riskreducerande åtgärder krävs även för det aktuella planområdet eftersom samhällsriskens överstiger tillämpade värderingskriterier.

Det är svårt att reducera frekvenserna med tanke på att riskkällan inte kan påverkas i detta detaljplanesammanhang och därför har ett antal konsekvensbegränsande åtgärder föreslagits och diskuterats. WSP bedömer föreslagna åtgärder som rimliga att kräva med hänsyn till risksituationen. Det bör poängteras att åtgärdsförslagen är just förslag i detta skede och att fortsatta utredningar kring funktionskrav, dimensionering och placering av åtgärderna krävs för att kunna bedöma om den riskreducerande effekten är tillräcklig.

De föreslagna åtgärderna är:

- En vall uppförs mellan Hamnbanan och planområdet. Vallen skall hindra urspårning mot grönområdet, vara så hög att den avskärmar jetflammar och begränsar strålningspåverkan från pölbränder samt ha en sådan utbredning och höjd att den reducerar spridning av tunga gaser mot planområdet och ger ett visst explosionsskydd.
- Berört järnvägsavsnitt förses med urspårningsräl.
- Grönområdet i planområdets norra del utformas som naturmark utan större lekplatser, idrottsplatser eller liknande verksamheter som kan uppmuntra till stadigvarande vistelse.
- Inom planområdet utformas ”första radens bebyggelse (den bebyggelse som ligger närmst riskkällan i norr) så att utrymning bort från riskkällan medges.
- Ventilation för byggnader inom planområdet skall placeras så högt som möjligt och med friskluftsintag vända bort från riskkällan. Därtill skall ventilationen förses med nödavstängningsmöjlighet så att ventilation kan stängas av vid t.ex. ett VMA (viktigt meddelande till allmänheten).

Givet de förutsättningar som finns i detta skede bedöms de föreslagna riskreducerande åtgärderna kunna sänka samhällsrisknivån för planområdet och grönområdet från oacceptabla nivåer till en nivå inom den övre delen av det s.k. ALARP-området enligt DNV:s värderingskriterier. Givet att alla rimliga åtgärder vidtas, samt att nyttan med exploateringen anses mycket stor, bör därmed risknivån vara tolerabel enligt definitionen för ALARP-området.

Vilka värderingskriterier och bedömningsgrunder som skall gälla för planen bör fastställas i samråd enligt miljöbedömningsprocessen. I aktuellt fall bedömer Göteborgs stad att DNV:s kriterier för riskvärdering är tillämpbara.

Bilaga A. Frekvens- och sannolikhetsuppskattningar

För att kunna kvantifiera risknivån i området behövs ett mått på frekvensen för de skadescenarier som identifierats och bedömts kunna inträffa på den planerade järnvägssträckningen i höjd med studerat område. Denna frekvens beräknas enligt Trafikverkets (tidigare Banverkets) *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen* [8]. Därefter används händelseträdsmetodik för att bedöma frekvenserna för de scenarier som kan få konsekvensen att minst en person skadas allvarligt eller omkommer. Det bör påpekas att det är frekvensen för järnvägsolycka (antal olyckor per år) och inte sannolikheten som skattas med denna modell.

A.1. Sannolikhet för urspårning

De indata som krävs för att kunna skatta frekvensen för järnvägsolycka är:

- Den studerade sträckans längd (km) som bestäms av den sträcka på vilken en olycka kan påverka planområdet. Studerad sträcka uppskattas i detta fall till 0,5 km. Observera att riskvärderingskriterier anpassas av denna anledning enligt avsnitt 3.4.
- Totalt antal tåg som passerar den studerade sträckan under den tidsperiod som skattningen avser (tåg/år) är cirka 22 620 stycken [2].
- Totalt antal vagnar som passerar den studerade sträckan under den tidsperiod som skattningen avser (vagnar/år), är cirka 452 400 (medellängd för tåg är 400 meter enligt prognos och det antas att en vagn i genomsnitt är 20 meter lång vilket ger 20 vagnar per godståg i medeltal) [15].
- Antal vagnaxlar per vagn, vilket antagits till 3 st.
- Växlar och plankorsningar saknas på studerad del av sträckan.

A.1.1 Urspårning

Frekvenser för beräkning av sannolikhet för urspårning av tåg redovisas i Tabell 3 [16]:

Tabell 3. Ingående parametrar vid beräkning av sannolikhet för urspårning.

Identifierade olyckstyper för urspårning	Frekvens (per år)	Enhet
Rälsbrott	2,19E-05	vagnaxelkm
Solkurvor	1,00E-05	spårkm
Spårlägesfel	1,75E-04	vagnaxelkm
Växel sliten, trasig	1,46E-04	antal tågpassager
Växel ur kontroll	2,05E-03	antal tågpassager
Vagnfel persontåg	7,89E-05	vagnaxelkm
Vagnfel godståg	1,09E-03	vagnaxelkm
Lastförskjutning	1,40E-04	vagnaxelkm (godståg, annat)
Annan orsak	8,33E-04	tågkm
Okänd orsak	2,05E-03	tågkm

A.1.2 Sammanstötningar

I denna grupp innefattas sammanstötningar mellan rälsburna fordon, som t.ex. sammanstötning mellan två tåg, mellan tåg och arbetsfordon etcetera. Sannolikheten för en sammanstötning med tåg på en linje antas vara så låg att den inte är signifikant [16] och kommer därför inte att beaktas i de fortsatta beräkningarna.

A.1.3 Resultat

Frekvensen för en olycka med godståg beräknas till 4,9E-03 med formeln:

$$\text{Urspårningsfrekvens (per år)} \times (\text{Godståg (st)}/\text{Totalt antal tåg (st)}) = \text{Frekvens, godstågsolycka (per år)}$$

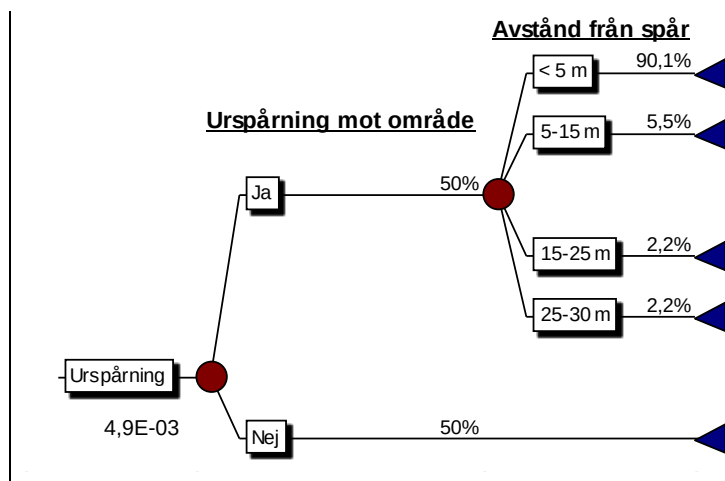
A.1.4 Avstånd från spår för urspårande vagnar

Alla urspårningar leder inte till negativa konsekvenser för omgivningen. Huruvida personer i omgivningen skadas eller ej beror på hur långt ifrån rälsen en vagn hamnar efter urspårning. I Tabell 4 nedan redovisas fördelningen för avstånd från spår som vagnar förväntas hamna efter urspårning [2] [16].

Tabell 4. Avstånd från spår (m) för urspårade vagnar.

Avstånd från spår	0-1 m	1-5 m	5-15 m	15-25 m	>25 m
Godståg	70,33%	19,78%	5,49%	2,20%	2,20%

Sannolikheten att en vagn hamnar så långt som 25 meter från spåret vid urspårning är mycket liten [17]. Enligt Tabell 4 ovan varierar sannolikheten för respektive konsekvensavstånd något beroende på vilken tågtyp som går på det aktuella spåret. En sammanvägning (viktning) av dessa sannolikheter används tillsammans med den totala urspårningsfrekvensen för både gods- och resandetåg för att beräkna riskbidraget från urspårande tåg. Ett händelseträd som beskriver detta presenteras i Figur 13.



Figur 13. Händelseträd med sannolikheter för urspårningar.

A.2. Järnvägsolycka med transport av farligt gods

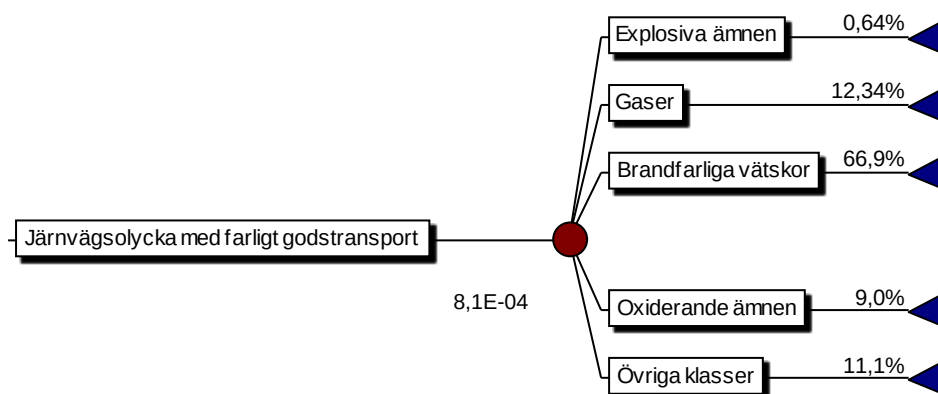
Enligt tidigare resonemang bedöms inte alla farligt gods-klasser relevanta vid uppskattning av risknivån på det aktuella området. Således är de RID-S-klasser som beaktas mer detaljerat i riskuppskattningen därför explosiva ämnen (klass 1), gaser (klass 2), brandfarliga vätskor (klass 3) samt oxiderande ämnen och organiska peroxider (klass 5).

