

Underlagsrapport

Hamnbanan/Bohusbanan, dubbelspår på sträckan Olskroken - Kville

Göteborgs stad

Risikanalyt farligt gods

2011-xx-xx

Koncept 2011-06-21



Dokumenttitel: Ny Marieholmsbro, Göteborg – Riskanalys Farligt Gods

Skapat av: Cecilia Sandström

Dokumentdatum: 2011-06-21

Dokumenttyp: Underlagsrapport

DokumentID:

Ärendenummer:

Projektnummer: 227438

Version: A

Publiceringsdatum:

Utgivare: Trafikverket

Kontaktperson:

Uppdragsansvarig:

Tryck:

Innehåll

1 INLEDNING.....	4
1.1 Uppdragsbeskrivning	4
1.2 Mål och syfte	4
1.3 Omfattning och avgränsning	4
1.4 Tillgängligt underlag	4
1.5 Metod	4
2 FÖRUTSÄTTNING	6
2.1 Ny Marieholmsbro	6
2.2 Detaljplaner och omgivning.....	6
2.3 Järnväg	7
2.4 Farligt gods.....	7
2.5 Riskvärdering	8
3 ANALYS	14
4 SLUTSATSER	15
5 REFERENSER	19
 BILAGA A – RISKANALYS.....	20
BILAGA B – BERÄKNINGAR RISKANALYS.....	36

1 Inledning

1.1 Uppdragsbeskrivning

Tyréns AB har på uppdrag av Trafikverket studerat risker (olycksrisker) kopplat till transport av farligt gods inom den järnvägsplan som tas fram för en ny Marieholmsbro i Göteborg, då Hamnbanan ska bli dubbelspårig. Studien klargör risksituationen i stort och hur riskhänsyn kan visas. Analysen är upprättad av Cecilia Sandström (Civilingenjör Riskhantering) och är kvalitetsgranskad av Martin Kylefors (Brandingenjör, Tekn lic).

1.2 Mål och syfte

Målet med analysen är att ta fram relevant underlag avseende nivån på olycksrisker orsakad av transport av farligt gods på järnväg.

Syftet med analysen är att avgöra erforderlig riskhänsyn (avseende olycksrisker orsakade av transport av farligt gods).

1.3 Omfattning och avgränsning

Analysen avser olycksrisker som hänger samman med ny Marieholmsbro (även befintlig, parallellt belägen järnväg omfattas i vissa avsnitt).

Riskanalysen besvarar följande centrala frågeställningar.

- Hur ser den totala riskbilden ut?
- Hur kan man visa riskhänsyn?

Studien omfattar inte andra risker än de orsakade av transport av farligt gods. Risker med persontågstrafik, övrig godstrafik eller miljörisker behandlas ej.

1.4 Tillgängligt underlag

Rapporten är upprättad med utgångspunkt från följande underlag:

- Riskanalys för järnvägsplan för Triangelspår Marieholm, 2004-02-10
- Trafikanalys, Hamnbanan i Göteborg från Marieholmsbron till Älvsborgsbangården, daterad 2010-03-02

1.5 Metod

Först identifieras den riskkälla som ska utredas (transport av farligt gods på järnväg). Sedan undersöks vilka risker denna ger upphov till genom att bland annat information om järnvägens utformning och flödet av farligt gods samlas in. Därefter beräknas riskmåttet individrisk samt samhällsrisk.

Riskanalysmetoden för beräkning av individrisk bygger på datoriserade beräkningsmodeller med syfte att ge bästa möjliga beslutsunderlag. Därefter värderas riskerna utifrån de acceptanskriterier som föreslås. Det avslutande momentet beskriver hur riskhänsyn lämpligen kan visas i den fortsatta planeringen.

Analysen arbetar efter följande frågeschema:

- Vad kan hända? (Riskidentifiering)
- Hur ofta kan det hända? (Beräkning av sannolikhet)
- Vilka blir konsekvenserna? (Konsekvens av skadehändelse)
- Vad blir risken? (Beräkning av risknivå)
- Vilka åtgärder krävs? (Värdering av risk)

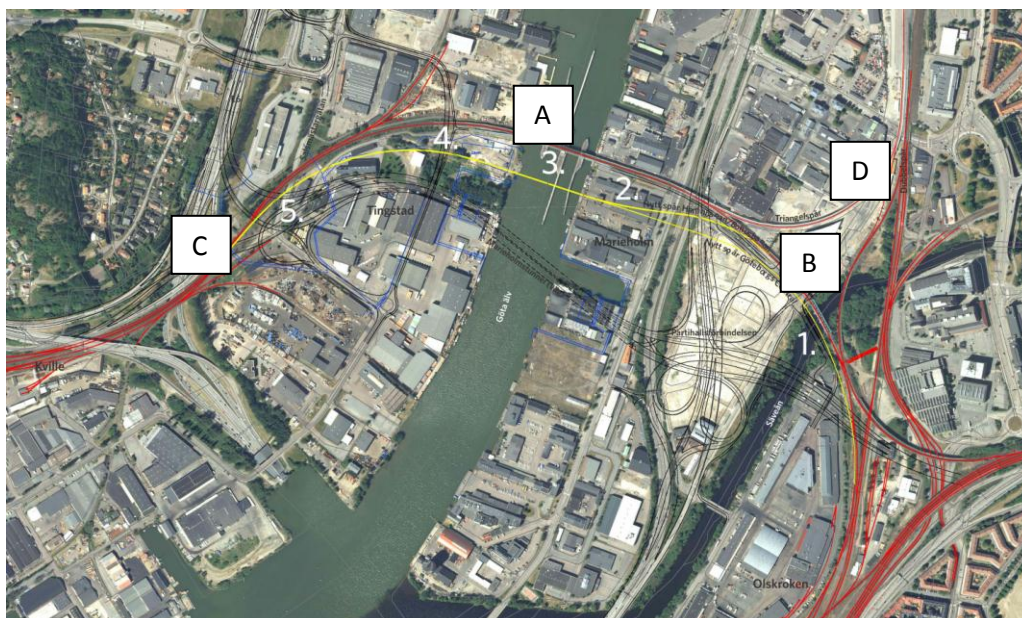
2 Förutsättning

I detta kapitel redogörs för de förutsättningar avseende framförallt omgivning och trafikering som ligger till grund för riskanalysen.

2.1 Ny Marieholmsbro

En järnvägsplan tas fram för en ny Marieholmsbro i Göteborg. Projektet innefattar ett nytt spår för Hamnbanan/ Bohusbanan på sträckan mellan Olskroken och Kville, (se Figur 2.1). Ny bro är planerad till ca 73 m söder om befintlig bro (gul markering i figur nedan). Befintlig Marieholmsbro (järnvägsbro) bibehålls (röd markering i figur nedan).

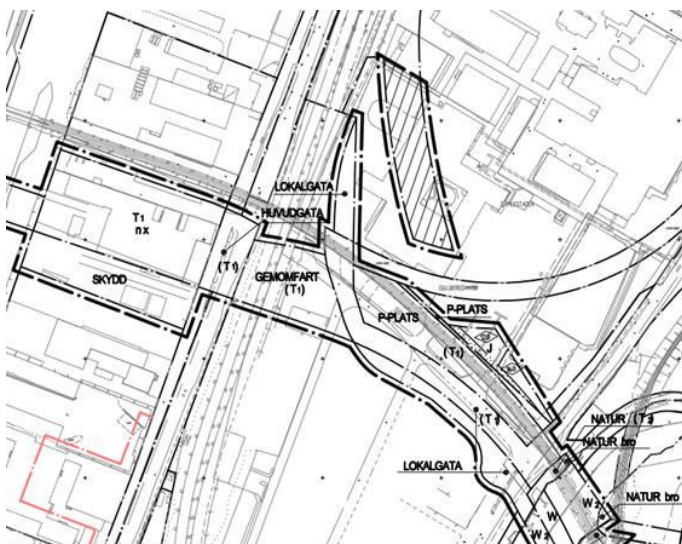
I föreliggande riskanalys behandlas framförallt ny Marieholmsbro (gul linje i figur nedan), men även den del av den befintliga sträckningen som går parallellt med den nytillkommande järnvägen.



Figur 2.1 Översiktsbild, från presentation för Länsstyrelsen, daterad 2010-12-15. Numreringen anger följande: 1=anslutning till Partihallsförbindelsen samt passage över Sävåån, 2=verksamheten rivs, 3=öppningsbar bro över Göta Älv, 4=järnvägsbro över vägramp. A=ca 80 godståg på vardera bro, B=ca 140 godståg, C= ca 160 godståg och D= ca 20 godståg.

2.2 Detaljplaner och omgivning

För att möjliggöra uppförandet av ny Marieholmsbro arbetas en ny detaljplan fram, benämnd "Ny Marieholmsbro inom stadsdelarna Backa och Gamlestaden i Göteborg", se figur nedan.



Figur 2.2 Del av förslag till detaljplanekarta, arbetshandlingar daterade 110405

Omgivande bebyggelse består idag av industriverksamheter (mindre), lager, viss kontorsverksamhet, infrastruktur samt ett fåtal bostäder (villabebyggelse väster om älven).

Det finns en önskan att utveckla områden kring planerad järnväg till mer blandad bebyggelse. Område för ny detaljplan (2004), för bland annat bostäder, norr om Slakthusgatan är beläget ca 320 m från ny järnväg. För Gamlestaden pågår ett arbete med att omvandla bebyggelsen (som närmast beläget ca 100 m bort) och även östra älvstranden nämns som område önskvärt att exploatera.

2.3 Järnväg

Järnvägen trafikeras av gods- och persontåg. Prognos för år 2030 avseende trafik på ny samt befintlig Marieholmsbro är 156 godståg per dygn (inkl. Bohusbanan). Trafikverket har bedömt att hälften av trafiken kommer att gå på vardera bron. Över Säveån antas knappt 140 godståg passera, då ca 20 godståg (av de 156 som passerar på bron) avviker på Triangelspåret norrut (Riskanalys för järnvägsplan för Triangelspår Marieholm, 2004-02-10). Triangelspåret sträckning framgår av figur ovan.

Det spår som planeras och som berörs av analysen kommer att ha god standard.

2.4 Farligt gods

Kemikalier som klassificeras som så kallat farligt gods transporteras på järnvägen. För transporter av farligt gods finns ett särskilt regelverk (Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om transport av farligt gods på järnväg, RID) vilket reglerar bl a vilket gods som tillåts och vilka volymer samt hur godset förpackas, märks och etiketteras. Gods klassificeras som "farligt gods" beroende på ämnens inneboende egenskaper. Farligt gods redovisas vanligen genom att ange vilken klass (RID-klass) godset tillhör.

Det förs ingen aktuell statistik över hur mycket eller vilken sorts farligt gods som transporteras på aktuell sträckning i dagsläget, och det finns inte heller någon prognos för framtiden.

I riskanalys för järnvägsplan för Triangelspår Marieholm antogs andelen farligt gods vara 15 % av godstågen. I trafikanalys för Hamnbanan uppges att uppgifter saknas.

I riskanalys för järnvägsutredning för Triangelspår Marieholm studerades fördelning mellan olika RID-klasser. Studien gav nedanstående fördelning av olika RID-klasser.

