

Risicanalys tågtunnel

- Analys av riskpåverkan på innevånarna i Örnköldsvik från Botniabanans tågtunnel genom Örnköldsviks stad

Ville Väilä

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5058, Lund 2000

SAMMANFATTNING

Denna riskanalys är utförd för Räddningstjänsten i Örnsköldsvik, i kursen Problembaserad brandteknisk riskhantering, 10 poäng, på Brandingenjörslinjen i Lund. Rapporten belyser riskerna av farligt godstransporter i tågtunnlar med mynningar i tätbefolkade områden. Dessa risker accentueras då Banverket bygger en tågförbindelse, Botniabanan, mellan Härnösand och Umeå. I Örnsköldsvik kommer nämligen Botniabanan att passera staden genom en tunnel med ena mynningen i stadens centrala delar. Rapporten visar att risken för stadens innevånare är hög vid en sådan lösning. Analysen är genomförd genom verifierade statistiska indata och sannolikhet och konsekvens har vägts samman för att finna risknivån för objektet. Rapporten diskuterar vilka åtgärder som kan genomföras för att minska eller eliminera risker.

Denna analys är genomförd som en probabilistisk riskvärdering med samhällsrisk uttryckt i antal omkomna per år.

Den totala risken, samhällsrisk, för innevånarna i Örnsköldsvik uppgår i denna analys till $1,4 \cdot 10^{-3}$ omkomna*år⁻¹. Enligt internationella acceptanskriterier innebär detta en risk som bör åtgärdas. Risken överstiger Den Norske Veritas förslag för accepterad risk, $1,0 \cdot 10^{-4}$ omkomna*år⁻¹.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | BAKGRUND | 3 |
| 1.1 | SYFTE | 3 |
| 1.2 | PROBLEMOMRÅDE | 3 |
| 1.3 | INTRÄFFADE HÄNDELSER | 4 |
| 1.3.1 | KÄLARNEOLYCKAN | 4 |
| 1.3.2 | OLYCKAN I TAUERTUNNELN | 5 |
| 1.4 | ANSVARsomRÅDEN | 6 |
| 2 | METODIK | 7 |
| 2.1 | RISKBEGREPPET | 7 |
| 2.1.1 | DETERMINISTISK RISKVÄRDERING | 7 |
| 2.1.2 | PROBABILISTISK RISKVÄRDERING | 8 |
| 2.2 | OBJEKTIVITET OCH OPARTISKHET | 10 |
| 3 | OMFATTNING | 11 |
| 3.1 | SYSTEMBESKRIVNING | 11 |
| 3.1.1 | TRAFIKINTENSITET | 12 |
| 3.1.2 | TEKNISK STANDARD | 13 |
| 3.2 | OLYCKSFLÖDE | 13 |
| 3.3 | OSÄKERHETER | 14 |
| 3.4 | BEGRÄNSNINGAR | 15 |
| 4 | OLYCKSORSAKER | 16 |
| 4.1 | BRAND | 16 |
| 4.1.1 | FREKVENSBEDÖMNINGAR | 16 |
| 4.2 | URSPÅRNING | 16 |
| 4.2.1 | FREKVENSBEDÖMNINGAR | 16 |
| 4.3 | KOLLISION | 17 |
| 4.3.1 | FREKVENSBEDÖMNINGAR | 17 |
| 5 | KONSEKVENSER | 19 |
| 5.1 | BRAND | 19 |
| 5.1.1 | SANNOLIKHETER FÖR BRAND I FARLIGT GODSTÅG I TUNNEL | 20 |
| 5.1.2 | KONSEKVENSER AV BRAND I ETT FARLIGT GODSTÅG I TUNNEL | 20 |
| 5.2 | URSPÅRNING | 22 |
| 5.2.1 | SANNOLIKHETER FÖR URSPÅRNING AV FARLIGT GODSTÅG I TUNNEL | 22 |
| 5.2.2 | KONSEKVENSER AV URSPÅRNING AV TÅG MED FARLIGT GODSTÅG | 22 |