Frekvensen för en olycka med godståg är enligt avsnitt A.1.3 beräknad till $4,9E-03$ per år. I genomsnitt omfattar en urspårning 3,5 vagnar [18]. Farligt gods-vagnar antas utgöra 5 % av det totala antalet godsvagnar [3]. Sannolikheten att en eller flera av de inblandade godsvagnarna i en urspårning innehåller farligt gods är då:

$$1-(1-0,05)^{3,5} = 0,16$$

Frekvensen för att en farligt gods-vagn spårar ur på den aktuella sträckan beräknas alltså bli cirka $8,1E-04$ per år.

I händelseträdet, se Figur 14, redovisas frekvensen för olycka med transport av aktuella farligt gods-klasser inblandad utifrån uppskattad andel av respektive klass [2]. Uppgifterna om förekommande mängder avseende farligt gods är konfidentiella och därför redovisas endast fördelningar (av antal vagnar) med olika farligt gods-klasser enligt figuren.



Figur 14. Händelseträd med sannolikhet för olycka med farligt gods.

A.3. Olycksscenarioer – händelseträdsmetodik

I denna del av bilagan redovisas frekvensberäkningar som genomförts med hjälp av händelseträdsmetodik.

A.3.1 RID-S-klass 1 – Explosiva ämnen

Inom EU är den maximalt tillåtna mängden som får transporteras på väg 16 ton, och små mängder begränsas till 50-100 kg. Dock tillåts större mängder på järnväg, varför 25 ton antagits som maximal transportmängd.

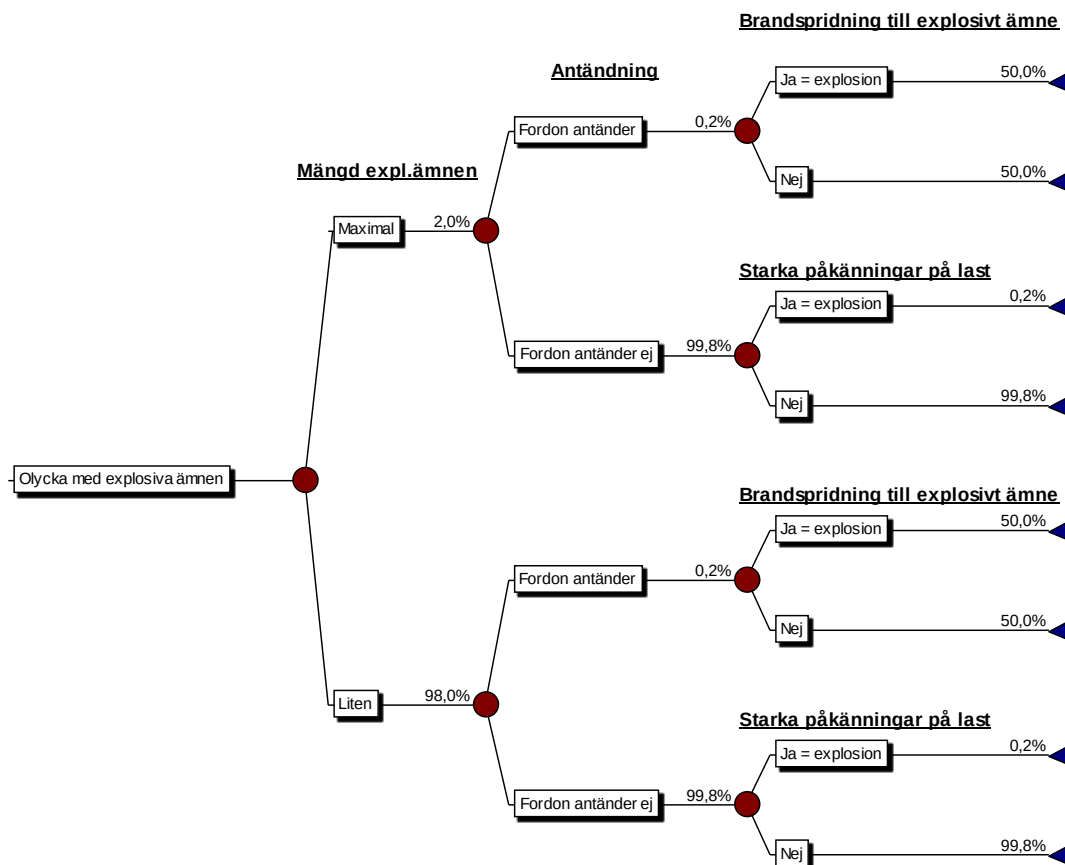
Transport av RID-S klass 1 på järnväg är väldigt sparsam. Åren 2006-2010 transporterades en så liten mängd klass 1 att siffran som anges avrundats ner till 0 (tusen ton/år). Summan under tidsperioden för klass 1 utgör endast 0,015 % av den totala mängden farligt gods [19]. Denna siffra gäller för Sverige i helhet, och en nedbrytning till transporter på en specifik sträcka går inte göra på något enkelt sätt. Det finns flera olika transportörer och de flesta hänvisar till sekretess, dels företagsmässigt och dels säkerhetsmässigt. Enligt samtal med ett av de största transportbolagen på järnväg hade det endast tre transporter med klass 1 under hela 2011 i Sverige. Ingen uppgift om total mängd explosiver finns att tillgå eftersom även emballage och annat räknas in i transportvikten. Uppskattningsvis var ingen av de tre transporterna på mer än 500 kg explosivt ämne [20].

En grov uppskattning är att laster på 25 ton utgör cirka 2 % av antalet transporter med RID-S klass 1, och övriga 98 % antas förenklat utgöra mindre laster om 100-150 kg.

En explosion antas kunna inträffa dels om olyckan leder till brand i vagn, dels om de mekaniska påkänningarna på vagnen blir tillräckligt stora, d.v.s. om lasten utsätts för stöt. Eftersom det finns detaljerade regler för hur explosiva ämnen ska förpackas och hanteras vid transport görs bedömningen att det är liten sannolikhet för att olycka vid transport av explosiva ämnen leder till omfattande skador på det transporterade godset på grund av påkänningar.

Sannolikheten för att en vagn inblandad i en olycka ska börja brinna uppskattas till 0,2 %, vilket är hälften av motsvarande sannolikhet för vägolycka [21] [22]. Därefter antas ett konservativt värde på sannolikheten för att branden sprider sig till det explosiva ämnet till 50 % [23].

Med stöt avses sådan stöt som har den intensitet och hastighet att den kan initiera en detonation. Det krävs kollisionshastigheter som uppgår till flera hundra m/s [24]. Till skillnad från i fallet med brand så saknas kunskap om hur stort krockvåld som behövs för att initiera detonation i det fraktade godset. Som ett jämförelsevärde att förhålla sig till anger HMSO [25] att sannolikheten för en stötinitierad detonation vid en kollision är mindre än 0,2 %. I Figur 15 redovisas möjliga scenarier.



Figur 15. Händelseträd för farligt gods-olycka med explosiver i lasten.

A.3.2 RID-S-klass 2 – Gaser

Baserat på transportflödena som uppmätts 2006 [26], antas 73 % av transportererna inom RID-S-klass 2 utgöras av brandfarliga gaser. 23 % antas vara giftiga gaser.

Sannolikheten för att en olycka leder till läckage av farligt gods antas variera beroende på om det rör sig om en tunn- eller tjockväggig vagn. Gaser transporteras vanligtvis tryckkondenserade i tjockväggiga tryckkärl och tankar med hög hållfasthet. Sannolikheten för stort respektive litet läckage (punktering) som följd av en olycka är för tjockväggiga vagnar 1 % i båda fallen [16]. Sannolikheten för inget läckage är följaktligen 98 %.

För *brännbara gaser* bedöms konsekvenserna för människor bli påtagliga först sedan utsläppet antänts. Tre scenarier kan antas uppstå beroende av typ av antändning. Om den trycksatta gasen antänds omedelbart vid läckage uppstår en jetflamma. Om gasen inte antänds direkt kan det uppstå ett brännbart gasmoln som sprids med vinden och kan antändas senare. Det tredje scenariot, BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), är mycket ovanligt och kan endast inträffa om vagnen saknar säkerhetsventil och tanken utsätts för en omfattande brand. En BLEVE kan då uppkomma om tanken utsätts för kraftig brandpåverkan under en längre tid.