Tabell 2.1 Fördelning mellan de olika RID-klasserna

RID-klass	Ämne	Andel Marieholmsbron (ca)
1	Explosiva ämnen och föremål	1 % (<1 %)
2.1	Gaser, brandfarliga	20 %
2.2	Gaser, varken brandfarliga eller toxiska	-
2.3	Gaser, toxiska	20 %
3	Brandfarliga vätskor	40 %
4	Brandfarliga fasta ämnen	20 %
5	Oxiderande ämnen och organiska peroxider	
6	Giftiga ämnen	
7	Radioaktiva ämnen	
8	Frätande ämnen	
9	Övriga farliga ämnen och föremål	

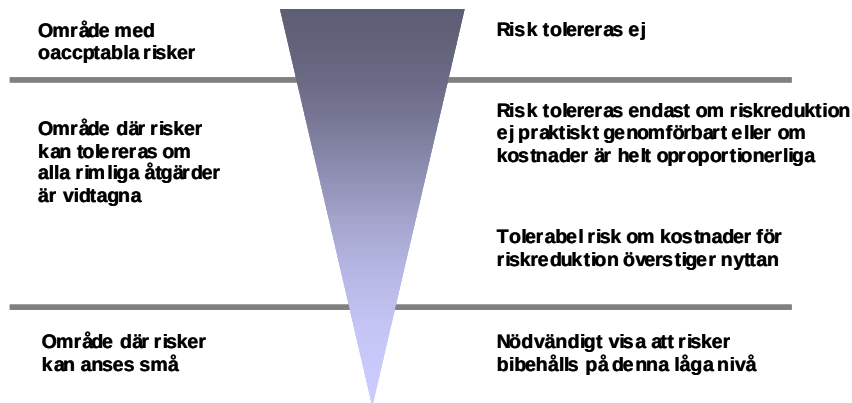
2.5 Riskvärdering

Sverige saknar nationellt fastställda kriterier avseende riskvärdering. Värdering av risker har sin grund i hur man upplever riskerna. Som allmänna utgångspunkter för värdering av risk är följande fyra principer vägledande (Davidsson m fl, 1997):

1. *Rimlighetsprincipen*: Om det med rimliga tekniska och ekonomiska medel är möjligt att reducera eller eliminera en risk skall detta göras.
2. *Proportionalitetsprincipen*: En verksamhets totala risknivå bör stå i proportion till den nytta i form av exempelvis produkter och tjänster verksamheten medför.
3. *Fördelningsprincipen*: Riskerna bör, i relation till den nytta verksamheten medför, vara skäligt fördelade inom samhället.

4. *Principen om undvikande av katastrofer:* Om risker realiseras bör detta hellre ske i form av händelser som kan hanteras av befintliga resurser än i form av katastrofer.

Risker kan placeras i tre kategorier. De kan anses vara acceptabla, acceptabla med restriktioner eller oacceptabla. Figur 2.3 nedan beskriver principen för riskvärdering (Davidsson m fl, 1997).



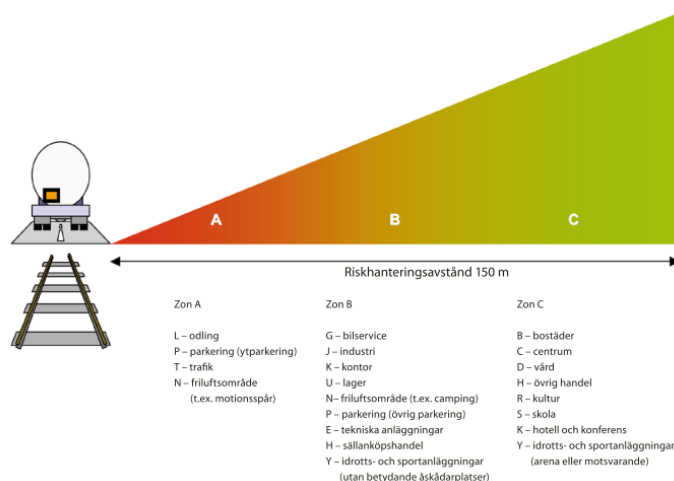
Figur 2.3 Princip för uppbyggnad av riskvärderingskriterier (Davidsson m fl, 1997).

Riskindelningen enligt ovan (Figur 2.3) kan vid en kvantifierad analys jämföras med probabilistiska kriterier. Följande har föreslagits gällande för såväl transport av farligt gods som samhällsplaneringen i övrigt (Davidsson m fl, 1997):

Individrisk: 10^{-5} per år som övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras och 10^{-7} per år som gräns för område där risker kan anses som små.

2.5.1 Regionala riktlinjer

Länsstyrelserna i Skåne, Stockholm och Västra Götalands län har gemensamt tagit fram en riskpolicy för markanvändning intill transportleder för farligt gods. Dokumentet benämns Riskhantering i detaljplaneprocessen (2006). Dokumentet är en vägledning avseende markanvändning, riskhanteringsprocessen samt avstånd. Policyn innebär att risker beaktas vid bebyggelse inom 150 m från transportleder med genomfartstrafik av farligt gods. Policyn är främst framtagen till detaljplaneprocessen, men bedöms kunna vara vägledande även vid andra skeden, såsom aktuell järnvägsplan.



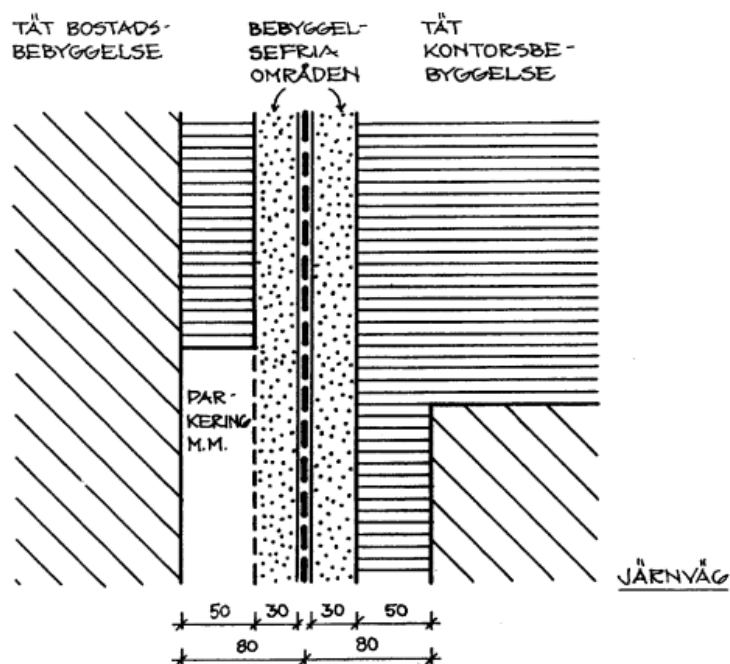
Figur 2.4 Zonindelning enligt regionala riktlinjer (Figur 2 i Riskhantering i detaljplaneprocessen, 2006)

2.5.2 Lokala riktlinjer

I översiktsplan (ÖP) för Göteborgs Stad redovisas riktlinjer avseende rekommenderade avstånd mellan bebyggelse och transportleder där farligt gods passerar. Följande gäller för bebyggelse intill järnväg där farligt gods transporteras:

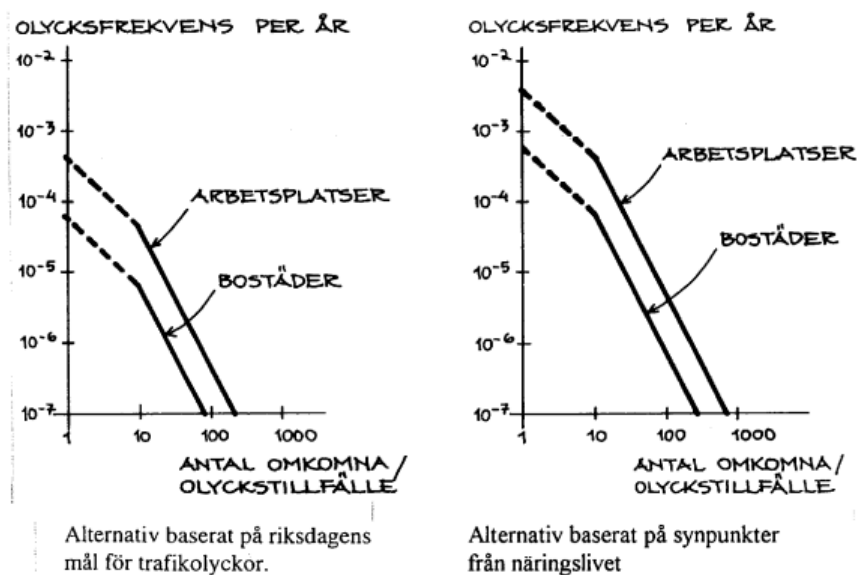
- Ett bebyggelsefritt avstånd om 30 m upprätthålls. Få människor ska normalt sett vistas här.
- Viss biltrafik och parkering tillåts inom det bebyggelsefria avståndet, dock ej närmare än 15 m.
- Kontorsbebyggelse (tät) tillåts fram till det bebyggelsefria avståndet (30 m).
- Sammanhållen bostadsbebyggelse med hög boendetäthet medges fram till 80 m från järnvägen.

Ovanstående kan redovisas i en schematisk skiss.



Figur 2.5 Förslag till fysisk ram, figur från sid V i ÖP Göteborg, fördjupning avseende farligt gods.

För bebyggelse som uppfyller ovanstående ska ytterligare utredning normalt sett ej krävas. Som förslag till värdering av riskmättet samhällsrisk redovisas två förslag, se Figur 2.6.



Figur 2.6 Förslag till kriterier avseende samhällsrisk (Figur 6 i ÖP Göteborg, fördjupning avseende farligt gods.

2.5.3 Applicerad värdering av risker

I föreliggande utredning har regionala, lokala samt allmänna råd och riktlinjer avseende riskvärdering beaktats för att ta fram en grund för riskvärdering i aktuellt fall. Följande principer och kriterier har använts:

- Ett bebyggelsfritt avstånd är motiverbart, oavsett risknivå. Detta för att möjliggöra räddningstjänstens insats samt skydda mot de vanligaste konsekvenserna av olyckor (urspårning och brand). I de lokala riktlinjerna anges 30 m. Detta appliceras på eventuell ny bebyggelse. För befintlig bebyggelse krävs ej alltid 30 m (utifrån principen om ett bebyggelsfritt avstånd oavsett risknivå).
- För ny bebyggelse bör en mycket god situation avseende riskbild eftersträvas, och därmed bör högre krav på låg risk gälla. Se även avsnitt 2.5.4.
- I det område där risken varken är att betrakta som hög eller låg gäller att åtgärder ska vidtas. I vilken grad beror på typ av bebyggelse. Att styra typ av bebyggelse är en åtgärd, vilket innebär att mindre känslig bebyggelse kan komma att tillåtas utan ytterligare åtgärder i denna zon.
- Känslig bebyggelse bör etableras i skydd av mindre känslig bebyggelse. I de regionala riktlinjerna anges en zoneringsområde som är lämplig.
- De kriterier avseende riskmålet individrisk inom samhällsplaneringen som föreslagits av Davidsson m fl (1997) appliceras. Detta innebär att 10^{-5} per år används som övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras och 10^{-7} per år som gräns för område där risker kan anses som små.
- De kriterier avseende samhällsrisk som redovisas i ÖP Göteborg föreslås gälla, se Figur 2.6.
- I de fall då risknivån inte är mycket hög bör markanvändning såsom ytparkering och friluftsliv (med fåtal människor) tillåtas.

2.5.3 Skillnad i riskvärdering mellan befintliga byggnader och ny bebyggelse

Planering av ny järnväg samt ny bebyggelse intill järnväg sker utifrån olika förutsättningar. Planering av ny järnväg sker enligt lagen om byggande av järnväg och den fysiska planering som sker i kommunen i samband med detta sker enligt plan- och bygglagen (PBL). Vid planering av ny bebyggelse enligt PBL ska marken vara *lämpad för ändamålet* (med hänsyn till hälsa och säkerhet), medan det vid byggande av järnväg är *minsta intrång och olägenhet utan oskälig kostnad* som eftersträvas. I PBL nämns också att bestämmelserna syftar till ”god och långsiktigt hållbar livsmiljö”.