| | |
|--|-----------|
| 5.3 KOLLISION | 26 |
| 5.3.1 SANNOLIKHETER FÖR KOLLISION MED FARLIGT GODSTÅG I TUNNEL | 26 |
| 5.3.2 KONSEKVENSER AV KOLLISION MED TÅG MED FARLIGT GODSTÅG | 26 |
| 6 PÅVERKAN | 30 |
| 6.1 KLASS 1, EXPLOSIVA ÄMNEN | 30 |
| 6.2 KLASS 2, KONDENSERADE BRÄNNBARA GASER | 31 |
| 6.2.1 JETFLAMMA | 31 |
| 6.2.2 GASMOLN | 31 |
| 6.2.3 BLEVE | 32 |
| 6.3 KLASS 2, KONDENSERADE GIFTIGA GASER | 33 |
| 7 RISKVÄRDERING | 34 |
| 7.1 EXPLOSION | 34 |
| 7.1.1 SANNOLIKHET FÖR EXPLOSION | 34 |
| 7.1.2 KONSEKVENSER AV EXPLOSION | 34 |
| 7.1.3 RISK AV EXPLOSION | 34 |
| 7.2 JETFLAMMA | 35 |
| 7.2.1 SANNOLIKHET FÖR JETFLAMMA | 35 |
| 7.2.2 KONSEKVENSER AV JETFLAMMA | 35 |
| 7.2.3 RISK AV JETFLAMMA | 35 |
| 7.3 GASMOLN | 35 |
| 7.3.1 SANNOLIKHET FÖR GASMOLN | 35 |
| 7.3.2 KONSEKVENSER AV GASMOLN | 36 |
| 7.3.3 RISK AV GASMOLN | 36 |
| 7.4 BLEVE | 36 |
| 7.4.1 SANNOLIKHET FÖR BLEVE | 36 |
| 7.4.2 KONSEKVENSER AV BLEVE | 37 |
| 7.4.3 RISK AV BLEVE | 37 |
| 7.5 GIFTMOLN | 37 |
| 7.5.1 SANNOLIKHET FÖR GIFTMOLN | 37 |
| 7.5.2 KONSEKVENSER AV GIFTMOLN | 38 |
| 7.5.3 RISK AV GIFTMOLN | 38 |
| 7.6 SAMMANVÄGD RISKVÄRDERING | 38 |
| 8 SLUTSATS | 39 |
| 9 DISKUSSION | 40 |
| 9.1 SÄKERHETSHÖJANDE ÅTGÄRDER | 40 |
| 9.1.1 HASTIGHET | 40 |
| 9.1.2 SPRINKLER | 40 |
| 9.1.3 RÄDDNINGSTJÄNSTENS INSATSMÖJLIGHETER | 40 |
| 9.1.4 RESECENTRUM | 40 |

1 BAKGRUND

1.1 Syfte

Denna rapport genomförs som ett projektarbete vid Brandingenjörslinjen, Lunds tekniska högskola. Arbetet motsvarar 10 högskolepoäng. Projektarbetets mening är att knyta samman och tillämpa förvärvade kunskaper från tidigare studier.

Rapportens syfte är att identifiera, undersöka och minimera riskkällor avseende Botnibanans sträckning genom Örnsköldsviks stad enligt alternativ V3.

1.2 Problemområde

Rapporten kommer att behandla problematiken med en tågtunnel under Örnsköldsviks stad med den nya Botniabanan, en tågförbindelse mellan Härnösand och Umeå. Olika förslag har diskuterats ¹ under benämningarna V1 – V6. En sträckning enligt alternativ V3 är ur ett samhällsekonomiskt perspektiv det mest gynnsamma alternativet ². Detta alternativ har dock flera säkerhetsmässiga problem som måste beaktas för att passagerare, personal och kommuninnevånare inte utsätts för oskäligt stora risker. Analysen kommer endast att beröra sträckningen enligt alternativ V3.



Bild 1, Botniabananans sträckning

En grovanalys av detta projekt visar att riskerna är omfattande och varierande:

- Sträckningen går rakt igenom kommunens mest tätbefolkade område: Örnsköldsviks centrum.
- Ett resecentrum kommer att delvis utbreda sig in i tunnelns södra tunnelöppning.
- Ett ev. stickspår i tunneln kan komma att användas för att styra om godstrafik.
- Tunnelöppningarna kommer att hamna i centrala delar av staden.
- Ett avsnitt av sträckningen genom staden kommer att dras ovan mark.
- En del av sträckningen ovan mark kommer att dras över en landbro.

Örnsköldsviks kommun är en kommun med stort risktänkande. Därför är det av stort intresse att undersöka denna nytillkomna risk i kommunen.

1.3 Inträffade händelser

Sverige har varit förskonat från allvarliga tågtunnelolyckor under de 30 senaste åren. Vidare har inga tågtunnelolyckor med farligt gods inträffat i världen under de 30 senaste åren. Dock har farligt godsolyckor/tillbud på järnväg och farligt godsolyckor i vägtunnlar inträffat. Två av dessa redovisas nedan.

- Ursparningen av ett farligt godståg i Kälarne, sommaren 1997
- Branden i Tauerntunneln, Österrike, sommaren 1999

1.3.1 Kälarneolyckan

Ett 600 meter långt tågset med 37 vagnar med bla farligt gods är på väg norrut mot Skellefteå och Örnsköldsvik. De 13 sista vagnarna spårar ur 3 km söder om Kälarne by. Av dessa har två vagnar 50 ton Ammoniak respektive Etylenoxid. Ammoniak och Etylenoxid är mycket giftiga gaser. Dessutom är Etylenoxid mycket brandfarligt. Vidare är en urspårade vagn fylld med Acetaldehyd, en brandfarlig vätska. Ingen av vagnarna brister eller skadas vid ursparningen så att gas eller vätska läcker ut. Räddningsledningen beslutar att lyfta upp de urspårade vagnarna på spåret. Inför dessa lyft evakueras Kälarne by p.g.a. risken för tankhaveri. Räddningsledningen bedömde alltså att ett riskavstånd på 3 km behövdes vid detta arbete. Räddningsarbetet förlöpte utan komplikationer och inga människor skadades i olyckan.⁸

Både Etylenoxiden och Ammoniaken var på väg till Örnsköldsvik och kommer att transporteras på Botniabanan. Vad hade inträffat om olyckan skett i anslutning till Örnsköldsviks stad? Ett riskavstånd på 3 km i Örnsköldsvik omfattar 20-30 000 människor. Hur fort kan dessa utrymma?

1.3.2 Olyckan i Tauerntunneln

Följande är ett referat av Anders Bergqvist, Stockholms brandförsvär²³.