För ett litet utsläpp brännbar gas (punktering av vagn) ansätts följande sannolikheter [27] för:

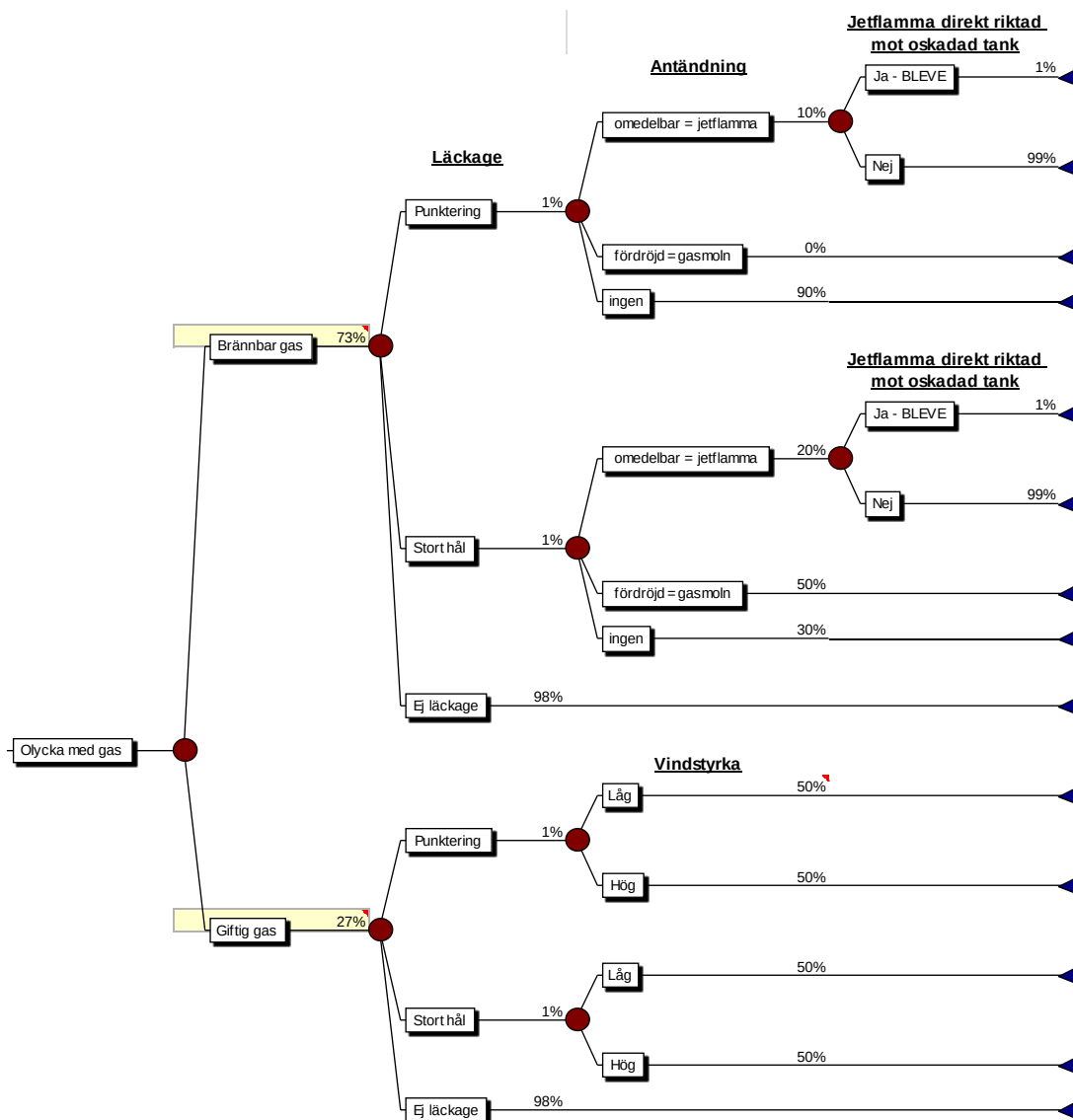
omedelbar antändning (jetflamma): 10 %

födröjd antändning (brinnande gasmoln): 0

ingen antändning: 90 %

För ett stort utsläpp (stort hål) är motsvarande siffror 20 %, 50 % och 30 % [27]. En BLEVE antas enbart kunna uppstå i intilliggande tank om eventuell jetflamma är riktad direkt mot tanken under en lång tid. Vid fördröjd antändning av den brännbara gasen antas gasmolnet driva iväg med vinden och därför inte påverka intilliggande tankar vid antändning. Sannolikheten för att en BLEVE ska uppstå till följd av jetflamma är mycket liten. Konservativt ansätts 1 %.

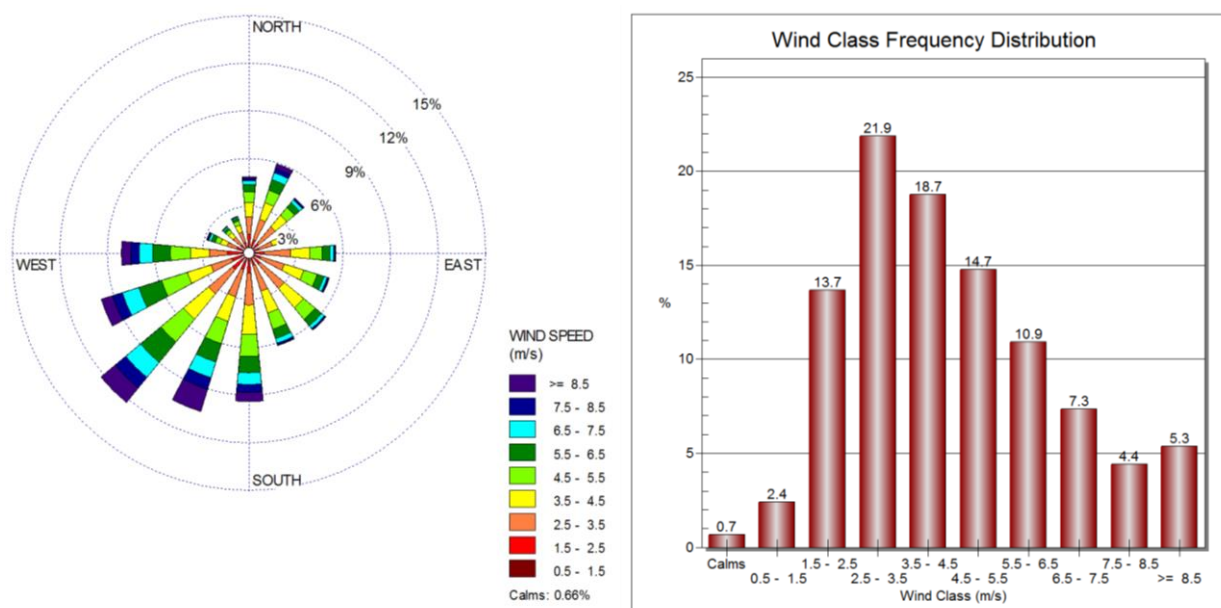
För olycka med *giftiga gaser* påverkar vindstyrkan utsläppets konsekvenser på omgivningen. Vindstyrkan antas vara antingen hög (8 m/s) eller låg (3 m/s) med lika stor sannolikhet. I Figur 16 redovisas olika scenarier för en olycka med gas.



Figur 16. Händelseträd för farligt gods-olycka med gas i lasten.

A.3.2.1. Vindförhållanden

Vid olyckor med brännbara och giftiga gaser påverkar vindriktningen och vindstyrkan risksituationen. I Figur 17 anges vindros och vindhastighet för Landvetter, vilka antas vara liknande för Göteborg [28].



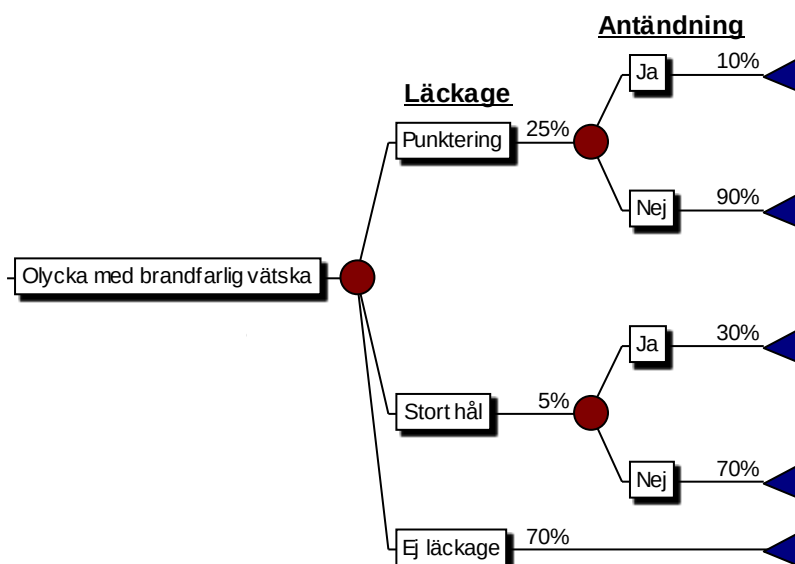
Figur 17. Vindros och vindhastighetsfördelning Landvetter flygplats 2003-2012. Medelvindhastighet 4.36 m/s [28].

I vindrosen kan utläsas att det blåser västlig, nordlig och östlig vind 33 % av tiden. Dessa vindriktningar har i beräkningarna antagits kunna ge konsekvenser för planområdet som är beläget rakt söder om järnvägen. Den förhärskande vindriktningen är sydvästlig vind. Vind från sydväst, syd och sydost utgör 67 %.

A.3.3 RID-S-klass 3 – Brandfarliga vätskor

För brandfarliga vätskor gäller att skadliga konsekvenser kan uppstå först när vätskan läcker ut och antänds. Brandfarliga vätskor antas oftast transporteras i tunnväggiga tankar, och sannolikheten för ett litet läckage (punktering) respektive stort läckage vid urspärning är 25 % och 5 % [16]. I 70 % av fallen förekommer inget läckage.