Förutom att det finns en skillnad i lagstiftningen finns det även en skillnad i principerna kring riskvärdering; att genomföra infrastrukturprojekt ligger i samhällets intresse och medför stora nyttor, vilket enligt principen om

proportionalitet innebär att vid värdering av riskerna som en väg eller järnväg medför ska det beaktas att anläggningen medför samhällsnytta.

Även utifrån rimlighetsprincipen finns en skillnad mellan att begränsa befintlig bebyggelse (inlösen) och att tillåta ny bebyggelse.

Utöver principerna kring riskvärdering ska i infrastrukturprojekt (MKB) också hänsyn tas till hur riskbilden **förändras**. En prövning av vägs och järnvägs risker gentemot omgivningen ska beakta huruvida situationen förbättras eller ej. Dock ska givetvis risknivån aldrig tillåtas vara oacceptabel.

I infrastrukturprojekt är det en viktig uppgift för riskanalysen att bevaka att risknivån aldrig tillåts vara oacceptabel och ett mål är att säkerställa att säkerhetsnivån är tillräckligt hög. Vid planering av ny bebyggelse är det en av riskanalysens uppgifter att tillse att marken är lämplig för ändamålet, d.v.s. det är extra viktigt med ”god planering”.

3 Analys

Analysen återfinns i Bilaga A.

4 Slutsatser

Utifrån bland annat de beräkningar som gjorts redovisas här slutsats gällande risknivå, främst utifrån riskmåten individrisk samt samhällsrisk. Situationen i nuläge, nollalternativ och byggskede redogörs för översiktligt. Situationen i utbyggnadsalternativet samt behov av åtgärder redogörs för utförligt.

4.1 Nuläge

I nuläget transporteras farligt gods på befintlig sträckning. I nuläget är riskerna med transport av farligt gods lägre än i utbyggnadsalternativet då riskerna ökar med prognosen om ökad trafikering.

Jämfört med de övriga alternativen är det farliga godsets egenskaper ej förändrade, dvs det är samma klasser som förväntas transporteras i samtliga fall. Detta innebär att konsekvenserna av olyckor är de samma och att det framförallt är sannolikheten för en olycka som är lägre i nuläget.

4.2 Nollalternativ

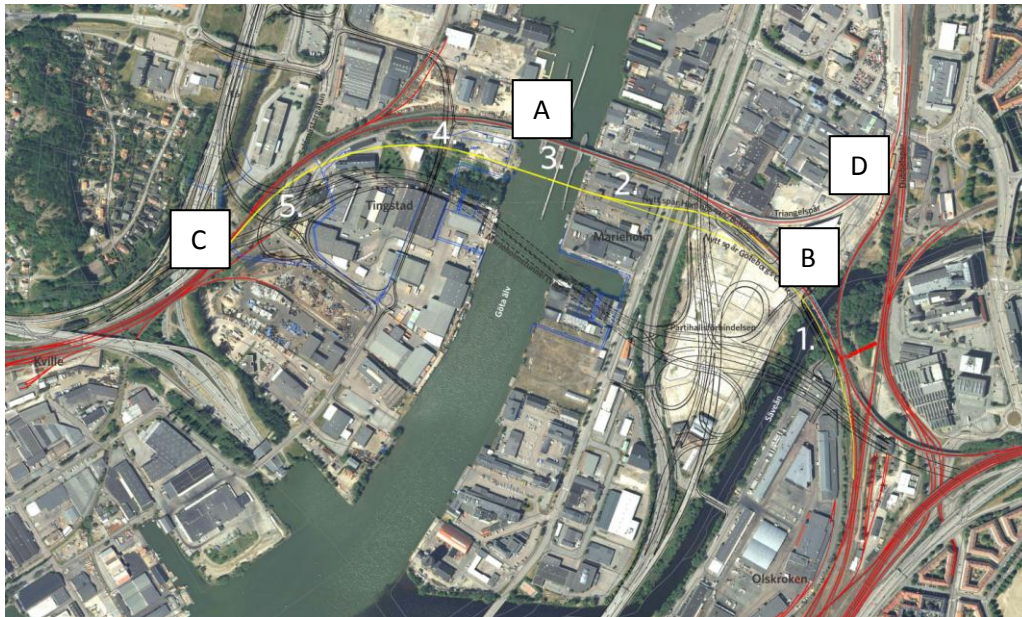
Även i nollalternativet transporteras farligt gods. Flödet av godsvagnar, och därmed av farligt gods, förväntas öka tills kapaciteten i anläggningen blir begränsande.

Jämfört med de övriga alternativen är det farliga godsets egenskaper ej förändrade, dvs det är samma klasser som förväntas transporteras i samtliga fall. Detta innebär att konsekvenserna av olyckor är desamma och att det framförallt är sannolikheten för en olycka som är högre än i nuläget och lägre än i utbyggnadsalternativet.

Riskerna är högre än i nuläget. Jämfört med utbyggnadsalternativet bedöms riskerna vara något lägre. Dock kommer en ökad trafik på enbart befintlig anläggning ge upphov till risker som ej är kvantifierbara, såsom mindre marginaler i trafikstyrningen. Dessutom är en nyare anläggning generellt sett säkrare, med tanke på slitage. I nollalternativet vidtas inga riskreducerande åtgärder, vilket innebär att för vissa fall (platser) kommer risken till och med vara högre än i utbyggnadsfallet.

4.3 Utbyggnad

Individrisken har tagits fram för tre olika delar av sträckan för utbyggnadsalternativet, då trafikeringen skiljer sig åt, se Figur 2.6. Även riskmättet samhällsrisk har tagits fram. Individrisk (platsspecifik) anger hur sannolikt det är att omkomma och är oberoende om det finns någon i området eller inte. Individrisken kan sägas vara risken att omkomma för en människa som vistas utomhus dygnet runt, året runt samt som ej förflyttar sig trots att fara uppfattas (såsom rök, uppmaning om att gå inomhus etc). Samhällsrisken syftar till att beskriva hur sannolikt det är med olyckor med många omkomna, dvs den beskriver hur riskbilden ser ut för samhället.



Figur 2.6 Översigtsbild, från presentation för Länsstyrelsen, daterad 2010-12-15. Numreringen anger följande: 1=anslutning till Partihallsförbindelsen samt passage över Sävån, 2=verksamheten rivs, 3=öppningsbar bro över Göta Älv, 4=järnvägsbro över vägramp. A=ca 80 godståg på vardera bro, B=ca 140 godståg, C= ca 160 godståg och D= ca 20 godståg.

Individrisken är att betrakta som hög i följande fall:

- inom ca 20 m från järnvägen i området mellan Tingstad och Kville (sektion C)
- enbart inom någon enstaka meter (ca 2 m) från järnvägen vid sträckningen över Göta Älv (sektion A)
- inom ca 15 m från järnvägen i området mellan Marieholm och Olskroken (sektion B)

Individrisken är att betrakta som låg i följande fall:

- efter ca 110 m från järnvägen i området mellan Tingstad och Kville (sektion C)
- efter ca 90 m vid sträckningen över Göta Älv (sektion A)
- efter ca 115 m från järnvägen i området mellan Marieholm och Olskroken (sektion B)

I området mellan "hög" och "låg" risk kan risken vara acceptabel, beroende på typ av bebyggelse.

Samhällsrisken är för aktuell sträcka inte att betrakta som oacceptabelt hög.

Bedömningsgrunder för befintlig bebyggelse (i utbyggnadsalternativet)

Utifrån uppgifter om var risken är att betrakta som "hög" har avstånd angetts för när eventuell befintlig bebyggelse kräver åtgärder i någon form. Dessa avstånd

jämförs därefter med aktuella avstånd till bebyggelse, för att se huruvida en konflikt föreligger, samt om fördjupning krävs.

Inom 20 m från järnvägen i området mellan Tingstad och Kville (sektion C) samt inom 15 m från järnvägen på sträckan mellan Marieholm och Olskroken (sektion B) krävs en eller flera åtgärder alternativt inlösen av fastigheter. För sektion A (över älven och vid brofästen) krävs inte sådana åtgärder, däremot är det lämpligt och god planering att vidta åtgärder för eventuella byggnader ju närmare sektion C de befinner sig. Detta på grund av att ett flertal spår, med sina respektive riskbidrag, går allt närmare varandra. Beräkningsmässigt är det svårt att efterlikna sådana specifika situationer.

Krav avseende åtgärder i befintlig bebyggelse gäller för fastigheter där människor vistas annat än endast tillfälligt. Obemannat lager kräver exempelvis ej åtgärd eller inlösen. Åtgärd kan vara i järnvägsanläggningen, såsom skyddsräl, eller på byggnad, såsom brandklassad fasad. Åtgärd på byggnad kräver verifiering av dess riskreducerande effekt (detaljstudie), och generella anvisningar kan ej ges. Avståndet är angett från närmaste spårmitt.

Ovanstående krav på avstånd har jämförts med befintlig bebyggelse. För tre fastigheter har detaljstudier genomförts avseende sammanlagd riskbild från ny och befintlig Marieholmsbro samt Triangelspår. Slutsatsen är att risknivån är acceptabel och att inga åtgärder krävs för de tre fastigheterna Gamlestaden 39:13, Gamlestaden 39:12 samt Gamlestaden 27:15, utifrån befintlig verksamhetstyp (icke-känslig bebyggelse såsom kontor, lager och industri).

Slutsats avseende utbyggnadsalternativet

Under förutsättning att följande uppfylls och beaktas bedöms riskerna vara acceptabla för utbyggnadsalternativet:

- Ett bebyggelsefritt avstånd om 30 m upprätthålls till ny bebyggelse (avstånd angett till närmsta fasad) och vid utformning av ytan beaktas att människor inte ska uppmanas att vistas i denna zon. Ytan ska ej inbjuda till varaktigt uppehålle.
- Mark inom 30 m kan användas till t.ex. industri, om reglering sker på sådant sätt att inga nya byggnader uppförs.
- Efter 30 m tillåts uppförande av ny bebyggelse av typen kontor, lager, industri etc (d.v.s. bebyggelse som ur ett riskperspektiv är att betrakta som icke-känslig).
- Från 30 m och till område med ”låg” risk (d.v.s. 90 m, 115 m resp 120 m från närmaste spårmitt) bör ny bebyggelse följa de regionala riktlinjerna ”Riskhantering i detaljplaneprocessen” där en zonerings eftersträvas. Verksamheter såsom kontor placeras närmare järnvägen än känsligare bebyggelse, såsom flerbostadshus.
- Direkt i anslutning till järnvägen (även under) kan parkering (P), trafik (T), friluftsområde (N) lokaliseras, under förutsättning att endast ett fåtal människor uppehåller sig där, samt att det endast sker temporärt. Exempelvis bedöms parkering för bussar vara ett bra sätt att använda marken, under förutsättning att inga byggnader för tvätt, service, fika

och/eller vila tillåts. Mindre byggnad för toalett accepteras. Risknivån orsakad av farligt gods är inte sådan att placering av gång- och cykelvägar behöver begränsas, utan istället är det frågor rörande tillträde mm som avgör hur gång- och cykelvägar kan förläggas. Att tillåta lokalisering av parkering i anslutning till järnvägen avviker från de lokala riktlinjerna, dock går det hand i hand med de regionala riktlinjerna. Det finns också stöd för denna bedömning i andra städer och regioners riktlinjer (H+ i Helsingborg samt länsstyrelsen i Skånes riktlinjer RIKTSAM). I detta fall är risknivån sådan att ett sådant markutnyttjande bedöms vara ett lämpligt användningsområde av marken, utifrån ett farligt gods-perspektiv.