Tauerntunnel är en 6,4 km lång vägtunnel. Tunneln är av enkelrörstyp, med mötande trafik i samma tunnelrör utan någon fysisk åtskillnad mellan vägbanorna.

Vid tidpunkten för olyckan, den 29 maj 1999, pågick det reparationsarbeten inne i tunneln. Reparationsarbetena medförde att ett av de båda körfälten var avstängt. För att hantera trafiken i båda körriktningarna så slussades trafiken förbi det avstängda området med hjälp av trafikljus och enkelriktad trafik.

Begränsningen av trafikflödet resulterade i en lång köbildning på norra sidan av tunneln. Vid olyckstillfället, cirka klockan 04.50, befinner sig en lastbil i sydgående riktning precis innan trafikljuset i tunneln, cirka 1 000 meter ifrån den norra tunnelöppningen. Bakom denna finns personbilar och fler lastbilar, en lastad med sprayburkar och lack. När trafikljuset slår om ifrån grönt till rött och den första lastbilen stannar, stannar även personbilarna bakom, men en lastbil bakom dessa uppmärksammar inte stoppet och trycker ihop personbilarna mot den första lastbilen. Resultatet av detta blir bland annat att en av personbilarna började att brinna.

Branden skapade en snabb rökutveckling som snabbt började rökfylla olycksplatsen och tunneldelarna norr om olycksplatsen på grund av den sydliga vindriktningen.

Brandförsvaret mötte vid framkomsten till norra tunnelöppningen en stor mängd folk som utrymt ur tunneln och befann sig i någorlunda säkerhet utanför tunnelöppningen. Vid framkomsten fattade brandförsvaret beslutet att försöka släcka initialbranden och påbörjade en framkörning in i tunneln mot brandplatsen. Denna räddningsinsats avbröts innan brandpersonalen nått brandplatsen och brandpersonalen retirerade ur tunneln.

Vad som troligen inträffade inne i tunneln är att den ursprungliga branden ökade i intensitet och branden spred sig först till de bilar som hade krockat och sedan vidare till övriga bilar. Branden omfattade ett område på cirka 500 meter. Detta område sträckte sig i princip ifrån krockplatsen och 500 meter norrut.

Branden i tunneln resulterade i att 12 människor dog, 50 personer skadades svårt och 30 personer skadades lindrigt. 12 lastbilar och 22 personbilar brann upp. Innertaket rasade ner på vissa delar i den olycksdrabbade tunneln.

Olyckan visar svårigheten för räddningstjänsten att släcka en omfattande brand i en enkelrörstunnel. Brandbelastningen i Tauernoluckan kan jämföras med ett godståg i Botniabanutunneln. En sådan brand kan sannolikt inte räddningstjänsten i Örnsköldsvik släcka. Vad innebär detta om farligt gods finns med på tåget?

1.4 Ansvarsområden

Banverket har det samlade ansvaret för säkerhet vid järnvägstunnlar. Detta fastslås i "Järnvägssäkerhetslagen" ³. Tillsyn för att lagen efterlevs ombesörjs av Järnvägsinspektionen. Ansvaret för tunnel och bana är direkt kopplad till Banverket.

Operatören, i detta fall SJ, ansvarar för den rullande materielen.

Räddningstjänsten kan påverka utformningen av systemet genom Räddningstjänstlagen ⁴. Räddningstjänsten har också ansvaret vid räddningsarbetet vid olyckor som drabbar systemet.

Enligt Banverket har räddningstjänsten ansvaret för beredskap för "yttre assistans" ⁵. Detta ska genomföras som en förebyggande insatser såsom: urval av personal, utbildning, resursplanering, organisation, resurser, övningar mm.

För att erhålla optimal säkerhet för systemet sker samråd mellan Banverket, Järnvägsinspektionen, SJ och den kommunala räddningstjänsten.

2 METODIK

Arbetet med denna rapport har föregåtts av en litteraturstudie. En avvägning har sedan gjorts för att finna en lämplig arbetsmetod.

Detta arbete visar en delvis ny metodik för att finna sannolikheter för tågolyckor i tunnlar. En korrelation mellan urspårningsspridning och skada på vagnar introduceras under kapitel 5.2, "Konsekvenser av urspårning", i denna analys.

Sannolikhet och konsekvens vägs samman för att finna risknivån för objektet. Vidare diskuteras vilken risknivå som är acceptabel från samhällets sida. Slutligen berörs vilka åtgärder som kan genomföras för att minska eller eliminera riskerna.

Olika riskanalyser av Botniabaneprojektet är utförda och kommer att utföras av inblandade aktörer⁶. Banverket genomför en översiktlig riskanalys av hela Botniabaneprojektet. Banverkets riskanalysarbete inriktas till stor del på resande och personal på tågen.

Denna rapport är koncentrerad till en begränsad sträckning och belyser kommunens riskpåverkan av denna sträckning.

2.1 Riskbegreppet

I denna rapport definieras riskbegreppet som ett uttryck för en värdering av sannolikhet och konsekvens av en oönskad händelse. Den totala risken kan beräknas genom multiplikation av sannolikhet och konsekvens eller genom en annan funktion, beroende vilken riskaversion som bestämts. För att kunna diskutera risker och riskreducerande åtgärder i samhällsplanering är det viktigt att väga samman såväl sannolikhet som konsekvens i riskarbetet.

Det finns i huvudsak två etablerade metoder för riskvärdering och för bestämmande av riskkriterier⁷.