Sannolikheten för att ett litet respektive stort läckage av brandfarliga vätskor på järnväg ska antändas antas vara 10 % respektive 30 % [16]. I Figur 18 redovisas olika scenarier för en olycka med brandfarlig vätska. Scenariot stor pölbrand bedöms som mycket konservativt om underlaget vid järnvägsbanken består av makadam som är ett lättgenomsläppligt material, vilket försvårar bildandet av pölar vid utsläpp.



Figur 18. Händelse-träd för farligt gods-olycka med brandfarlig vätska i lasten.

A.4. RID-S-klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider

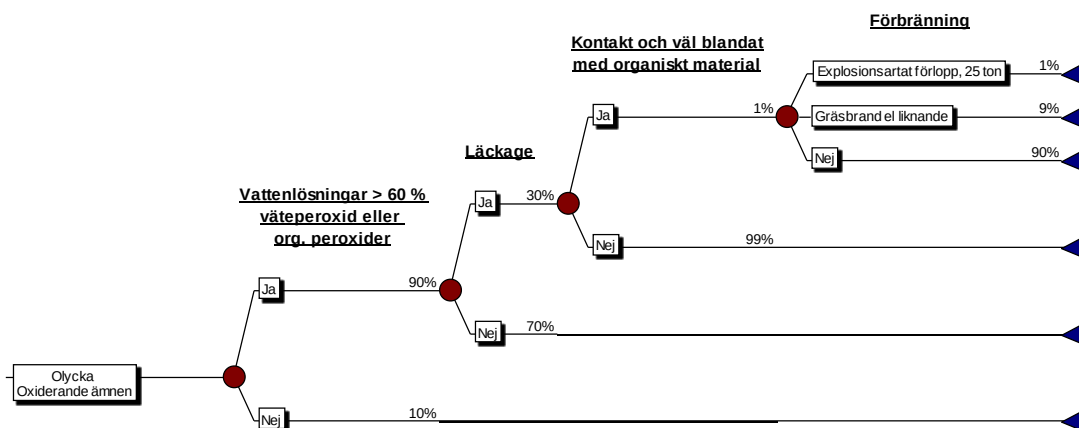
Oxiderande ämnen brukar vanligtvis inte leda till personskador, förutom om de kommer i kontakt med brännbart, organiskt material (t.ex. bensin, motorolja etc.). Blandningen kan då leda till självantändning och kraftiga explosionsförlopp. Det är dock inte samtliga oxiderande ämnen som kan självantända. Vattenlösningar av väteperoxider med över 60 % väteperoxid bedöms kunna leda till kraftiga brand- och explosionsförlopp och detsamma gäller för organiska peroxider. Vattenlösningar av väteperoxider med mindre än 60 % väteperoxid bedöms däremot inte kunna leda till explosion.

Oxiderande ämnen är brandbefrämjande ämnen som vid avgivande av syre (oxidation) kan initiera brand eller understödja brand i andra ämnen, t.ex. brand i vegetation kring banvallen. Explosion kan inträffa i vissa fall.

Vissa organiska peroxider är så känsliga att de endast får transporteras under temperaturkontrollerade förhållanden. Dessa ämnen får ej transporteras på järnväg enligt RID.

Transportstatistik [19] anger att 93 % av transporterna i RID-S-klass 5 utgörs av oxiderande ämnen, och 7 % av organiska peroxider. En huvuddel av de oxiderande ämnen som transporteras i Sverige bedöms kunna självantända explosionsartat vid kontakt med organiskt material. Utifrån detta antas 90 % av transporterna med klass 5 kunna leda till explosionsartade förlopp.

Oxiderande ämnen antas bli transporterade i tunnväggiga vagnar och sannolikheten för läckage är då 30 % (se ovan i avsnitt A.3.3 avseende litet respektive stort läckage). Sannolikheten för att det utläckta ämnet ska komma i kontakt med väl blandat och organiskt material har i aktuellt fall antagits till 1 % [23]. Givet att blandning skett antas en antändning uppstå med sannolikheten 10 %. 10 % av fallen då blandningen antänt antas gå till detonation, medan resterande 90 % antas utvecklas till en kraftig brand. I Figur 19 redovisas olika scenarier för en olycka med oxiderande ämnen.



Figur 19. Händelseträd för farligt gods-olycka med oxiderande ämnen och organiska peroxider i lasten.

A.5. Anpassning av sannolikheten att påverkas utifrån konsekvensavståndets längd

För individriskberäkningarna görs en frekvensreducering med avseende på att vissa scenarier har konsekvensavstånd som inte sträcker sig över hela den studerade sträckan. En specifik plats drabbas bara av olyckans konsekvenser om den inträffar på en viss sträcka i närheten. Längden på denna sträcka antas vara det uppskattade konsekvensavståndet multiplicerat med en faktor 2. Detta värde dividerat med den totala studerade sträckan ger därmed en frekvensreduktionsfaktor för respektive scenario.

Även för samhällriskberäkning anpassad till planområdet tillämpas en typ av frekvensanpassning. Konsekvenserna i antal döda uppskattas utifrån att olyckan inträffar så att konsekvenserna riktas mot planområdet (exempelvis att jetflamman eller utsläppet är riktat mot planområdet). Därför kan frekvensen i samhällriskberäkning anpassad till planområdet halveras då jetflamman (med flera) som är riktade bort från planområdet inte ska bidra till grupprisen för planområdet. Förfarandet bedöms vara konservativt, då vissa scenarier har ett spridningsområde (andel av cirkulärt område) som är mindre än 50 % - vilket de i praktiken nu får. För olycksscenarier med cirkulärt konsekvensområde (ex. explosioner) görs ingen sådan reducering.

Bilaga B. Konsekvensuppskattningar

De riskmått som används i denna riskbedömning är individrisk och samhällsrisk. Indata till beräkningar är bl.a. avståndet inom vilket personer antas omkomma, med avseende på respektive skadescenario.

Alla konsekvensavstånd för olyckor med farligt gods har beräknats utifrån att olyckan inträffar på spåret, från vilket alla konsekvensavstånd sedan uppskattas. Vid beräkning av mekanisk skada orsakad av urspårning har dock de urspårande vagnarnas avstånd från spåret beaktats.

B.1. Persontäthet

För samhällsriskberäkningen är det nödvändigt att uppskatta hur många personer som kan antas uppehålla sig på området kring järnvägen.

I aktuellt fall är persontätheten kring järnvägen mycket varierande. Norr om järnvägen ligger Ramberget med låg persontäthet. Planområdet söder om järnvägen kommer däremot att få en mycket hög persontäthet. Med tanke på att närområdet kring järnvägen inte är homogent befolkat används i denna riskbedömning ett angreppssätt som innebär att risksituationen för grönområdet direkt söder om järnvägen samt planområdet beräknas separat. Av denna anledning anpassas riskvärderingskriterier för att studerade områden skall uppnå en risksituation som är önskvärd för samhället generellt.

Inom grönområdet i planområdets norra del har staden önskat undersöka möjligheten för rekreationsytor. I grundberäkningen ansätts att 500 personer vistas utomhus inom ytan dagtid. Natttid förväntas endast ett fåtal personer uppehålla sig i området.

Inom planområdet finns personantalsuppskattningar framtagna för ett antal olika scenarier. Nedan presenteras siffror gällande det scenario som bedöms mest konservativt enligt den masterplan som finns framtagna.

Tabell 5. Personantalsuppskattningar inom planområdet [29].

Occupancy	Estimated area	Occupant Load Factor *	Number of persons
Residential	180 000	18,6	9 677
Hotel	18 500	18,6	995
Conferences	1 500	1,4	1 071
Commercial			
Shops, restaurant (ground floor)	15 000	2,8	5 357
Offices, education, healthcare	32 000	10	3 200
Total	247 000		20 301

* Occupant Load Factor from NFPA Life Safety Code 101

Det gör stor skillnad om personer förväntas vistas inomhus eller utomhus då en olycka sker. Personer inomhus erhåller en viss skyddsgrad relativt personer utomhus. Baserat på tillvägagångssätt i FÖP [4] görs en fördelning av personerna inom planområdet enligt Tabell 6 nedan som förutsättning för beräkningarna.

Tabell 6. Fördelning av personer inom planområdet.

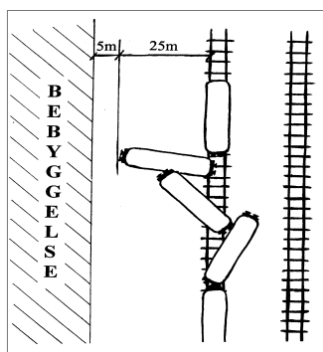
Fördelning av personer	Andel (%)
Boende hemma dagtid	33
Boende hemma dagtid inne	88
Boende hemma dagtid ute	12
Boende hemma natt	99

Boende hemma natt inne	99
Boende hemma natt ute	1
Arbetande på arbetet dagtid	96
Arbetande på arbetet dagtid inne	98
Arbetande på arbetet dagtid ute	2
Arbetande på arbetet natt	4
Arbetande på arbetet natt inne	99
Arbetande på arbetet natt ute	1

Förhållandena gällande befolkningsmängd för dagtid antas gälla under 12 timmar av dygnet och nattetid antas gälla under 12 timmar av dygnet.