- Andra lagar kan påverka möjligheten att uppföra byggnader i järnvägens närhet, t.ex. Starkströmsföreskrifterna.

Det finns idag ingen bostadsbebyggelse, eller annan känslig bebyggelse, i järnvägens närområde. De delar i denna utredning som beaktar persontäthet bedöms vara giltiga även för viss framtida förtätning.

4.4 Byggskede

Under byggskedet kommer transport av farligt gods ske på befintlig järnväg, vilket innebär att det är av vikt att säkerheten i befintlig järnvägsanläggning ej påverkas, då detta kan orsaka stora konsekvenser. Fördjupning av riskerna i byggskedet krävs, exempelvis inom arbetet med arbetsmiljö och projektrisker, utöver de generella rekommendationer som ges här.

De händelser som kan orsaka olyckor med farligt gods är i princip desamma som kan orsaka skador på liv (tredje man och personal), egendom och miljö, exempelvis svängande föremål såsom kranar. Då konsekvenserna kan bli extra stora pga trafikering med farligt gods rekommenderas att rutin upprättas för när kranar får användas (anpassat till t.ex. väder). Även avgrävning av eventuella gasledning kan få större konsekvenser i detta fall. För att undvika detta krävs förberedande arbete samt utmärkande av ledningar. Sättningar som ger upphov till skada på befintlig anläggning (bro, järnväg) kan öka sannolikheten för urspårning av farligt gods. Övervakningsprogram rekommenderas.

En allmän åtgärd är att se över tidsplaneringen och ge tillräckligt med tid för kritiska moment. Överväg styrning av transporter av farligt gods, exempelvis till tider på dygnet då arbeten ej pågår. En annan möjlig åtgärd är att sänka hastigheten under delar av byggskedet. Alla involverade bör få utbildning i riskerna med de pågående transporter av farligt gods.

5 Referenser

CPR 18E, Committee for the prevention of disasters, guidelines for quantitative risk analysis, 1999.

Davidsson m fl, *Värdering av risk*, Rapport P21-182/97, Räddningsverket, Karlstad, 1997.

Eriksson, H., Burman, J., Thaning, L., Winter, S. *Hur farlig är en ishall med ammoniak?* Försvarets forskningsanstalt, 1998.

Fischer, S., Forsén, R., Hertzberg, O., Jacobsson, A., Koch., B., Runn, P., Thaning, L., Winter, S., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker.* Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1997.

Fredén, S. (2001) . *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*, Banverket, Miljösektionen, rapport 2001:5.

Kylefors, M. (2001), *Cost-Benefit Analysis of Separation Distances*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.

LTH & Brandskyddslaget (1994) . Brandskydd, *Boverkets byggregler teori & praktik*. Lund: LTH, Brandteknik.

RIKTSAM, *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – Bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods.* Rapport 2007:06, Länsstyrelsen i Skåne Län, Samhällsbyggnadsenheten, 2007.

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

Räddningsverket, *Farligt gods på vägnätet – underlag för samhällsplanering*, Rapport B20-209/98, Statens Räddningsverk, Karlstad, 1998.

Räddningsverket, *Kartläggning av vägtransporter med farligt gods*, Rapport P21-359/00, Statens Räddningsverk, Karlstad, 2000.

Räddningsverket, *Handbok i kommunal riskanalys inom räddningstjänsten*, Rapport PUBR16-038, Karlstad, 1989.

VTI, *Konsekvensanalys av olika olycksscenarier vid transport av farligt gods på väg och järnväg.* Väg- och transportforskningsinstitutets rapport 387:4, 1994.

ØSA (2003) . *Utredning av säkerhetsåtgärder i detaljplan*, 2003-07-16. Uppdrag 01379 åt Räddningsverket.

ØSA (2004) . *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen (avseende transport av farligt gods på väg och järnväg)*, 2004-01-30. Uppdrag 01664 åt Länsstyrelsen i Skåne län.

Bilaga A

Riskanalys

A1 Analys

A1.1 Transport av farligt gods på järnväg

A1.1.1 Riskidentifiering

Skadehändelser definieras som de olika olyckstyper som kan inträffa. Med de givna förutsättningarna har följande skadehändelser kopplat till transport av farligt gods identifierats:

- Urspårning, kollision utav godståg med farligt gods
- Olyckor med farligt gods

A1.1.2 Urspårning och kollision

Ett tåg som spårar ur kan dels stanna i anslutning till spåret, dels fortsätta i en tangentiell riktning. I händelse av det senare kan vagnar antingen bromsa förloppet eller knuffa på vilket leder till att vagnar viker ihop sig och ställer sig tvärs spåret.

Data över hur långt från spårmittpunkt som tåg vid inträffade urspårningar har hamnat som längst framgår av Tabell 1.1.

Tabell 1.1 Data över hur långt urspårade godståg har avvikit från spårmittpunkt, samt viktad sannolikhet med beaktande av endast de kända data. Från Fredén (2001).

	0-1 m	1-5 m	5-15 m	15-25 m	> 25 m	Okänt
Data (%)	64	18	5	2	2	9
Viktad slh (%)	70	20	5	2	2	-

Spridningen (avvikelsen från spåret) är också beroende av tågets hastighet och spårets läge i förhållande till omgivningen och omgivningens beskaffenhet. Det är därmed osannolikt att ett tåg vid en urspårning når längre än 25 m från spåret. 98 % av resandetågen och 90 % av godstågen stannar inom 5 m. Vid de höjdförhållanden som råder på Marieholmsbron bedöms ovanstående vara en underskattning vid längre avstånd, dock saknas statistiskt underlag avseende specifikt urspårning vid broar. Vid en allvarligare urspårning som sker på en bro eller på en bank kan tåg rasa ned från järnvägsbanken, och på så sätt hamna långt från spårområdet. Vid en mindre urspårning förväntas å andra sidan bron bidra till att vagn ej avviker lika långt.

Ovanstående data avseende urspårning används vid beräkning, trots de platsspecifika förhållanden, då Trafikverkets handböcker och föreskrifter reglerar vilka åtgärder som ska vidtas för att uppnå hög säkerhet även vid järnvägsbroar. Exempelvis ställs krav på när skyddsräler (minskar konsekvensen vid urspårning) ska finnas.

Urspårningar kan i huvudsak bero på rälsbrott, solkurva, spårlägesfel, vagnfel eller andra orsaker (Fredén, 2001). Den kan även bero på kollision, men enligt Fredén är sannolikheten för sammanstötning mellan tåg så låg att den försvinner i de allmänna osäkerheterna avseende urspårning. Kollision inkluderas trots detta i beräkningarna.

A1.1.4 Transport av farligt gods

I avsnitt 2.3 redovisas bästa tillgängliga uppgifter om fördelning mellan olika RID-klasser. Denna fördelning bedöms ej förändras, utan antas gälla även för prognosåret (för vilket beräkningar utförs).

Det tidigare antagandet om 15 % farligt gods bedöms gälla även för prognosåret. Antagandet är möjligen en överskattning.

Ytterligare grund för antagandet saknas men är bästa möjliga uppgift som funnits tillgänglig.

A1.1.5 Olycka med farligt gods

Frekvensen av olycka som inbegriper en vagn lastad med farligt gods har beräknats enligt VTI-modellen, med följande data:

- 29 vagnar per (gods)tåg.
- 15 % av vagnarna per godståg är lastade med farligt gods.
- 3,5 vagnar spårar ut per urspårning.
- 3,7 vagnaxlar per vagn i genomsnitt. (4 vagnaxlar för vagn lastad med farligt gods. Andel vagnar med 2 vagnaxlar är 14 % och andel vagnar med 4 vagnaxlar är 86 %.)
- 1,5 km spårlängd.
- Antal godståg per dag skiljer sig åt mellan de tre olika typsektionerna. För sträckan över älven är trafikeringen i snitt 156 (prognos för år 2030), fördelat lika mellan ny och befintlig bro. Trafikering sker 250 dagar per år. För beräkning av frekvens för urspårning utmed hela sträckan har en trafikering om 156 tåg använts.
- Inga plankorsningar finns längs sträckan.
- Urspårningstal för boggivagn respektive 2-axlig vagn enligt Tabell 1.2.
- Sannolikhet för läcka sätts konservativt till 0,3 (summa för alla utsläppsstorlekar avseende tunnväggiga tankar).

Tabell 1.2 Urspårningstal för 2-axliga respektive boggivagnar på helsvetsad räl placerad på betongslipers (motsvarande räler UIC 60 eller SJ 50).

	2-axlig vagn	Boggivagn
Spårberoende	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$8,0 \cdot 10^{-10}$
Ej spårberoende, vagnfel	$4,0 \cdot 10^{-9}$	$0,6 \cdot 10^{-9}$

Ej spårberoende, operatörsfel	$3,1 \cdot 10^{-9}$	$3,1 \cdot 10^{-9}$
Ej spårberoende, okänt	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$0,3 \cdot 10^{-9}$
Summa	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$4,8 \cdot 10^{-9}$

Frekvensens för urspårning med efterföljande utsläpp av farligt gods blir ca $3,7 \cdot 10^{-3}$ per år för hela sträckningen för befintlig samt planerad bro.

A1.1.6 Konsekvens av olycka på järnväg

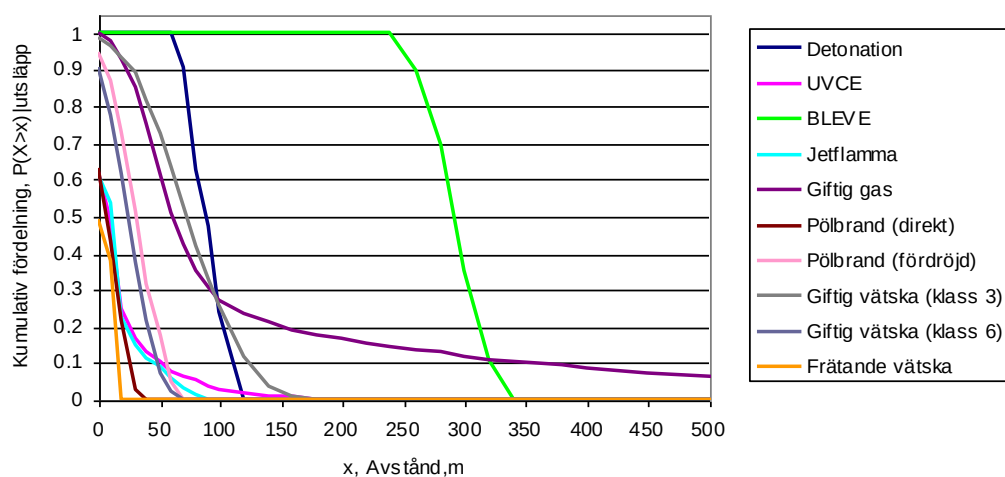
Farligt gods utgörs av flera olika ämnen vars fysikaliska och kemiska egenskaper varierar. De huvudsakliga riskkällorna vid transport av farligt gods utgörs av dem som kan leda till en eller flera av följande tre konsekvenser; brand, explosion och utsläpp av giftiga eller frätande kemikalier. Principiellt kan en indelning ske i massexplosiva ämnen, giftiga kondenserade gaser, brandfarliga kondenserade gaser, giftiga vätskor, brandfarliga vätskor och frätande vätskor. Massexplosiva ämnen kan detonera vid olyckor. Skadeverkan är en blandning av strålnings- och tryckskador. Tryckkondenserade gaser är lagrade under tryck i vätskeform. Vid utströmning kommer en del av vätskan att förångas och övergå i gasform. Utströmningen ger upphov till ett gasmoln som driver i väg med vinden. Vätskor som strömmar ut breder ut sig på marken och bildar vätskepooler. Beroende av vätskans flyktighet kommer avdunstningen att gå olika fort. Brand och explosion kan uppstå sekundärt efter ett utsläpp av brandfarlig gas eller vätska. Om direkt antändning sker vid utsläppskällan uppstår en jetflamma. Antänds en vätskepool uppstår en poolbrand. Vid utströmning av brandfarlig gas används ofta termerna UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion) och BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion). UVCE inträffar om ett gasmoln antänds på ett längre avstånd från utsläppskällan och BLEVE är ett resultat av att en pga värmepåverkan kokande vätska (tryckkondenserad gas) släpps ut momentant från en bristande tank och exploderar med stor kraft. Ovanstående konsekvenser kan härledas till farligt gods i RID-klass 1, 2, 3, 6 och 8. Brandfarliga fasta ämnen i RID-klass 4, oxiderande ämnen och organiska peroxider i RID-klass 5, radioaktiva ämnen i RID/ADR klass 7 och övriga ämnens i klass 9 utgör normalt ingen fara för omgivningen då konsekvenserna koncentreras till järnvägsvagnens omedelbara närhet.