- Deterministisk riskvärdering
- Probabilistisk riskvärdering

Denna rapport är utförd enligt en probabilistisk värdering.

2.1.1 Deterministisk riskvärdering

Värderingen utgår från de konsekvenser som uppstår vid en definierad olycka, till exempel "värsta tänkbara skadehändelse" eller "dimensionerande skadehändelse". Fördelen med en deterministisk analys är att den är relativt enkel att genomföra och ger ett enkelt och lättförståeligt resultat. Nackdelen med metoden är att orimligt stora resurser satsas på mycket osannolika händelser och/eller att kriterier för uppnådd risknivå inte kan bestämmas.

2.1.2 Probabilistisk riskvärdering

I den probabilistiska analysen uppskattas sannolikheten för att möjliga skadefall ska inträffa. Kombinerat med bedömningar av de konsekvenser som kan inträffa beräknas sannolikheten för en given typ av konsekvens, till exempel dödsfall, ska inträffa på olika avstånd från verksamheten.

Det finns två huvudsakliga kriterier som är intressanta ur riskhänseende:

- Individrisk
- Samhällsrisk

Vilka av dessa kriterier som användas beror på objektet som analyseras och vad som ska skyddas (enskilda individer eller befolkningsgrupper)

Individrisk

Individrisk undersöker risken för enskilda arbetare eller enskilda individer i samhället. Individriskkriterier används ofta för att försäkra sig om att enskilda individer inte utsätts för oacceptabelt stora risker. Denna uttrycks ofta som omkomna per år.

Samhällsrisk

Syftet med samhällsrisker är att begränsa risken för lokala områden eller städer. Samhällsriskkriteriet är särskilt viktigt för de situationer där riskerna inte belyses på individrisknivå, tex. transportaktiviteter, stora industrikomplex och riskbetonade verksamheter i närheten av stora befolkningskoncentrationer.

Samhällsrisk kan uttryckas i form av:

FN-kurvor som visar sambandet mellan den ackumulerade frekvensen och antal omkomna. **Antal omkomna per år** vilket innebär att förväntade frekvenser och konsekvenser i form av antal omkomna kombineras till ett tal, som uttrycker förväntat antal omkomna under ett år.

Denna analys är genomförd som en probabilistisk riskvärdering med samhällsrisk uttryckt i antal omkomna per år.

Accepterad risk

Sverige har idag ingen gräns för vilken nivå risker kan accepteras. Internationellt finns redan dessa nivåer. En arbetsgrupp i landet undersöker för närvarande möjligheterna att införa nationella riktlinjer för accepterad risk. Mycket tyder på att denna grupp följer Den Norske Veritas förslag om en risknivå på 10^{-4} döda*år⁻¹ med en viss riskaversion.

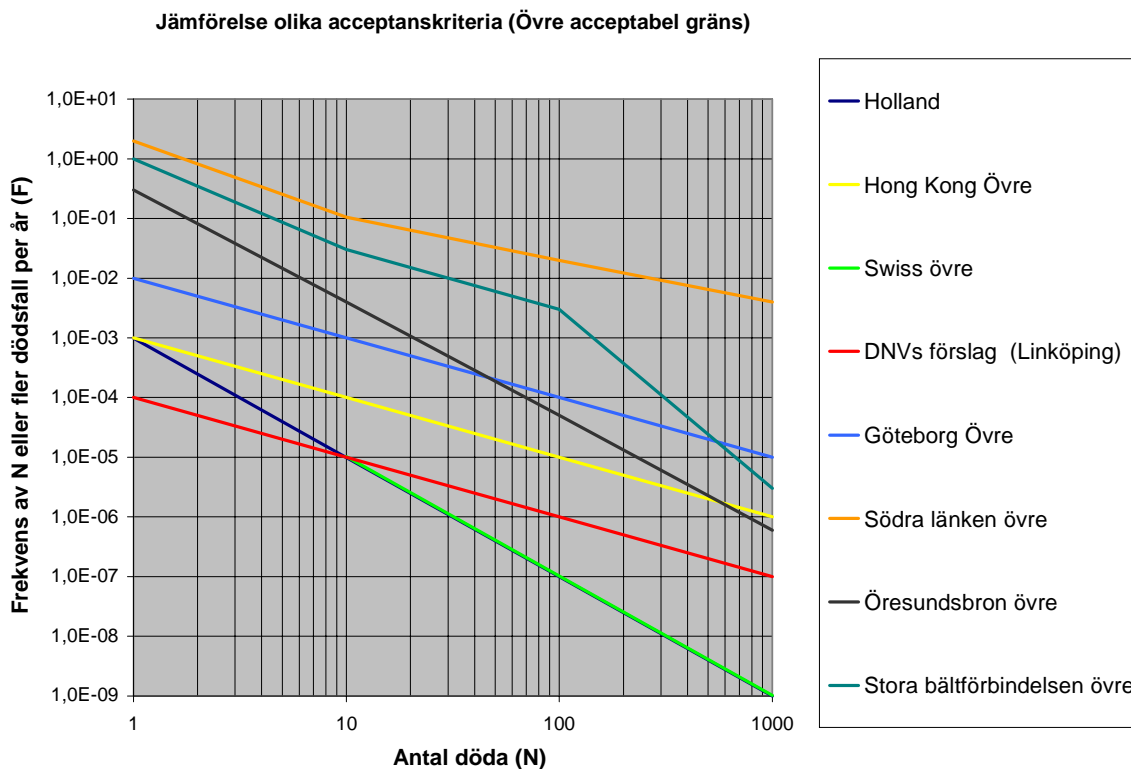


Bild 2, Sammanställning av acceptanskriteria.