B.2. Mekanisk skada vid urspårning

I samband med urspårningar antas dödlig påverkan uppstå på alla människor som befinner sig inom det avstånd på vilket tåget hamnar. Risker för mekanisk påverkan på människor eller byggnader är oberoende av om det rör sig om persontåg eller godståg. Riskerna begränsas till området närmast banan, cirka 25-30 m, vilket är det avstånd som urspårade vagnar i de flesta fall hamnar inom, se Figur 20. [30].



Figur 20. Urspårningsolycka på järnväg.

B.3. Uppskattade konsekvenser för olyckor med farligt gods

Eftersom egenskaperna hos ämnena i de olika farligt gods-klasserna skiljer sig mycket från varandra har olika metoder använts för att uppskatta konsekvenserna för de scenarier som beskrivs i Bilaga A. Litteraturstudier, simuleringsprogram och handberäkningar är exempel på olika metoder som har använts.

B.3.1 RID-S-klass 1 – Explosiva ämnen

Detonationer och de konsekvenser som dessa orsakar är komplexa och kräver beaktande av många faktorer. Konsekvenserna för människor beror bland annat på mängden explosiv vara, omgivningens utformning (tillgång till skydd i form av bebyggelse eller liknande) samt hur personer befinner sig i förhållande till explosionen.

Den påverkan som kan uppkomma på människor till följd av tryckvågor kan delas in i direkta och indirekta skador. Vanliga direkta skador är spräckt trumhinna eller lungskador. De indirekta skadorna kan uppstå antingen då människor kastas iväg av explosionen (tertiära), eller då föremål som splitter kastas mot människor (sekundära) [31].

Sannolikheten för en individ att träffas av splitter är låg, och antalet omkomna till följd av splitterverkan bedöms därför bli litet. Sammantaget bedöms riskbidraget från splitterverkan vara

försumbart. Vad gäller trycknivåer och de direkta skador som de ger upphov till, går gränsen för lungskador vid omkring 70 kPa och direkt dödliga skador kan uppkomma vid 180 kPa [32]. Detta värde kan dock vara missvisande då det gäller direkt tryckpåverkan, mot vilken den mänskliga kroppen är relativt tålig. Tertiära skador bedöms leda till dödsfall vid betydligt lägre tryck än 180 kPa. Dödliga förhållanden för personer utomhus antas i denna riskbedömning uppstå redan vid 70 kPa (gräns för lungskador) då även sekundära effekter inkluderas. Enligt Göteborgs fördjupade översiktsplan för sektorn transporter av farligt gods blir konsekvensavståndet då cirka 120 m för en 25 ton laddning. För en 150 kg laddning blir motsvarande avstånd omkring 30 meter [4].

Byggnader har normalt en relativt låg trycktålighet och skadas svårt eller rasar vid tryck på 15-40 kPa (40 kPa för moderna byggnader). I FÖP Göteborg [4] anges att väggar kan förväntas raseras i moderna byggnader på upp till 250 meters avstånd från en 25 tons explosion. Vid en 150 kg explosion uppkommer 40 kPa på omkring 25 meters avstånd.

B.3.2 RID-S-klass 2 – Gaser

Gaser indelas i brännbara, inerta och giftiga. Det är endast de brännbara (RID-S-klass 2.1) och giftiga gaserna (RID-S-klass 2.3) som antas kunna innebära dödliga konsekvenser för omgivningen vid olycka.

B.3.2.1. Brännbar gas

Konservativt antas att det är tryckkondenserad gasol i samtliga vagnar, eftersom gasol har en låg brännbarhetsgräns, vilket antas medföra att antändning kommer att kunna inträffa på ett längre avstånd från olycksplatsen. Mängden gas i en järnvägsvagn antas till cirka 40 ton [33].

Utsläppsstorlekarna (för jetflamma och gasmoln) antas till: punktering (hålstorlek 20 mm) och stort hål (hålstorlek 100 mm) [34]. För respektive utsläppsstorlek beräknas, med simuleringsprogrammet *Gasol* [35], dels eventuell jetflammas längd vid omedelbar antändning, dels det brännbara gasmolnets volym samt området som påverkas vid en BLEVE. För jetflamma och brinnande gasmoln varierar skadeområdet med läckagestorlek, direkt alternativt fördröjd antändning samt vindhastighet. Beroende på om läckage inträffar i tanken i gasfas, i gasfas nära vätskefas eller i vätskefas kan utsläppets storlek och konsekvensområde variera. De värsta konsekvenserna bedöms uppstå om utsläppet sker nära vätskeytan och därför antas det konservativt att detta är fallet.

För värmestrålning antas en rimlig kritisk nivå där människor förväntas omkomma vara 15 kW/m² (vilket orsakar outhärdlig smärta efter kort exponering).

De indata som använts i *Gasol* för att simulera konsekvensområden för jetflamma och gasmoln presenteras nedan:

- Lagringstemperatur: 15°C
- Lagringstryck: 7 bar övertryck
- Utströmningskoefficient (Cd): 0,83 (Rektangulärt hål med kanterna fläktat utåt)
- Tankdiameter: 2,5 m (jvg)
- Tanklängd: 19 m (jvg)
- Tankfyllnadsgrad: 80 %
- Tankens vikt tom: 50 000 kg
- Designtryck: 15 bar övertryck
- Bristningstryck: 4*designtrycket
- Lufttryck: 760 mmHg
- Omgivningstemperatur: 15°C
- Relativ fuktighet: 50 %
- Molnighet: Dag och klart
- Omgivning: Många träd, häckar och enstaka hus (tätortsförhållanden)

I Tabell 7 visas de avstånd inom vilka personer antas omkomma för respektive scenario vid olika typer av utsläpp. För jetflamma och brinnande gasmoln blir inte skadeområdet cirkulärt runt olycksplatsen utan mer plymformat. För brinnande gasmoln antas det att gasmolnet antänds då det fortfarande befinner sig vid tanken och inte har hunnit spädas ut ytterligare. Det brännbara molnets volym bedöms där vara som störst. Det skadedrabbade området, med avseende på brinnande gasmoln, uppskattas vara molnets storlek plus avståndet där tredje gradens brännskada kan uppnås från gasmolnsfronten.

Tabell 7. Konsekvensavstånd där personer förväntas omkomma, för olika scenarier med brännbara gaser.

Scenario	Läckagestorlek	Antändning	Konsekvensavstånd (m)
BLEVE			Cirkulärt 200 m radie
Hål i tank nära vätskeyta	Punktering (2,4 kg/s)	Jetflamma	18
		Gasmoln	18
	Stort hål (60 kg/s)	Jetflamma	91
		Gasmoln	21

B.3.2.2. Giftig gas

Den icke brännbara men giftiga gasen antas vara klor som är en av de giftigaste gaserna som transporteras på järnväg i Sverige. Att använda klor som representativt ämne bedöms vara konservativt, jämfört med exempelvis ammoniak eller svaveldioxid. Med simuleringsprogrammet *Spridning luft* [36] beräknas storleken på det område där koncentrationen klor antas vara dödlig utomhus. Använt gränsvärde för dödliga skador (LC_{50}) för klor är 250 ppm.

Mängden i en järnvägsvagn antas till 65 ton [36]. Utsläppsstorlekarna uppskattas till litet läckage (punktering 0,45 kg/s) och stort läckage (stort hål 112 kg/s) [36].

Gasens spridning beror bland annat på vindstyrka, bebyggelse och tid på dygnet. *Spridning luft* visar spridningskurvor och uppskattningar av hur stor andel av befolkningen inom området som förväntas omkomma. Denna andel avtar med avståndet både i längd med och vinkelrätt mot gasmolnets riktning, se Tabell 8.

De indata som använts i *Spridning luft* för att simulera konsekvensområden för utsläpp av giftig gas presenteras nedan. Vindstyrkan kommer att varieras från 3-8 m/s och simuleringar kommer att göras med olika stora utsläppsmängder, men i övrigt hålls faktorerna konstanta:

- Kemikalie: Klor
- Emballage: Järnvägsvagn (65 000 kg)
- Bebyggelse: Bebyggt
- Lagringstemperatur: 15°C
- Omgivningstemperatur: 15°C
- Molnighet: vår, dag och klart

¹ Värden för människa exponerad via inhalation under 30 minuter.

Tabell 8. Konsekvensavstånd där personer förväntas omkomma, för olika scenarier vid farligt godsolycka med giftig gas i lasten.

Scenario	Vindstyrka (m/s)	Konsekvensavstånd utomhus (m)
Punktering (0,45 kg/s)	3	38
	8	34
Stort hål (112 kg/s)	3	755
	8	880

B.3.3 RID-S-klass 3 – Brandfarliga vätskor

För brandfarliga vätskor gäller att skadliga konsekvenser kan uppstå först när vätskan läcker ut och antänds. Det avstånd, inom vilket personer förväntas omkomma direkt alternativt som följd av brandspridning till byggnader, antas vara där värmestrålningsnivån överstiger 15 kW/m², vilket är en strålningsnivå som orsakar outhärdlig smärta efter kort exponering (cirka 2-3 sekunder) samt den strålningsnivå som bör understigas i minst 30 minuter utan att särskilda åtgärder vidtas i form av brandklassad fasad [34].