Representativa scenarier för olika typer av gods och dimensionerande avstånd för skadehändelser redovisas i Tabell 1.4.

Det dimensionerande avståndet har valts som ett representativt scenario för varje skadehändelse, definierat som 80%-percentilen i beräkningar över variationen i utfall på grund av olika vindhastigheter, hålorlekar etc (beräkningar genomförda i RIKTSAM med 10 000 iterationer); dvs ett avstånd som innehålls i 80 % av fallen. Hela fördelningen på utfall redovisas i Figur 1.1.

Tabell 1.3 Representativa scenarier för olika skadehändelser med transport av farligt gods. B=brännbart, G=giftigt. Dimensionerande avstånd avser ett avstånd som vid en given olycka understigs i 80 % av fallen.

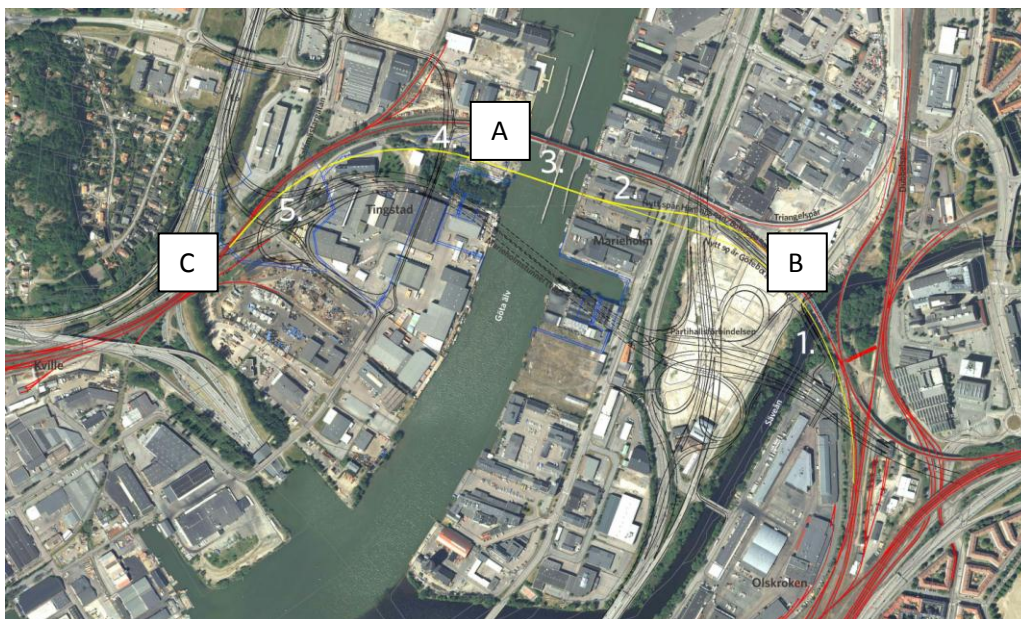
Scenario	Typ av gods	Skadehändelse	Dimensionerande avstånd
1	Explosivämne	Detonation	110
2	Tryckkondenserad gas, B	UVCE	20
3	Tryckkondenserad gas, B	BLEVE	320
4	Tryckkondenserad gas, B	Jetflamma	25
5	Tryckkondenserad gas, G	Giftmoln	150
6	Vätska, B	Pölbrand direkt	30
7	Vätska, B	Pölbrand fördröjd	50
8	Vätska, B, G	Pölbrand direkt	30
9	Vätska, B, G	Pölbrand fördröjd	50
10	Vätska, B, G	Giftmoln	110



Figur 1.1 Fördelning över riskavstånd för olika varierade parametrar. Totalt 10 000 iterationer ligger till grund för redovisningen.

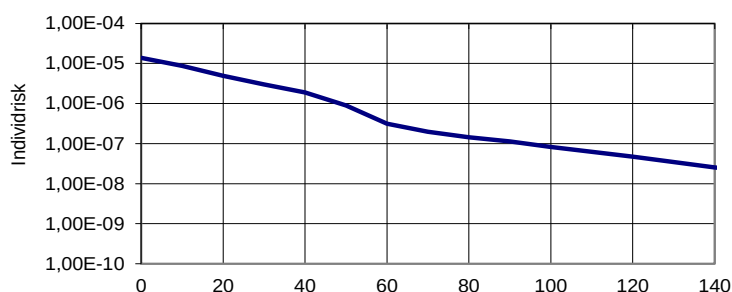
A1.2 Beräkning av individrisk

Beräkningarna av individrisk vid tre olika delar av den 1,5 km långa sträckan har gjorts utifrån skillnad gällande trafikering av godståg, se figur nedan.



Figur 1.2 Översiktsbild, från presentation för Länsstyrelsen, daterad 2010-12-15. Numreringen anger följande: 1=anslutning till Partihallsförbindelsen samt passage över Sävån, 2=verksamheten rivs, 3=öppningsbar bro över Göta Älv, 4=järnvägsbro över vägramp. A=ca 80 godståg på vardera bro, B=ca 140 godståg och C= ca 160 godståg.

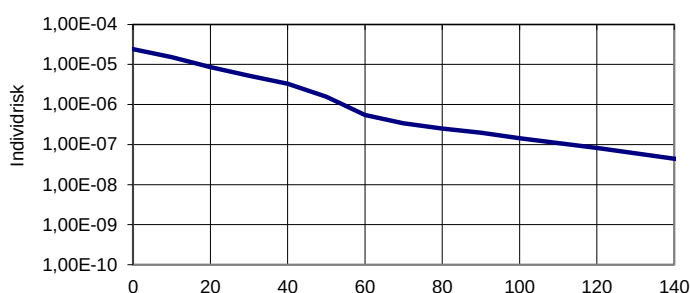
Med antaganden enligt tidigare avsnitt, information om olika olyckors konsekvensområde, antaganden gällande hur långt från spår tåg avviker, uppgift om hur långt vagnar avviker, hur fördelningen av transporterat gods i olika klasser samt det förväntade antalet olyckor med farligt gods utmed en representativ sträcka (300 m) kan individrisken utomhus beräknas. För utförlig information om beräkningarna (representativa kemikalier i respektive klass etc) hänvisas till bilaga B, Riskanalysbilaga (beräkningar).



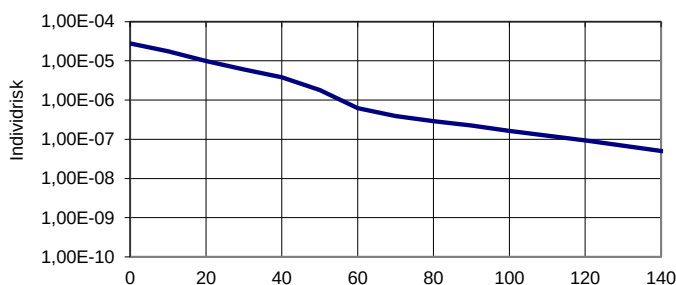
Figur 1.3 Individerisk sektion A (ca 80 godståg) som funktion av avståndet till järnvägen.

Överlagring av individrisken från befintlig och planerad bro har utförts för ett typiskt avstånd om 50 m mellan broarna, vilket legat till grund för slutsatserna i denna rapport. (För den separata PM som upprättats avseende tre särskilda fastigheter har inget schablonavstånd/"typiskt avstånd" använts, utan det utlåtandet baseras på specifika avstånd.)

I verkligheten varierar avståndet och ger på vissa platser högre risker, och på vissa platser lägre risker. Risknivån rör sig mot vad som redovisats för sektion B och sektion C. Figur 1.3 är framför allt giltig vid ca 50 m avstånd (och större) mellan befintlig och ny sträckning.



Figur 1.4 Individrisk för sektion B (ca 140 godståg) som funktion av avståndet till järnvägen.



Figur 1.5 Individrisk för sektion C (ca 160 godståg) som funktion av avståndet till järnvägen.

A1.3 Samhällsrisk

Vid beräkning av samhällsrisk har hänsyn tagits till frekvensen för olycka med farligt gods och hur fördelningen av farligt gods ser ut osv.

Det område som innefattas är ett 1,5 km långt område, med utbredningen 200 m i vardera riktningen (i enlighet med den metod som användes för att ta fram kriterierna i Göteborgs Stad). Samhällsriskens beräknas totalt sett för ny och befintlig sträckning. Inom området finns:

- Villabebyggelse (begränsat antal villor)
- Arbetsplatser i form av lager, industri, kontor
- Viss handel i form sällanköpshandel
- Infrastruktur

För att bedöma hur mycket människor som vistas i området har bland annat folkmängden studerats. Från Göteborgs Stads hemsida (www.goteborgs.se, 2011-05-31) hämtas uppgifter om befolkningen. I de basområde som benämns 301-60 respektive 301-61 (norr respektive söder om järnväg, öster om älven) är ca 30 personer folkbokförda. Basområdena har sin utsträckning norrut respektive söderut och de folkbokförda kan bo på upp till ca 700-1000 m avstånd från aktuell järnväg. För villababyggelse väster om älven görs en uppskattning utifrån hur många villor som innefattas i zonen om 200 m (drygt 10 st).

Förutom boende vistas också människor inom de arbetsplatser som finns. I riskanalys till järnvägsplan för Triangelspåret uppskattades ca 400 människor vistas inom Slakthusområdet under dagtid. En översiktlig inventering över arbetsplatser ger att antal personer dagtid (samtidigt) inom området är i storleksordningen ca 1000 personer. Detta skulle motsvara ca 1700 personer per km², vilket stämmer bra överens med andra uppgifter om persontäthet (t.ex. använder VTI 2500 personer/km² för "stad").