2.2 *Objektivitet och opartiskhet*

Ett arbete bedöms ofta på dess objektivitet och opartiskhet.

För att säkerställa objektiviteten i arbetet med sannolikhetsberäkningar har, i möjligaste mån, statistiskt verifierade indata använts. Där ingen statistik funnits tillgänglig har ingenjörsmässiga bedömningar gjorts i samråd med handledare och sakkunniga. Vedertagna riskanalysmetoder har tillämpats, dock har vissa nyanserade tillämpningar gjorts för att visa hur konsekvensutfall kan bedömas från statistisk indata. Detta bl.a. för att visa vikten av utförlig och exakt statistikredovisning.

Opartiskheten av denna rapport bör kunna verifieras med hänsyn tagen till att författaren varken bor eller verkar i kommunen. Vidare finns ingen styrning från aktörernas sida beträffande val av ingångsparametrar eller önskat utfall av analysen. Det har heller inte utgått någon ekonomisk ersättning till författaren, förutom utlägg för resor. Slutligen kontrolleras rapporten av expertis inom området från brandtekniska institutionen vid Lunds tekniska högskola.

3 OMFATTNING

3.1 Systembeskrivning

Denna rapport behandlar riskerna i samband med en dragning av Botniabanan's sträckning genom Örnköldsviks centrum enligt alternativ V3. Rapporten kommer endast att beröra den del av sträckningen, V3, som berör Örnköldsviks stad, en 2 km lång tunnel under Örnköldsviks centrum med ett resecentrum i den södra tunnelmynningen.

Bild 3, Översiktsbild över södra tunnelmynningen

3.1.1 Trafikintensitet

Godstrafiken till och från Norrland kommer att trafikeras som en ringlinje. Stambanan kommer att användas för transporter norrut med, i huvudsak, tomma vagnar. Söderut kommer fulla godsvagnar att transporteras på Botniabanan. Botniabanan ska trafikera persontrafik i båda riktningarna.

Trafikvolym genom staden uppskattas av Banverket ¹ till 26 persontåg*dygn⁻¹ och ca 20 godståg*dygn⁻¹. Under helger kan antalet tåg förväntas uppgå till hälften. Godstågen förväntas vara mellan 30 – 40 vagnar långa. (Tåget som var inblandad i olyckan vid Kälarne hade 37 vagnar ⁸). Allt farligt gods fraktas på boogievagnar.

RNP ⁹ bedömer godstrafikvolymen år 2010 till 18-20 godståg dygn⁻¹ vilket väl överrensstämmer med Banverkets bedömning.

Enligt en samrådshandling av trafiken norr om Örnköldsvik ¹⁰ utgör farligt gods ca 4 % av det totala godsflödet. Om ett tågset av fyra har farligt gods, innebär detta att dessa tågset har 5 – 6 vagnar farligt gods. (Vid Kälarneolyckan fraktades 8 farligt godsvagnar ⁸) Fördelningen mellan olika ämnen, enligt samrådet, kommer att bli:

| | | |
|---------------------------|------|-----------------|
| Oljeprodukter | 35 % | ingår i klass 3 |
| Gasol | 20 % | ingår i klass 2 |
| Ammoniak och Svaveldioxid | 5 % | ingår i klass 2 |
| Frätande ämnen | 10 % | klass 8 |

Detta utgör ca 70 % av farligt godsflödet. Övriga produkter antas följa genomsnittet för landet. Riksgenomsnittet för övriga ämnen (klassvis) är:

| | |
|---|-------|
| Klass 1. Explosiva ämnen | 1-2% |
| Klass 4. Brandfarliga fasta ämnen | 5-10% |
| Klass 5. Oxiderande ämnen och organiska peroxider | 5-15% |
| Klass 9. Övriga farliga ämnen | 5-10% |

Övriga klasser har endast någon promilles andel av farligt godsflödet. Dessa behandlas ej i denna analys.

Denna analys utgår från följande farligt godsflöden:

| | |
|---|-----|
| Klass 1. Explosiva ämnen | 2% |
| Klass 2. Kondenserade brännbara gaser | 25% |
| Klass 2. Kondenserade giftiga gaser | 10% |
| Klass 3. Brandfarliga vätskor | 43% |
| Klass 4. Brandfarliga fasta ämnen | 5% |
| Klass 5. Oxiderande ämnen och organiska peroxider | 5% |
| Klass 8. Frätande ämnen | 10% |

3.1.2 Teknisk standard

Botniabanan kommer att byggas enligt spårtyp A, helsvetsad räls med betongslipers¹¹. Tunneln kommer att byggas 8 meter bred och ca 7 meter hög.

Bild 4, Typsektion bergtunnel

3.2 Olycksflöde

En olycka uppkommer då en rad oönskade omständigheter samverkar. Dessa går att beskriva, logiskt och i tidsföljd. I denna rapport kommer de olika stadierna i olycksflödet att definieras som:

Orsak –Konsekvens- Påverkan

där varje orsakssammanhang föregås av ett eller flera primärorsaker och utvecklas genom olika händelseförlopp till en primär- och/eller sekundärkonsekvens av olyckan. Konsekvenserna medför ofta en påverkan på omgivningen i form av person eller materiella skador.