Vid beräkning av konsekvensen av en farligt gods-olycka med brandfarlig vätska antas tanken rymma bensen. Uppskattningsvis rymmer en järnvägsstank cirka 45 ton bensen. Vanligtvis är tankar dock uppdelade i mindre fack, och därför är sannolikheten för att all bensen läcker ut mycket liten. Beroende på utsläppsstorleken antas olika stora pölar med brandfarlig vätska bildas, vilket leder till olika mängder värmestrålning. Ett stort läckage antas bilda en 400 m² pöl medan en punktering grovt antas bilda en 100 m² pöl.

Strålningsberäkningarna har genomförts med hjälp av handberäkningar. Använda formler och samband är etablerade och har använts under många år vid bedömning av olika typer av brandförlopp [37].

I Tabell 9 redovisas skadeområden inom vilka personer kan omkomma vid olika stora pölbränder. Eftersom strålningsberäkningarna utgår från pölens kant är det viktigt att även räkna med pölradien för att få det aktuella avståndet med utgångspunkt från olycksplatsen, eftersom den brandfarliga vätskan kan spridas över ett relativt stort område beroende på topografi med eventuella diken osv. I detta fall antas konservativt att pölen breddas ut cirkulärt med centrum vid olycksplatsen på spåret.

Tabell 9. Skadedrabbat område, inom vilket personer förväntas omkomma, för olika scenarier vid farligt godsolycka med brandfarlig vätska i lasten.

Scenario	Pölradie	Avstånd från pölkant till kritisk strålningsnivå	Konsekvensområde
Liten pölbrand bensen (100 m ²)	5,6 m	17 m	22 m
Stor pölbrand bensen (400 m ²)	11 m	29 m	40 m

B.3.4 RID-S-klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider

Vid olycka med oxiderande ämne antas personer i omgivningen kunna omkomma om det oxiderande ämnet kommer i kontakt med organiskt material och ger upphov till förbränning. Förbränning antas leda till explosionsartade förlopp alternativt till kraftiga bränder i vegetation eller liknande i banvallens närhet.

Vid transport kan en vagn med 25 ton gods av RID-klass 5 vid urspårning kollidera med en vagn innehållande någon form av brännbart ämne som t.ex. bensen. Den blandning som då bildas kan

motsvara 25 ton massexplosiv vara och leda till samma typ av konsekvenser som vid olycka med massexplosiva varor [4], se vidare avsnitt B.3.1.

Om det utläckande godset inte exploderar utan istället fungerar brandunderstödjande och bidrar till vegetationsbrand eller liknande antas att konsekvensområdet blir liknande det för stor pölbrand enligt avsnitt B.3.3.

Tabell 10. Konsekvensuppskattningar oxiderande ämnen och organiska peroxider.

Scenario	Avstånd till dödliga förhållanden
Explosion 25 ton	250 m
Gräsbrand etc.	40 m

B.4. Bedömning av antal omkomna i respektive scenario

I Tabell 11 nedan ges en sammanställning över de konsekvensområden som bedöms som dödliga för de olika identifierade riskscenarierna på järnvägen. I tabellen kan även de bedömningar som gjorts avseende andelen omkomna inomhus respektive utomhus inom planområdet och grönområdet utläsas.

Planområdet kommer enligt förslaget att förtätas i hög utsträckning. Ett flertal nya och höga byggnader planeras enligt förslaget. Detta innebär att den första radens byggnader kommer att exponeras i störst grad för riskkällan. Bakomvarande bebyggelse kommer att befinna sig i visst skydd för flera av riskscenarierna. Förenklat kan sägas att första radens byggnader exponeras mest för en olycka och den sista raden utsätts minst. En överslagsmässig bedömning av skyddsverkan från framförliggande byggnader har gjorts och sammanställs i den sista kolumnen i Tabell 11. Skyddsgraden har bedömts enligt följande:

- Vid en *explosion* orsakas skada dels av tryckuppbyggnad och dels av splitter, kaststycken etc. Splitter och kaststycken från explosion på järnvägen bedöms till stor del reduceras av första radens byggnader och bakomliggande byggnader erhåller ur denna aspekt relativt gott skydd. Tryckuppbyggnaden sker dock halvsfäriskt och s.k. side-on-tryck påverkar även fasader som vetter från olycksplatsen. Dock kan visst skydd tillskrivas barriärer avseende tryckvågens utbredning [10]. Ett grovt antagande görs att genomsnittlig skyddsgrad för planområdet uppgår till 50% tack vare att första radens (och andra och tredje osv) byggnader ger visst skydd för explosioner.
- För *brandpåverkan* kan ett liknande resonemang som ovan föras, dock tillskrivs framförliggande byggnader större skyddsgrad. Uppskattningsvis är genomsnittlig skyddsgrad 75%.
- *Spridning av giftig gas* kan ske runt om och bakom byggnader beroende på vindriktning, vindhastighet etc. Dock skapas turbulens vid passage av hinder och därmed spås gasmoln ut. 25% skyddsgrad tillskrivs framförliggande byggnader.

Tabell 11. Sammanställning av beräknade konsekvensavstånd samt antaganden kring andelar omkomna.

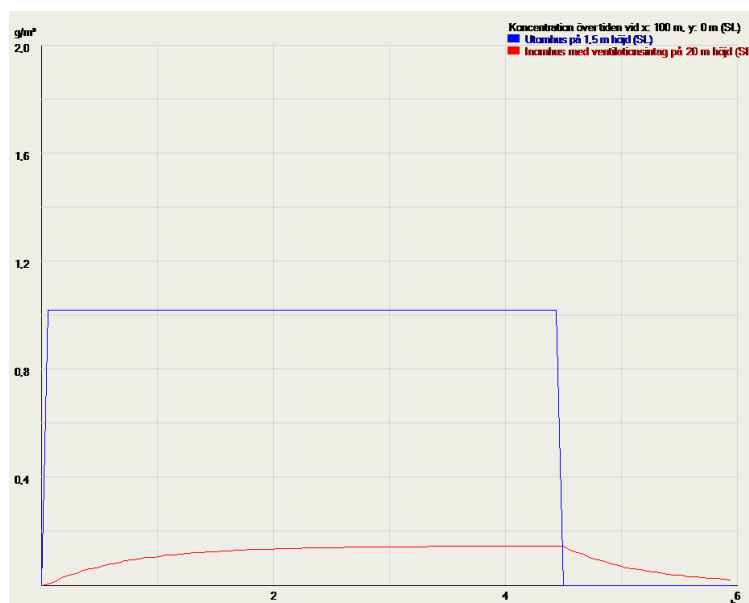
Skadescenario	Konsekvens- område (m)	Andel om- komna inne	Andel omkomna ute	Reduktion pga skydd från framförliggande byggnader
Explosiva ämnen, 25 ton	250	33%	50%	50%
Explosiva ämnen, 150 kg	25	1%	5%	50%
BLEVE	200	2%	10%	75%
Jetflamma, punktering	18	1%	10%	75%
Gasmoln, punktering	50	1%	33%	75%
Jetflamma, stort hål	92	2%	10%	75%
Gasmoln, stort hål	50	2%	33%	75%
Punktering giftig gas, svag vind	38	10%	100%	25%
Punktering giftig gas, stark vind	34	10%	100%	25%
Stort hål giftig gas, svag vind	755	10%	100%	25%
Stort hål giftig gas, stark vind	880	10%	100%	25%
Liten pölbrand	17	0%	1%	75%
Stor pölbrand	23	0%	1%	75%
Explosion oxiderande, 25 ton	250	33%	50%	50%

Bilaga C. Kontrollberäkningar ventilationsåtgärder

I denna bilaga redovisas spridningsberäkningar för de giftiga gaserna svaveldioxid, klor och ammoniak, vilka är de mest toxiska som förekommer bland transporterarna på järnvägen. Beräkningarna har gjorts med programvaran MSB RIB – Spridning Luft. Syftet är att påvisa koncentrationsförhållanden inomhus och därmed avgöra åtgärdsnivå för ventilationssystemet.

C.1. Svaveldioxid

Kemikalie: Svaveldioxid, SO₂
 Tank: Järnvägsvagn, 64000 kg
 Läckage: Brott på anslutningsrör (11,3 cm², 4 kg/s)
 Omgivning: Bebyggt
 Byggnad: Höjd för ventilationsintag: 20 meter
 Luftväxlingar: 0,5/h
 Väder: Höst, dag, klart väder
 Vindstyrka: 5 m/s
 Temperatur: 10 °C
 Stabilitet: D – neutral skiktning
 Avstånd: ca 100 meter från spår till byggnad



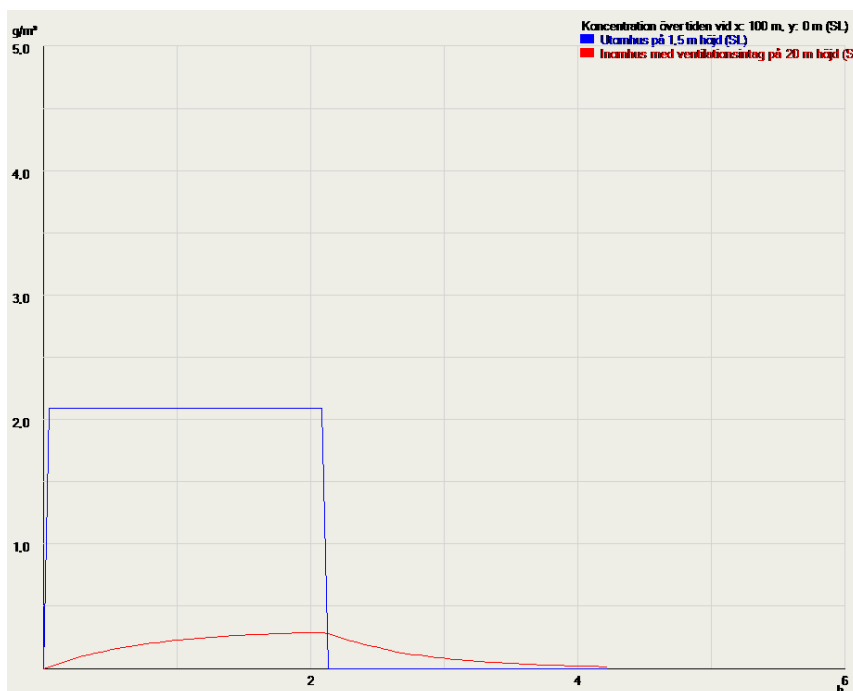
Figur 21. Koncentration utomhus och inomhus i förhållande till tiden efter olycka med SO₂.