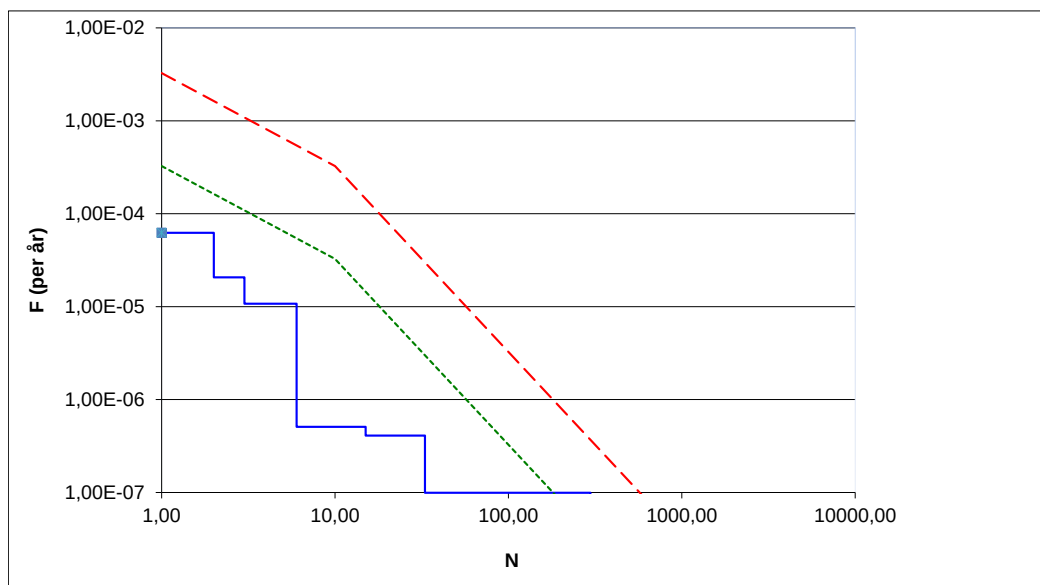
Sammantaget ger detta att persontätheten i omgivningen är i dagsläget är förhållandevis låg. För att ta hänsyn till eventuell framtida omvandling till blandad bebyggelse har en större persontäthet använts i beräkningarna.

Då kriterierna är framtagna för en 2 km lång sträcka och aktuell sträcka är 1,5 km lång har en korrigering (multiplicering) med 1,5/2 gjorts. I föreliggande analys är det mestadels arbetsplatser i omgivningen och därmed är det detta kriterium som använts.

Följande antaganden har gjorts:

- Inom 60 m från spåren är persontätheten 300 människor/km² (inne och ute) dygnet runt.
- Efter 60 m från spåren är persontätheten 1700 människor/km² (inne och ute) 12 h per dygn.
- Utmed sträckan finns (förutom persontätheten angiven ovan) verksamheter på ca 50 m avstånd. Verksamhet bedrivs ca 8 h/dygn och ca 70 personer vistas i varje fastighet.
- Dagtid vistas 90 % av människorna vistas inomhus och 10 % vistas utomhus. Detta baseras på att holländska Purple Book (CPR 18E, 1999) anger att generellt sett vistas 7% utomhus dagtid.
- Natttid vistas 95 % av människorna vistas inomhus och 5 % vistas utomhus. Detta baseras på att holländska Purple Book (CPR 18E, 1999) anger att generellt sett vistas 1 % utomhus nattetid.

Beräkningarna presenteras i Figur 1.6.



Figur 1.6 Samhällsrisk för 1,5 km sträcka bestående av ny samt befintlig Marieholmsbro. Blå linje resresenterar samhällsrisk för aktuellt projekt. Röd respektive grön linje anger kriterier.

Två olika nivåer på kriterierna (röd respektive grön linje) för arbetsplatser används i den fördjupade översiktsplanen. Den lägre nivån representerar samhällets mål på olycksfallsområdet och den högre nivån är baserad på näringslivets bedömning. Nivåerna är omräknade till aktuellt projekts utbredning. Beräkningarna visar att samhällsrisk understiger båda angivna kriterier, Då beräkningarna är konservativa och gjorda utifrån att viss verksamhet bedrivs utmed hela sträckan (ingen hänsyn har tagits till att det utmed del av sträckan, t.ex. över älven, inte finns någon bebyggelse att påverka). Detta gör att riskmålet samhällsrisk bedöms vara acceptabelt i utbyggnadsalternativet. En bedömning av samhällsrisk i nuläget samt nollalternativet ger att samhällsrisk även i dessa fall bedöms vara acceptabel.

Beräknad samhällsrisk stämmer väl överens med de slutsatser som kan dras utifrån riskmålet individrisk (risk att betrakta som "hög" endast inom upp till ca 20 m från järnväg, beroende på sektion och trafikering) samt vetskap om intilliggande bebyggelse (mest arbetsplatser, ej höga personantal).

A1.4 Osäkerheter

Det finns osäkerheter i indata, modell och antaganden. Den största osäkerhetsfaktorn gäller indata, och utgörs av det faktiska antalet transporter med farligt gods (idag och i framtiden).

De höjdförhållanden som råder på Marieholmsbron kan innebära att uppgifter om hur långt tåg avviker från spår kan vara en underskattning, å andra sidan regleras användandet av skyddsräler specifikt för broar.

Beräkningsmässigt är det svårt att efterlikna den speciella situation som uppkommer när flera spår närmar sig varandra och tre typsektioner har studerats.

Känslighetsanalys har utförts avseende både samhällsrisk och individrisk, utan att slutsatserna påverkas.

Osäkerheterna kan påverka den beräknade risknivån både uppåt och nedåt. Det finns skäl som talar för att beräkningen av risken är att betrakta som mycket konservativ och valda indata innebär en förskjutning mot högre risk.

Bilaga B

Beräkningar Riskanalys

B1 Introduktion

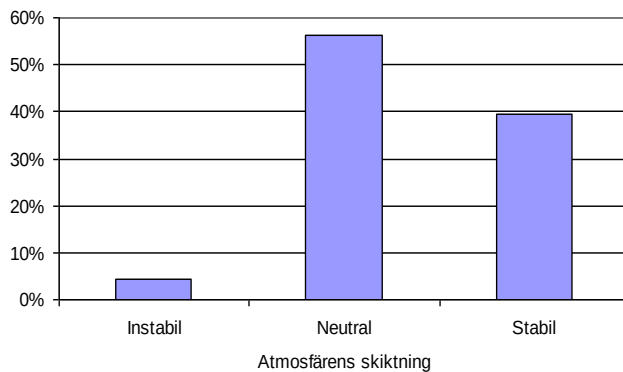
B1.1 Inledning

Denna bilaga redovisar antaganden, förutsättningar, indata och beräkningsmodeller som ligger till grunden för huvudrapporten. Bilagan skall ses som ett förtydligande till huvudrapporten.

B2 Risk- och olycksidentifikation

B2.1 Väderförhållanden

Väder- och vindförhållanden antas enligt nedan. Figur 2.1 redovisar aktuella förhållanden.



Figur 2.1 Väder- och vindförhållanden.

Den vanligaste skiktningen i atmosfären är neutral, därefter stabilt. Instabil skiktning inträffar mycket sällan. För respektive stabilitetsklass finns uppgifter om fördelningen av vindhastigheter. Dessa redovisas i Tabell 2.1.

Tabell 2.1 Vindhastigheter uppdelat på stabilitetsklass.

Stabilitetsklass	Vindhastighet (medelvärde)
Instabil	1,7 m/s
Neutral	4,4 m/s
Stabil	2,4 m/s

B2.2 Karakterisering av farligt gods

Det flesta olyckor med farligt gods inblandat är i grunden järnvägsolyckor (urspårningar) och åtgärder för att förbättra den allmänna järnvägssäkerheten medverkar därför till att också minska risken för en olycka med farligt gods.

B2.3 Dimensionerande scenarier

Beräkningarna behandlar följande scenarier, vilka sammanfattas i Tabell 2.2

- Detonation av massexplosiva ämnen som ger tryckverkan och brännskador.
- Utsläpp och antändning av kondenserad brännbar gas som kan ge upphov till BLEVE, gasmolnsexplosion, gasmolnsbrand och jetflamma, vilket leder till brännskador och i vissa fall även tryckpåverkan.
- Utsläpp av kondenserad giftig gas som ger förgiftning vid inandning.

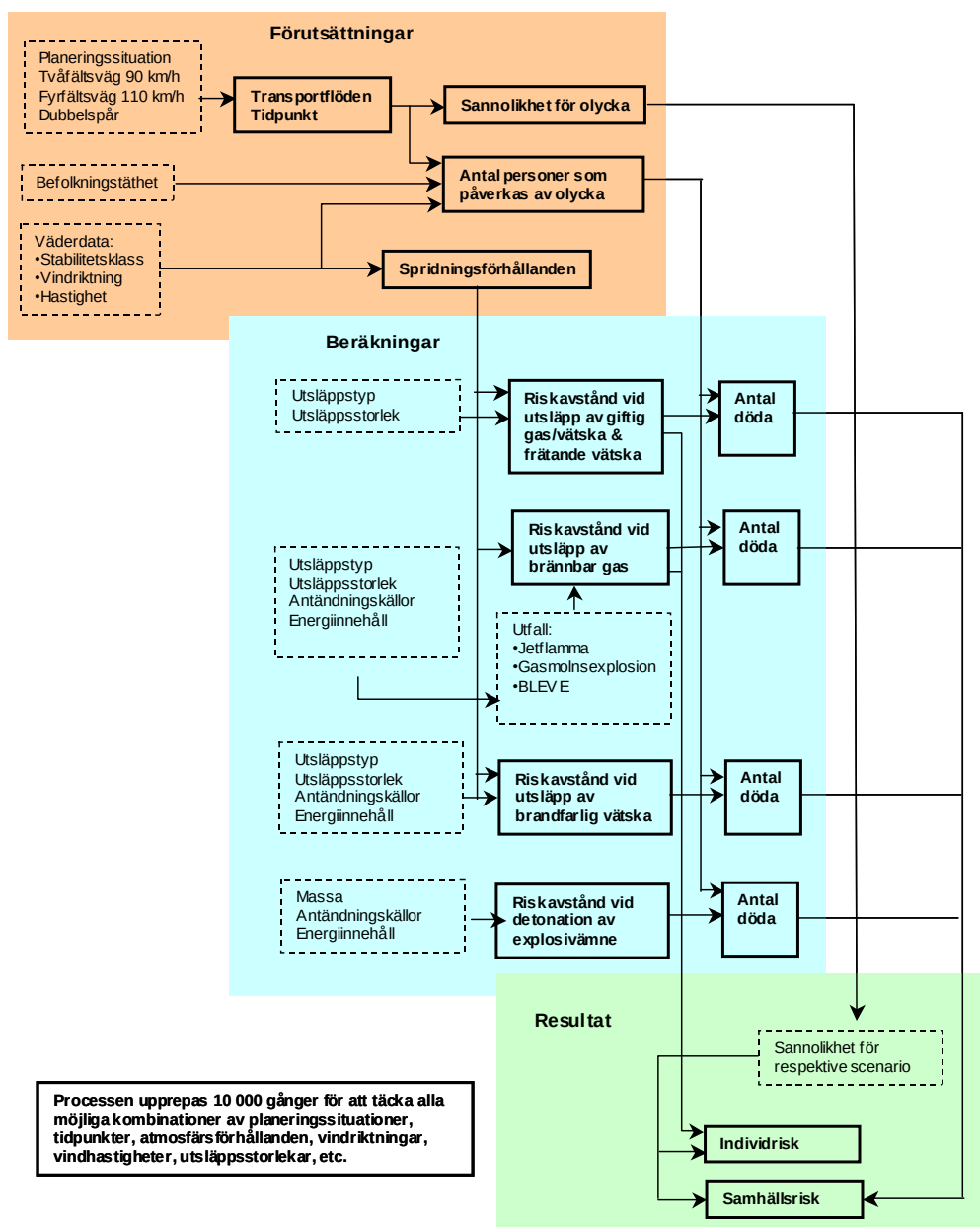
- Utsläpp och antändning av mycket brandfarliga vätskor vilka ger pölbrand med efterföljande brännskador.
- Utsläpp av giftiga vätskor som ger förgiftning vid inandning när de driver iväg som gasmoln.
- Utsläpp av frätande vätskor, vilka ger frätskador vid hudkontakt.