Tre huvudgrupper av **orsaker** till olyckor på järnväg är enligt VTI^{18, 19, 20} Sparre¹²:

- Ursparningar
- Sammanstötning mellan två tåg eller mellan tåg och annat föremål
- Brand i lok och vagnar

Konsekvenser definieras som den direkta följdverkan av orsakshändelsen. Konsekvenserna kan vara:

- Tågsetets spridning från spåret
- Brandspridning i lok och vagnar
- Hål i eller påverkan av farligt godsvagnar
- Utsläpp eller reaktion av farligt gods

Med begreppet **påverkan** menas vilken effekt konsekvenserna medför på omgivningen.

Exempel på påverkan kan vara:

- Raserade byggnader
- Giftmolnets utbredning
- Jetflammans utbredning

3.3 Osäkerheter

- Det inte inträffat tågtunnelolyckor i landet under de 30 senaste åren. Detta medför att en rent statistisk analys inte kan genomföras. Detta medför att olycksflödets *konsekvens* inte kan verifieras statistiskt.
- Det har inte inträffat farligt godsolyckor i tågtunnlar i världen under de 30 senaste åren. Detta medför att olycksflödets *påverkan* inte kan verifieras statistiskt.
- De transporterade ämnenas, såsom t.ex. Gasols och Ammoniaks, beskaffenhet i tunnelolyckor är dåligt utredda.
- Tunnelolyckors påverkan på tunnelns omgivning runt mynningen är mycket dåligt utredda.

Indata till olycksflödets *orsak* är statistiskt signifikant beroende på en pålitlig statistikuppföljning inom branschen (VTI). Någon större osäkerhet i beräkningarna kan därför inte påvisas från denna faktor. För att kvantitativt kunna bedöma *konsekvensen* i olycksflödet måste en sammanvägning av statistisk indata och ingenjörsmässiga bedömningar göras. Detta medför att osäkerheten i utdata från denna del av olycksflödet är större än i begreppet *orsak*.

Vilken *påverkan* en orsak och konsekvens slutligen ger är mycket svårt, för att inte säga omöjligt, att förutse pga den stora variationen i utfallet. Detta medför att denna variabel ofta utelämnas i riskanalyser, där de endast redovisas beskrivande. För att erhålla en kvantitativ riskanalys måste dock även denna parameter beräknas. Ett sätt är att redovisa ett fåtal dimensionerande skadefall. För att forma dessa dimensionerande fall ska ingenjörsmässiga bedömningar av sannolikheter och konsekvenser vägas samman för varje enskild händelse.

För att erhålla en kvantitativ riskanalys måste ett numeriskt värde presenteras av påverkan av en olycka. Detta värde ska naturligtvis spegla en realistisk och trolig händelse. Att just denna händelse inträffar är, absurt nog, inte speciellt trolig då variationen av olyckor är oändlig. Därför måste denna dimensionerande händelse representera huvuddelen av olyckor inom samma område. Denna bedömning måste göras genom att ingenjörsmässigt applicera liknande och jämförbara undersökningar och statistik

3.4 Begränsningar

Som nämnts tidigare i rapporten begränsar sig risikanalysen till att betrakta dödsfall på individer utanför systemet. I analysdelen som omfattar transporter av farligt gods i tunnel, tillkommer ytterligare begränsningen att endast dödsfall behandlas. Således bortses från bland annat följande förhållanden:

- Risk för miljö
- Allmänhetens värderingar
- Kostnader för skador
- Sabotage
- Krig

4 OLYCKSORSAKER

4.1 Brand

Banverkets olyckskatalog⁵ redovisar brandorsaker. De vanligaste är:

- Eifel 30%
- Tjuvbroms 23% (bromsen ligger an när den inte borde göra det)
- Personal 9%
- Motorbrand 8%

4.1.1 Frekvensbedömningar

Enligt VTI^{18, 19, 20} och Sparre¹² har 113 tågbränder inträffat mellan åren 1985 - 1995.

- Frekvensen för brand : $1,0 \cdot 10^{-7}$ brand*tågkm⁻¹
- banlängd: 2 km
- antal tåg: 14 500 tåg*år⁻¹

Detta medför att sannolikheten för en brand inom aktuell sträckning är:

$$2 * 14\ 500 * 1,0 \cdot 10^{-7} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ händelse} \cdot \text{år}^{-1}$$

4.2 Ursparning

Banverkets olyckskatalog⁵ redovisar ursparningsorsaker. De vanligaste är:

- Personal 43%
- Fel på banan 30%
- Fel på rullande materiel 25%
- Samverkande orsaker 2%

4.2.1 Frekvensbedömningar

Enligt statistiska uppgifter, VTI^{18, 19, 20} och Sparre¹², har 431 ursparningar inträffat mellan åren 1985 - 1995.

Av dessa har 32 tåg sparat ut mer än 5 meter från spårmit

- Frekvensen för ursparning med godståg: $8,3 \cdot 10^{-7}$ ursparning*tågkm⁻¹
- banlängd: 2 km

- antal tåg: 14 500 tåg*år⁻¹

Detta medför att sannolikheten för en urspårning inom aktuell sträckning är:

$$2 * 14\,500 * 8,3 * 10^{-7} = 2,4 * 10^{-2} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}$$

Spridning över 5 meter från banchentrum sker vid 7 % av urspårningarna (32/ 431).