Tabell 12. Skadeutfall efter 120 minuter på ett avstånd av ca 100 meter från järnväg vid olycka med SO₂.

	Utomhus på 1,5 m höjd	Inomhus (ventilationsintag på 20 m höjd)
Förnimbarhet	Ja	Ja
Uttalad lukt	Ja	Ja
Irritation	0 %	0 %
Lindriga skador	0 %	100 %
Svåra skador	84 %	0 %
Dödliga skador	16 %	0 %

C.2. Klor

Kemikalie: Klor, Cl₂
 Tank: Järnvägsvagn, 65000 kg
 Läckage: Brott på anslutningsrör (12,6 cm², 8,6 kg/s)
 Omgivning: Bebyggt
 Byggnad: Höjd för ventilationsintag: 20 meter
 Luftväxlingar: 0,5/h
 Väder: Höst, dag, klart väder
 Vindstyrka: 5 m/s
 Temperatur: 10 °C
 Stabilitet: D – neutral skiktning
 Avstånd: ca 100 meter från spår till byggnad



Figur 22. Koncentration utomhus och inomhus i förhållande till tiden efter olycka med Cl₂.

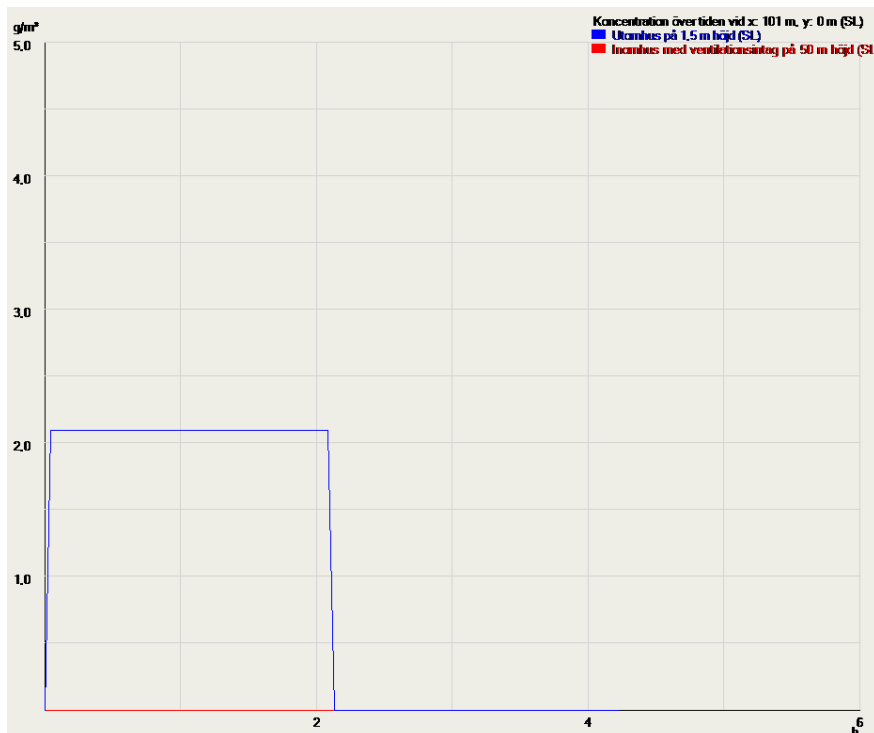
Tabell 13. Skadeutfall efter 120 minuter på ett avstånd av ca 100 meter från järnväg vid olycka med Cl₂.

	Utomhus på 1,5 m höjd	Inomhus (ventilationsintag på 20 m höjd)
Förnimbarhet	Ja	Ja
Uttalad lukt	Ja	Ja
Irritation	0 %	0 %
Lindriga skador	0 %	1 %
Svåra skador	0 %	75 %
Dödliga skador	100 %	24 %

Klor utgör den mest toxiska och därmed dimensionerande gasen att studera. Av denna anledning studeras variationer av åtgärder att vidta avseende ventilationen. Följande parametrar har varierats från ursprungsberäkningen:

- Ventilationsintag placeras på 50 meters höjd
- Utsläppet slutar helt efter 30 minuter för att åskådliggöra effekten av att ventilationen stängs efter 30 minuter. Beräkningarna görs med ventilationsintag på 0 samt 20 meters höjd.

C.2.1 Ventilationsintag 50 meter över marken

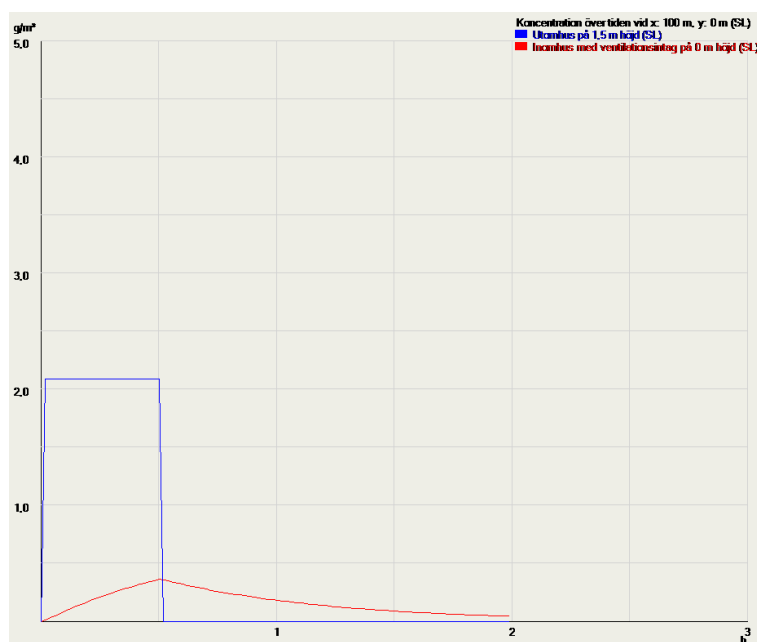


Figur 23. Koncentration utomhus och inomhus i förhållande till tiden efter olycka med Cl_2 där ventilationsintag är placerade 50 meter ovan mark.

Tabell 14. Skadeutfall efter 120 minuter på ett avstånd av ca 100 meter från järnväg vid olycka med Cl_2 , ventilationsintag är placerade 50 meter ovan mark.

	Utomhus på 1,5 m höjd	Inomhus (ventilationsintag på 50 m höjd)
Förnibarhet	Ja	Ja
Uttalad lukt	Ja	Nej
Irritation	0 %	1 %
Lindriga skador	0 %	0 %
Svåra skador	0 %	0 %
Dödliga skador	100 %	0 %

C.2.2 Ventilationen stängs efter 30 minuter – ventilationsintag 0 meter över marken

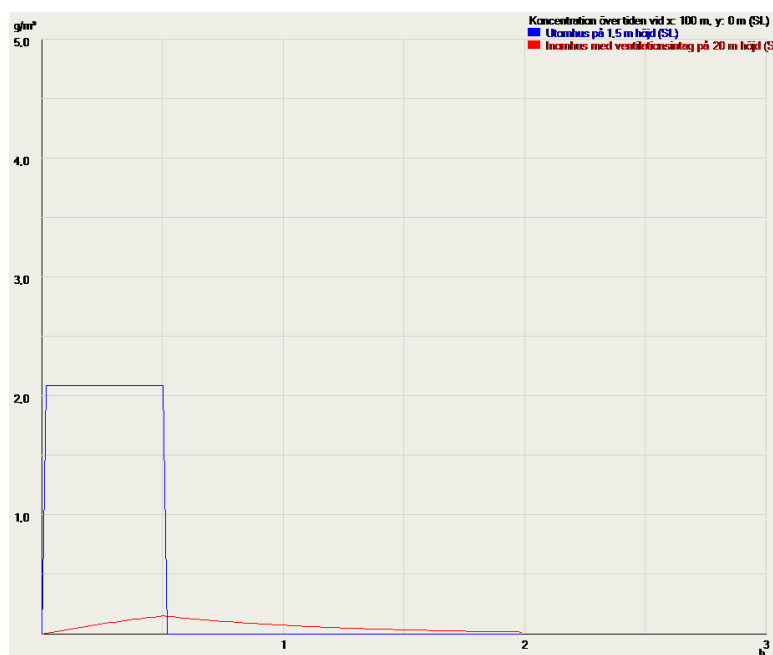


Figur 24. Koncentration utomhus och inomhus i förhållande till tiden efter olycka med Cl₂ efter 30 minuter, ventilationsintag är placerade 0 meter ovan mark.