Tabell 2.2 Karakterisering av farligt gods utifrån egenskap (utöver RID-klassificeringen, dvs så kallad sekundärfara).

Klass	Järnväg
1.1	25%
1 Övrigt	75%
2 Giftigt	60%
2 Brännbart	10%
2 Övrigt	30%
3 Brandfarligt	75.0%
3 Giftigt	8.0%
3 Övrigt	17.0%
4 Alla	100.0%
5 Alla	100.0%
6 Flytande	72.0%
6 Övrigt	28.0%
7 Alla	100.0%
8 Alla	100.0%
9 Alla	100.0%

B3 Riskanalysmodell

I Figur 3.1 visas en schematisk beskrivning av analysmodellen som använts och de samband som finns mellan de ingående delarna. Figuren redovisar tillvägagångssätt för väg och järnväg. Flera av de ingående variabler och andra förutsättningar har tilldelats statistiska fördelningar i stället för att representeras av en punktskattning.



Figur 3.1 Övergripande beskrivning av analysmodellen.

Processen beskriven i Figur 3.1 kommer därför att simuleras med c:a 10 000 iterationer för att säkerställa att all variation har beaktats. För varje iteration väljs vilka indata som skall användas för denna specifika beräkning. Konkret innebär det att varje beräkning omfattar ett specifikt värde på olycksplats, tidpunkt, atmosfärsförhållanden, vindriktning, vindhastighet, utsläppsstorlek, etc. För varje iteration beräknas sedan de olika konsekvenserna som kan uppkomma vid utsläpp av farligt gods. Information om sannolikheter, riskavstånd och utfall i form av omkomna människor lagras. När samtliga iterationer är slutförda kan resultatet i form av individrisk redovisas.

För att kunna utföra beräkningar av modellen krävs endast ett minimum av mjukvara. Själva modellen byggs upp i ett kalkylprogram (Microsoft Excel). För att kunna utföra upprepade beräkningar används ett tilläggsprogram för riskanalys¹. Tilläggsprogrammet används för att kunna representera indata och variabler med statistiska fördelningar i stället för punktskattningar. De upprepade beräkningarna utförs med hjälp av sk Latin Hypercube sampling, vilket är en mer sofistikerad form av Monte Carlo simulering.

¹ @RISK, Palisade Corp., 2000

B4 Beräkning av frekvenser och sannolikheter

B4.1 Frekvens för farligtgoodsolycka

Modellerna för beräkning av frekvensen för farligtgoodsolycka består av två delar – en skattning av frekvensen för en trafikolycka där vagn lastat med farligt gods är inblandat samt en skattning av sannolikheten för utsläpp vid en olycka.

På järnväg har Fredén² utvecklat en modell för att uppskatta frekvensen för tågurspårning och kollision. Modellen bygger på trafikintensiteten ofta uttryckt vagnaxelkm, tåghastigheten, spårkvaliteten, etc. Med hjälp av dessa uppgifter kan frekvensen för olyckor beräknas.

B4.2 Scenarier

Med kännedom om fördelningen av det farliga godset i de olika huvudklasserna enligt RID, samt det farliga godsets karakteristiska egenskaper (se avsnitt 2.3) har följande scenarier identifierats.

Tabell 4.1 Dimensionerande scenarier vid utsläpp av farligt gods.

Beskrivning	Typämne
K1, K1.1, detonation -> tryck	Trotyl
K2, Brännbar, UVCE -> brännskada/tryck	Gasol
K2, Brännbar, BLEVE -> brännskada	Gasol
K2, Brännbar, Jetflamma -> brännskada	Gasol
K2, Giftig - giftmoln	Svaveldioxid
K3, Brandfarlig, Pölbrand (direkt) -> brännskada	Bensin
K3, Brandfarlig, Pölbrand (fördröjd) -> brännskada	Bensin
K3, Giftig, Pölbrand (direkt) -> brännskada	Bensin
K3, Giftig, Pölbrand (fördröjd) -> brännskada	Bensin
K3, Giftig, Ingen antändning -> giftmoln	Propylenoxid
K6, Vätska -> giftmoln	Dimetylsulfat
K8 -> frätskada	Svavelsyra

² Fredén, S., *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*, Rapport 2001:5, Miljösektionen, Banverket, 2001

För att kunna beräkna sannolikheten för de olika scenarierna ovan krävs kännedom om exempelvis andelen giftiga och brännbara kemikalier i RID-klass 2, sannolikheten för utsläpp och sannolikheten för antändning.

Sannolikheten för utsläpp styrs av om tanken är tunnväggig eller tjockväggig samt vid vilken hastighet som olyckan sker. Vid järnvägsolycka är sannolikheten för läckage för tunnväggiga tankar 0.3. För tjockväggiga tankar är motsvarande sannolikhet 0.02.

Massexplosiva ämnen detonerar med en viss sannolikhet i fall de utsätts från våldet av en olycka. Utsläpp av brännbar gas resulterar i ett antal olika konsekvenser beroende på när antändning sker. Samma sak gäller för utsläpp av brandfarlig vätska. I tabell nedan anges fördelningen mellan olika utfall.

Tabell 4.2 Fördelning mellan olika utfall³⁴⁵.

Konsekvenser		Järnväg
Klass 1.1	Detonation	0.04
	Ingen antändning	0.96
Klass 2 Brännbar	UVCE	0.50
	BLEVE	0.01
	Jetflamma	0.19
	Ingen antändning	0.30
Klass 3 Brandfarlig	Pölbrand - omedelbar	0.20
	Pölbrand - fördröjd	0.10
	Ingen antändning	0.70
Klass 3 Giftig	Pölbrand - omedelbar	0.20
	Pölbrand - fördröjd	0.10
	Ingen antändning	0.70

Det är nu möjligt att beräkna sannolikheten för de dimensionerande scenarierna i Tabell 4.1.

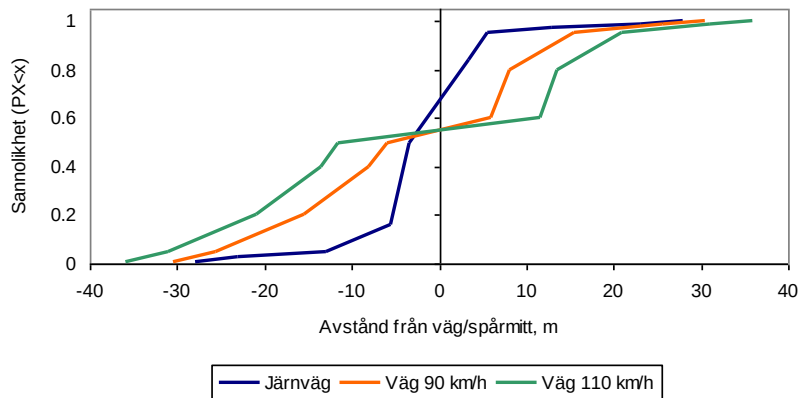
³ Purdy, G., *Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail*, Journal of Hazardous Materials, 33, pp 229-259, 1993

⁴ CPQRA, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989

⁵ Fredén, S., *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*, Rapport 2001:5, Miljösektionen, Banverket, 2001

B4.3 Avåkning

En betydelsefull parameter för beräkning av riskavståndet är hur långt från transportleden som olyckan sker. Figur 4.1 visar den fördelning av avåkningssträcka som använts vid beräkningarna.



Figur 4.1 Fördelning för avåkningssträcka.

Fördelningen för järnväg bygger på information från Fredén⁶. För Marieholmsbron förväntas sannolikheterna se något annorlunda ut, dock har ingen korrigering gjorts då underlag saknas för entydig bedömning.

⁶ Fredén, S., *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*, Rapport 2001:5, Miljösektionen, Banverket, 2001

B5 Konsekvenser av olyckor

Nedanstående är information om hur skadeverkan av olika klasser av farligt gods beräknas.

B5.1 Modeller

B5.1.1 Explosion

Värmestrålning

Beräkning av konsekvensen av en explosion följer en modell redovisad av Carlsson⁷.

Laddningens totala energiinnehåll beräknas:

$$E = \frac{\Delta H}{M} m$$

där

E = Laddningens totala energiinnehåll, J

ΔH = reaktionsentalpi, J/mol

M = molmassa, kg/mol

m = Explosivämnesvikten, kg

Eldklotets varaktighet beräknas:

$$t = 0.3m^{1/3}$$

där

t = eldklotets varaktighet, s

Mottagen strålning beräknas för olika avstånd enligt nedan. Det antas att 50 % av energin blir strålning och resterande del tryckvåg.

$$Q = \frac{E}{2} 4\pi r^2$$

där

Q = mottagen energi, J/m²

r = avstånd från laddningens centrum, m

Överslagsberäkningar visar att det är strålningen som är den dominerande konsekvensen vid explosion för de som vistas utomhus. Eventuella tryckskador på människor uppkommer på avstånd 50-60 m.

⁷ Carlsson, T., *Explosivämneskurs. Konsekvenser/Risikanalyt*, kompendium i explosivämneskunskap, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, 1998

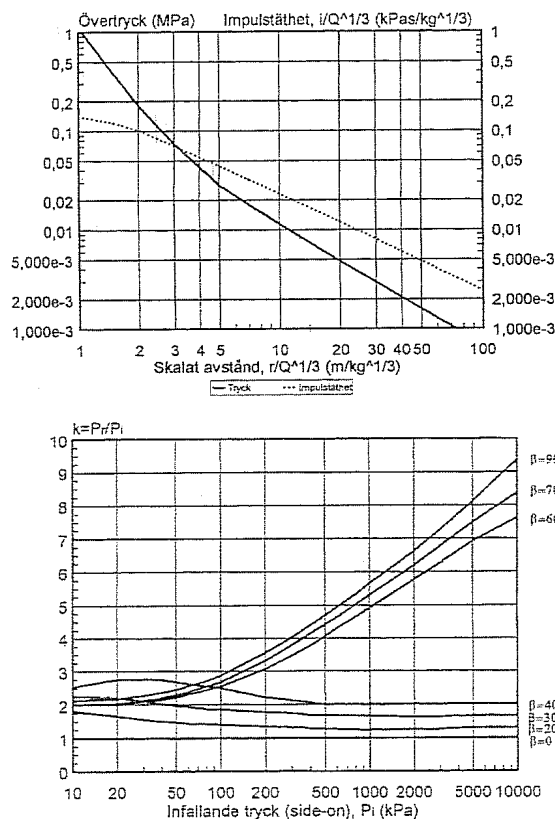
Tryck

Beräkning av tryck och impulstäthet utförs enligt nedanstående metodik:

- Inledningsvis beräknas laddningsvikten, vilken är 1.8 ggr större än massan explosivämne om explosionen sker i marknivå. Detta beror på en spegling av trycket. 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 5.1 kan det infallande fria trycket på ett givet avstånd beräknas. Det fria trycket används sedan för att uppskatta skador på människor och egendom.
- Med hjälp av infallande tryck kan det reflekterande trycket beräknas. Byggnader raseras om:

$$I_c/I_+ + P_c/P_+ < 1,$$

där I_c och P_c är karakteristiska värden för en viss byggnadstyp. I_+ och P_+ hämtas från Figur 5.1.



Figur 5.1 Maximalt övertryck och impulstäthet respektive kvot mellan reflekterat- och infallande tryck.

B5.1.2 Förångning

Förångningsmodellen används för att uppskatta källstyrkan ifrån en pöl av giftig vätska. Följande uppsättning ekvationer från Andersson⁸ kan användas för att beräkna förångningshastigheten av vätskor med kokpunkt över omgivningens temperatur.