Detta medför:

$$0,07 * 2,4 * 10^{-2} = 1,7 * 10^{-3} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}$$

4.3 Kollision

Enligt Banverkets olyckskatalog⁵, finns följande kollisionsparametrar:

- Kollision tåg - tåg
- Kollision tåg - övrigt spårbundet
- Kollision tåg - tungt föremål
- Kollision tåg - övrigt föremål

Statistiska uppgifter finns för samtliga händelser. Konsekvenserna av en kollision mellan tåg och övrigt (lätta) föremål antas bli ringa och behandlas därför inte i denna analys.

VTI^{18, 19, 20} och Sparre¹² har också undersökt orsakerna till de inträffade kollisionerna.

- Sabotage
- Fel på bana
- Fel på rullande material
- Främmande föremål på banan

Noterbart är att 75% av orsakerna till kollision är den mänskliga faktorn. Till den mänskliga faktorn räknas bl.a. dålig samtalsdisciplin, föraren kört mot rött, för hög hastighet mm.

4.3.1 Frekvensbedömningar

Enligt statistiska uppgifter^{12, 18, 19, 20} har 141 kollisioner inträffat mellan åren 1985 - 1995.

- Frekvensen för kollision: $2,0 * 10^{-7}$ kollisioner*tågkm⁻¹
- banlängd: 2 km
- antal tåg: 14 500 tåg*år⁻¹

Detta medför att sannolikheten för en kollision inom aktuell sträckning är:

$$2 * 14\,500 * 2,0 * 10^{-7} = \mathbf{5,8 * 10^{-3} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}}$$

Spridning över 5 meter från bacentrum sker vid 5 % av kollisionerna (8/ 431).

Detta medför:

$$0,05 * 5,8 * 10^{-3} = \mathbf{2,9 * 10^{-4} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}}$$

5 KONSEKVENSER

5.1 Brand

Händelsesträd: se bilaga 1.

Tunnelsträckningen under Örnsköldsviks stad är av stort intresse beträffande brand. Förutom de vanliga riskerna som kan uppstå vid en brand i tunnel, tillkommer i detta fall följande risker:

- Stationsbyggnaden sträcker sig till viss del in i tunneln. Detta medför att en brand i tunneln kan påverka individer på perrongen och i övriga delar av stationsbyggnaden.
- Tunnelmynningarna är belägna inom tätbebyggt område. Detta kan medföra att brandgaser som ventileras ur tunneln påverkar mynningarnas omgivning.
- Räddningstjänstens angreppsvägar in i tunneln söderifrån begränsas av stationsbyggnadens placering i den södra tunnelmynningen.
- Från tunneln övergår sträckningen till en landbro över de södra delarna av staden. Detta kan försvåra räddningstjänstens insats vid en brand vid den södra tunnelmynningen.

Statistiska uppgifter kan användas för att uppskatta konsekvenserna av en brand. En uppdelning av konsekvenserna av bränderna är gjord av Banverket ⁵ enligt följande:

- Röskada
- Utbränd
- Delvis brandskada
- Vagn och last förstörd
- Last förstörd
- Skador på elanläggning
- Okänd konsekvens

Även en mindre brand kan få allvarliga konsekvenser i en tunnel eller vid en station. Lokföraren har därför instruktioner att, om möjligt, försöka få ut den brinnande vagnen. Lokföraren antas upptäcka branden vid nio bränder av tio och lyckas dra ut den brinnande vagnen ur tunneln.

Konsekvenserna av en brand i tunneln kommer i huvudsak att påverka resenärer, tåg- och räddningspersonal. Dessa konsekvenser bör och ska Banverket och SJ utreda och berörs därför ej i denna rapport. Påverkan av utventilerade brandgaser på omgivande aktiviteter runt tunnelmynningarna bör beaktas. Brandgaser från en tågbrand i tunneln bedöms dock ej medföra livshotande skador på människor i omgivningen.

Brand i ett farligt godståg kan däremot medföra stora konsekvenser och stor påverkan på omgivningen i Örnsköldsviks stad.

5.1.1 Sannolikheter för brand i farligt godståg i tunnel

- Sannolikheten för en brand inom aktuell sträckning: $2,9 \cdot 10^{-3}$ händelse*år⁻¹
- Brinnande tåg kvar i tunnel: 10% av bränderna
- 45% av tågen är godståg
- 25 % av godstågen medför farligt gods

Detta medför att sannolikheten för en brand i ett farligt godståg i tunneln är:

$$0,1 * 0,45 * 0,25 * 2,9 \cdot 10^{-3} = 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ händelse*år}^{-1}$$

5.1.2 Konsekvenser av brand i ett farligt godståg i tunnel

För räddningstjänsten är en tunnelbrand med farligt gods en mycket svår, komplicerad och ovanlig uppgift. Insattiden vid insatser med lång inträngningsväg är betydligt längre än vid standardbränder. Risken för övertändning av varma rökgaser torde också vara överhängande med tanke på den höga brandbelastningen på ett tågset. Det är mycket osannolikt att räddningstjänsten skulle försöka göra en släckinsats genom att skicka in rökdykare i denna miljö. Taktiken vid en sådan insats blir därför förmodligen rent defensiv. Dvs. utrymning och avspärrning av riskområden vid tunnelmyningarna. En brinnande vagn, som inte körs ut ur tunneln eller släcks i ett tidigt skede av tågpersonal eller fasta släcksystem, kommer med ovanstående resonemang att sprida sig till övriga delar av tågsetet, med påverkan av det farliga godset som följd.