Tabell 15. Skadeutfall efter 30 minuter på ett avstånd av ca 100 meter från järnväg vid olycka med Cl₂, ventilationsintag är placerade 0 meter ovan mark.

	Utomhus på 1,5 m höjd	Inomhus (ventilationsintag på 0 m höjd)
Förnimerhet	Ja	Ja
Uttalad lukt	Ja	Nej
Irritation	0 %	0 %
Lindriga skador	0 %	5 %
Svåra skador	5 %	86 %
Dödliga skador	95 %	9 %

C.2.3 Ventilationen stängs efter 30 minuter – ventilationsintag 20 meter över marken



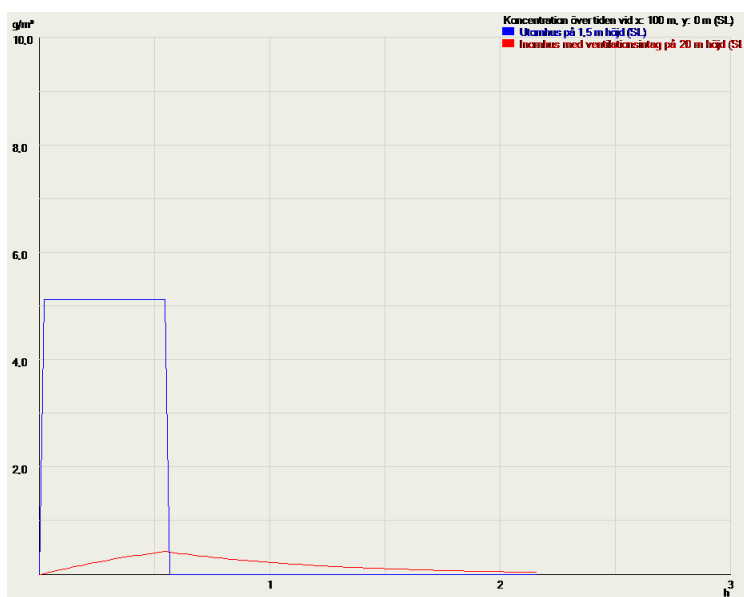
Figur 25. Koncentration utomhus och inomhus i förhållande till tiden efter olycka med Cl₂ efter 30 minuter, ventilationsintag är placerade 20 meter ovan mark.

Tabell 16. Skadeutfall efter 30 minuter på ett avstånd av ca 100 meter från järnväg vid olycka med Cl₂, ventilationsintag är placerade 20 meter ovan mark.

	Utomhus på 1,5 m höjd	Inomhus (ventilationsintag på 20 m höjd)
Förnimbarhet	Ja	Ja
Uttalad lukt	Ja	Nej
Irritation	0 %	11 %
Lindriga skador	0 %	41 %
Svåra skador	5 %	48 %
Dödliga skador	95 %	0 %

C.3. Ammoniak

Kemikalie: Ammoniak, NH_4
 Tank: Järnvägsvagn, 45000 kg
 Läckage: Brott på anslutningsrör ($50,3 \text{ cm}^2$, 23 kg/s)
 Omgivning: Bebyggt
 Byggnad: Höjd för ventilationsintag: 20 meter
 Luftväxlingar: 0,5/h
 Väder: Höst, dag, klart väder
 Vindstyrka: 5 m/s
 Temperatur: 10°C
 Stabilitet: D – neutral skiktning
 Avstånd: ca 100 meter från spår till byggnad



Figur 26. Koncentration utomhus och inomhus i förhållande till tiden efter olycka med NH_4 .

Tabell 17. Skadeutfall efter 120 minuter på ett avstånd av ca 100 meter från järnväg vid olycka med NH_4 .

	Utomhus på 1,5 m höjd	Inomhus (ventilationsintag på 20 m höjd)
Förnimbarhet	Ja	Ja
Uttalad lukt	Ja	Ja
Irritation	0 %	69 %
Lindriga skador	0 %	28 %
Svåra skador	21 %	0 %
Dödliga skador	79 %	0 %

C.4. Slutsats av spridningsberäkningar

För ammoniak och svaveldioxid blir skadeutfallet på personer som vistas inomhus obefintligt eller mycket litet avseende dödliga skador. Detta trots att ventilationen, placerad på en höjd av 20 m, är i normal drift om 0,5 luftomsättningar/timme under 120 minuter från det att olycka inträffat. Avseende den mest toxiska gasen, klor, krävs dock ventilation görs avstängningsbar för att skydda personer inomhus från dödliga förhållanden. Detta understryker att friskluftsintag bör placeras högt och i riktning från Hamnbanan, samt att ventilation förses med nödavstängningsmöjlighet.

Bilaga D. Referenser

- [1] Länsstyrelserna i Skåne, Stockholms och Västra Götalands län, *Riskhantering i Detaljplanprocessen*, Länsstyrelserna i Skåne, Stockholms och Västra Götalands län, 2006.
- [2] Trafikverket, *Basprognos för Hamnbanan år 2035*, Koncept 2016-10-06.
- [3] Trafikverket, "Järnvägsplan - Riskutredning - Hamnbanan Göteborg, dubbelspår Eriksberg - Skandiahallen," 2014-02-17.
- [4] Stadsbyggnadskontoret Göteborg, Stadsbyggnadskontoret Göteborg, 1997.
- [5] IEC, *International Standard 60300-3-9*, Geneva: International Electrotechnical Commission, 1995.
- [6] ISO, *Risk management - Vocabulary*, Geneva: International Organization for Standardization, 2002.
- [7] F. Nystedt, *Riskanalysmetoder*, Lund: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2000.
- [8] S. Fredén, "Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen," Banverket, Borlänge, 2001.
- [9] G. Davidsson, M. Lindgren och L. Mett, *Värdering av risk*, Statens Räddningsverk, 1997.
- [10] Räddningsverket och Boverket, *Säkerhetshöjande åtgärder i detaljplaner - Vägledningsrapport 2006*, Statens Räddningsverk, Boverket, 2006.
- [11] MSB, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2009.
- [12] Statens Räddningsverk, *Förvaring av explosiva varor, handbok*, 2006.
- [13] Väg- och transportforskningsinstitutet, "Konsekvensanalys av olika olycksscenarier vid transport av farligt gods på väg och järnväg," 1994.
- [14] Väg- och transportforskningsinstitutet, *VTI rapport 387:1*, 1994.
- [15] F. Boke, "Statistik för Hamnbanan år 2014 och prognos för 2030," 2015-05-05.
- [16] S. Fredén, "Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen," Banverket, Borlänge, 2001.
- [17] Banverket och Räddningsverket, "Säkra järnvägstransporter av farligt gods," 2004.
- [18] Väg- och transportforskningsinstitutet, "Om sannolikhet för järnvägsolyckor med farligt gods, VTI-rapport 387:2," 1994.
- [19] Trafik analys - TRAFKA, "Bantrafik 2010, Statistik 2011:24," 2011.
- [20] J. Pettersson, Interviewee, *Säkerhetsansvarig Green Cargo*. [Intervju]. 2012.
- [21] SIKI, Statens institut för kommunikationsanalys, 2001.
- [22] VTI, *Vägverkets informationssystem för trafiksäkerhet (VITS)*, Statens Väg- och trafikforskningsinstitut, 2003.
- [23] Stadsbyggnadskontoret Göteborgs Stad, "Översiktplan för Göteborg, fördjupad för sektorn TRANSPORTER AV FARLIGT GODS," 1997.
- [24] S. Lamnevik, *Explosivämneskunskap*, Institutionen för energetiska material Försvarets forskningsanstalt (FOA), 2000.
- [25] HMSO, London: Advisory Committee on Dangerous Substances Health & Safety Commission, 1991.
- [26] MSB, "Trafikflödet på järnväg – 2006," 2013-08-09.
- [27] G. Purdy, "Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail," *Journal of Hazardous materials*, 33, 1993.
- [28] SMHI, "Vindros för Landvetter flygplats," 2013.
- [29] Masterplan, Calculation Occupant Load Karlavagnsplatsen, 2016-04-18.

- [30] Länsstyrelsen Stockholms län, ”Riskhänsyn vid ny bebyggelse intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer,” 2000.
- [31] Stefan Lamnevik AB, ”Verkan av explosioner i det fria,” 2010.
- [32] Försvarets forskningsanstalt, Avdelningen för vapen och skydd: Fischer m.fl., ”Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor – Metoder för bedömning av risker,” Tumba, 1997.
- [33] Svenska gasföreningen, ”Åtgärder vid olyckor under gasoltransporter,” 2004.
- [34] Väg- och transportforskningsinstitutet, ”Konsekvensanalys av olika olycksscenarior vid transport av farligt gods på väg och järnväg, VTI-rapport 387:4,” 1994.
- [35] Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, ”Datorprogrammet Gasol”.
- [36] RIB, Statens räddningsverk, *Spridning luft, Simulering av kemikalieutsläpp, version 1.1.0.19887, en del av Räddningsverkets informationsbank.*
- [37] Brandteknik, Lunds tekniska högskola, ”Brandskyddshandboken, Rapport 3161,” Lund, 2012.

WSP Sverige AB

Box 13033

40251 Göteborg

Tel: +46 10 722 50 00

Fax: +46 10 722 74 20

www.wspgroup.se

UNITED
BY OUR
DIFFERENCE