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

$$B = \left(Y_{F_\infty} - Y_{FW}\right) / \left(Y_{FW} - Y_{FR}\right)$$

$$Re = u \cdot D / \nu$$

$$Nu = 0.037 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr_{luft}^{1/3}$$

$$h = Nu \cdot k_{luft} / D$$

$$\dot{m}_s = \left(h / C_{P_{luft}}\right) \cdot \ln(1 + B)$$

där

Y_{FW} = Massfraktion bränsle vid ytan i gasfas

Y_{F_∞} = Massfraktion bränsle i luften ovanför bränsleytan

Y_{FR} = Massfraktion bränsle i vätskepoolen

p = Lufttryck = 760 mm Hg

p_F = Ångtryck för bränsle i mm Hg

M_{luft} = Molekylvikt för luft = 28.85 g/mol

M_F = Molekylvikt för bränsle i g/mol

B = Dimensionslöst masstranporttal

Re = Reynolds tal, dimensionslöst

Nu = Nusselts tal, dimensionslöst

Pr_{luft} = Prandtls tal för luft, dimensionslöst = 0.71

u = Vindhastighet, m/s

D = Pölens diameter, m

⁸ Andersson, B., *Introduktion till konsekvensberäkningar, några förenklade typfall*, Institutionen för Brandteknik, Lunds universitet, Lund, 1992

ν = Kinematisk viskositet för luft = $15.08 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

h = Konvektivt värmeövergångstal, $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

k_{luft} = Konduktivitet för luft = $0.02568 \text{ W}/\text{mK}$

$\dot{m}''_s$ = Massflöde från ytan, $\text{g}/\text{m}^2\text{s}$

$C_{p_{\text{luft}}}$ = Värmekapacitet för luft = $1 \text{ J}/\text{gK}$

Efter att massflödet från ytan har beräknats kan den totala förångningshastigheten uppskattas med kännedom om pölens yta. Det är även möjligt att beräkna hur lång tid det tar för hela pölen att förångas. Förångningshastigheten används sedan som indata till spridningsmodellen.

B5.1.3 Källstyrka vid utsläpp

Källstyrkan $\dot{Q}_t$ för tryckkondenserade gaser beräknas med följande uttryck.

$$\dot{Q}_t = C_d \cdot A \left(2 \cdot (P_0 - P_a) / \nu_f \right)^{0.5}$$

där

C_d = Flödeskoefficient

A = Hålärea [m^2]

P_0 = Trycket i tanken [Pa]

P_a = Atmosfärstrycket [Pa]

ν_f = Specifik volym i vätskefas [m^3/kg]

B5.1.4 Spridning i luft

Modellen för spridning i luft kan användas för att beräkna konsekvenserna av giftiga vätskor, toxiska gaser, gasmolnsexplosioner (UVCE). Spridningsmodellen ger koncentrationen av gas på ett givet avstånd från utsläppspunkten. Beräkning sker enligt Fischer m fl⁹.

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

där

$X(x, y, z)$ = Koncentrationen på avståndet x , y och z [kg/m^3]

⁹ Fischer, S. m fl, *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1997

Q = Utsläppets källstyrka [kg/s]

σ_y, σ_z = Dispersionskoefficienter i sid- och höjddled

u = Vindhastigheten [m/s]

H = Utsläppets höjd [m]

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

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

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

där a , b , och γ är parametrar som beror på rådande stabilitet; x_{y0} och x_{z0} är avstånden till de virtuella källor, dvs de koordinatförskjutningar som är nödvändiga för att plumen 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 både K_{rp} och $K_{yt} = 1$.

Tabell 5.1 Värde på konstanter för respektive stabilitetsklass, bebyggt område.

Stabilitet	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} .

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

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

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

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

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

σ_{y0} och σ_{x0} är de initiala dispersionskoefficienterna, vilka väljs utifrån schablonvärden.

B5.1.5 BLEVE

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

$$R_{s,50} = \sqrt{\tau \cdot \overset{\bullet}{q}_{r.} \cdot D^2 / (\overset{\bullet}{q}_{x.} \cdot 4)} \cdot D / 2$$

där

$R_{s,50}$ = Riskavstånd inom vilket risken för dödlighet är 50% [m].

τ = Andel av strålning som transmitteras genom luften

$\overset{\bullet}{q}_{r.}$ = Avgiven strålning [kW/m²]

D = Eldklotets diameter [m]

$\overset{\bullet}{q}_{x.}$ = Kritisk strålningsintensitet per ytenhet [kW/m²]

Den kritiska strålningsintensiteten, $\overset{\bullet}{q}_{x.}$, har beräknats genom följande probitfunktion hämtad från CPR 16E¹⁰:

$$Pr = a + b \ln(tq^{4/3})$$

¹⁰ CPR 16E, *Methods for the determination of possible damage*. Committee for the prevention of disasters, The Netherlands, 1992

där

Pr = Probitvärdet. Antar värdet 5 vid 50 % dödsfall i populationen.

a, b = Konstanter beroende av vilken skadenivå som avses (se Tabell 5.2)

t = Exponeringstid [s]

q = Kritisk strålningsintensitet [W]

Tabell 5.2 Konstanterna a och b i probitfunktionen.

Skadenivå	a	b
2:a gradens brännskada	-43.14	3.02
Dödsfall	-36.38	2.56

B5.1.6 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.

$$R_{s,50} = 1,9 \cdot t^{0,4} \cdot \dot{Q}_t^{0,47}$$

där

$$\dot{Q}_t = \text{Utsläppshastighet [kg/s]}$$

$$t = \text{Exponeringstid [s]}$$

$$R_{s,50} = \text{Riskavstånd, i sidled, inom vilket risken för dödlighet är 50\% [m].}$$

B5.1.7 Pölbrand

Riskavståndet beräknas enligt följande formel.

$$R_{s,50} = \sqrt{\frac{\chi_r \cdot \dot{Q}}{4\pi q_{x_r}}}$$

Där

$$R_{s,50} = \text{Riskavstånd inom vilket risken för dödlighet är 50\% [m].}$$

$$\chi_r = \text{Strålningsandel}$$

$$\dot{Q} = \text{Brandeffekt [kW]}$$

$\dot{q}_x$ = Kritisk strålningsintensitet per ytenhet [kW/m²]

Den aktuella brandens effekt, $\dot{Q}$, beräknas enligt följande formel från Karlsson m fl¹¹.

$$\dot{Q} = \dot{m} \Delta h_c A_p$$

där

$\dot{m}$ = Förbränningshastighet per ytenhet [kg/(s·m²)]

Δh_c = Effektivt förbränningsvärme [MJ/kg]

A_p = Pölens area [m²]

B5.1.8 Stänk

Vid utsläpp av frätande vätskor uppkommer stänk. Omfattande exponering av stänk kan ge dödliga skador på 5-20 m avstånd.

B5.2 Beräkningar

B5.2.1 Indata

I nedanstående tabeller ges väsentlig indata.

Tabell 5.3 Generella indata till konsekvensberäkningarna

Variabel	Enhet	Värde
Hålstorlek, tjockväggig	[m ²]	Kumul (8e-5,1e-2,{8e-5,7e-4,1e-2},{0.625,0.833,1})
Hålstorlek, tunnväggig	[m ²]	Kumul (8e-5,1e-2,{8e-5,7e-4,1e-2},{0.375,0.625,1})
Atmosfärstryck	[Pa]	101325
Flödeskoefficient	[-]	Likformig (0.65,0.80)
Exponeringstid, strålning	[min]	30
Exponeringstid, strålning	[s]	30
Höjd på vätskepelare	[m]	Likformig (1,2)
Tyngdaccelerationen	[m/s ²]	9.81

Exponeringstiderna har valts utifrån ett rättighetsperspektiv där även personer med funktionsnedsättning skall ha möjlighet att sätta sig i säkerhet. Exponeringstiderna ligger i linje med de som redovisas i CPR 18E¹².

¹¹ Karlsson, B., Quintiere, J.G., *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press, London, 2000

¹² Committee for the prevention of disasters, *CPR 18E, Guidelines for quantitative Risk analysis*, 1999

Tabell 5.4 Ämnesspecifika indata.

Variabel	Enhet	Propylen-oxid	Dimetyl-sulfat	Svavel-dioxid	Gasol	Bensin
Molvikt	[g/mol]	58.1	126	64	76.53	
Dödlighet	[mg/m ³]	1000	185	2250	10870	
Densitet vätska	[kg/m ³]	830	1330	1460	605	7502
Utsläppt mängd	[ton]	15-25	15-25	15-25	15-25	15-25
Förbränningsvärme	[kJ/kg]	34845	-	-	46000	45000
Strålningsandel	[-]	0.303	-	-	0.3	0.14
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

Tabell 5.5 Indata för trotyl.

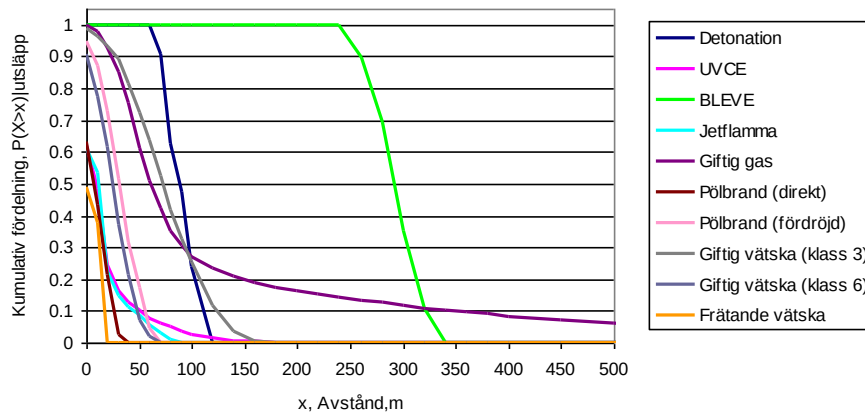
Variabel	Enhet	Värde
Värmevärde	[MJ/kg]	5.42
Massa	[kg]	Likformig (10000,15000) för väg Likformig (15000, 25000) för järnväg
Hustyp	[-]	Betong, 20 cm ytterväggar
P _c , I _c	[kPa]	200, 2.5

B5.2.2 Resultat

Konsekvensberäkningarna har simulerats med 10 000 iterationer i riskanalysverktyget @RISK¹³, för att säkerställa att all variation har beaktats. De flesta ingående variabler och andra förutsättningar har tilldelats statistiska fördelningar i stället för att representeras av en punktskattning.

För varje iteration väljs vilka indata som skall användas för denna specifika beräkning. Konkret innebär det att varje beräkning omfattar ett specifikt värde på tidpunkt, atmosfärsförhållanden, vindriktning, vindhastighet, utsläppsstorlek, etc. För varje iteration beräknas sedan de olika scenarierna som kan uppkomma vid utsläpp av farligt gods. Information om sannolikheter och riskavstånd lagras. När samtliga iterationer är slutförda kan resultatet i form av riskavstånd redovisas. Riskavstånden givet olycka till 50 % dödlighet visas i Figur 5.2.

¹³ @RISK, Palisade Corp., 2000



Figur 5.2 Riskavstånd vid olycka med farligt gods. Gäller givet att olycka inträffar.

Figur 5.2 visar att de flesta scenarier har konsekvenser som understiger 60 m.

Hänsyn är ej taget till eventuell skärmande bebyggelse.

B5.3 Beräkning av risk

Riskavstånd kan tillsammans med olycksfrekvensen och den relativa sannolikheten för respektive scenario omvandlas till individrisk samt samhällsrisk.



TRAFIKVERKET

Trafikverket, 781 89 Borlänge, Besöksadress: Rödavägen 1
Telefon : 0771-921 921, Texttelefon: 0243-795 90

www.trafikverket.se