Konsekvens för brand i farligt gods, klass 1: Explosiva ämnen

- 2% av farligt gods är klass 1.
- Sannolikheten för en brand i ett farligt godståg i tunneln är $3,3 \cdot 10^{-5}$ händelse*år⁻¹

Detta medför att sannolikheten för brandpåverkan av klass 1-gods i ett brinnande farligt godståg i tunneln är:

$$0,02 * 3,3 \cdot 10^{-5} = 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ händelse*år}^{-1}$$

Dimensionerande händelse för klass 1 är en explosion av 25 ton massexploderande explosivt ämne och beskrivs närmare i kap 6.1. Sannolikheten för denna händelse är satt till 0,5. Sannolikhetsbedömningen är en jämkning mellan en högre sannolikhet för explosion med mindre material och lägre sannolikhet för mycket stora mängder klass 1-ämne.

Detta medför att sannolikheten för dimensionerande händelse med klass 1-gods i tunneln, till följd av orsaken brand, är:

$$0,5 * 6,6 * 10^{-7} = \quad \quad \quad \mathbf{3,3 * 10^{-7} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}}$$

Konsekvens för brand i farligt gods, klass 2: kondenserade brännbara gaser

- 25% av farligt gods är klass 2.
- Sannolikheten för en brand i ett farligt godståg i tunneln är $3,3 * 10^{-5}$ händelse*år⁻¹

Detta medför att sannolikheten för brandpåverkan av klass 2-gods i ett brinnande farligt godståg i tunneln är:

$$0,25 * 3,3 * 10^{-5} = \quad \quad \quad \mathbf{8,3 * 10^{-6} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}}$$

Två dimensionerande händelser vid brandpåverkan av klass 2 är jetflamma och BLEVE. Dessa beskrivs närmare i kap 6.2. Bedömda sannolikheter, med kommentar, är

| | | |
|----------------|-----|--|
| Ingen påverkan | 50% | Tjockväggiga tankar - bra hållfasthet |
| Jetflamma | 40% | Flänsar, ventiler mm – svaga punkter |
| BLEVE | 10% | Stor värmepåverkan vid tågbrand i tunnel |

Detta medför att sannolikheten för dimensionerande händelser med klass 2-gods i tunneln, till följd av orsaken brand, är:

$$\begin{array}{ll} \text{Jetflamma} & 0,4 * 8,3 * 10^{-6} = \quad \quad \quad \mathbf{3,3 * 10^{-6} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}} \\ \text{BLEVE} & 0,1 * 8,3 * 10^{-6} = \quad \quad \quad \mathbf{8,3 * 10^{-7} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}} \end{array}$$

Konsekvens för brand i farligt gods, klass 2: kondenserade giftiga gaser

- 10% av farligt gods är klass 2.
- Sannolikheten för en brand i ett farligt godståg i tunneln är $3,3 * 10^{-5}$ händelse*år⁻¹

Detta medför att sannolikheten för brandpåverkan av klass 2-gods i ett brinnande farligt godståg i tunneln är:

$$0,1 * 3,3 * 10^{-5} = \quad \quad \quad \mathbf{3,3 * 10^{-6} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}}$$

Dimensionerande händelse för klass 2 är vätskeutsläpp av Svaveldioxid och beskrivs närmare i kap 6.1. Sannolikheten för denna händelse vid tunnelbrand är satt till 0,5.

Sannolikhetsbedömningen är en jämkning mellan sannolikheten för händelsen och konsekvensen med Svaveldioxidgas inblandad i de utventilerande brandgaserna (större spridning och större förångning).

Detta medför att sannolikheten för dimensionerande händelse med klass 2-gods i tunneln, till följd av orsaken brand, är:

$$0,5 * 3,3 * 10^{-6} = \quad \mathbf{1,7 * 10^{-6} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}}$$

5.2 *Urspårning*

Händelseträäd: se bilaga 2

En av variablerna för en urspårning är spridning av det urspårade tåget. Med detta menas hur långt från spårets mitt tåget maximalt hamnat efter en urspårning.

Skada på tåget av en urspårning kan relateras mot denna variabel - ju större spridning desto allvarligare skada. Som gräns för allvarlig skada har antagits 5 meters spridning. Detta grundas på att tunnelbredden är 8 meter. Tåget kan då slå mot tunnelväggen med risk för gnistbildning, demolering av vagnar eller haveri av farligt godsvagn som följd.

Vidare kan en stor spridning av ett urspårat tåg på en bro medföra att en vagn faller av bron. Ett sådant scenario på bron över Örnsköldsviks stad kan få förödande konsekvenser. Denna händelse berörs inte vidare i denna analys, men bör utredas.

5.2.1 Sannolikheter för urspårning av farligt godståg i tunnel

- Antalet urspårningar på aktuell sträckning med en spridning över 5 meter från banmitt är:
 $1,7 * 10^{-3}$ urspårningar*år⁻¹
- 45% av tågen är godståg
- 25 % av godstågen medför farligt gods

Detta medför att sannolikheten för ett farligt godståg att spåra ur, och slå mot väggen, i tunneln är:

$$0,45 * 0,25 * 1,7 * 10^{-3} = \quad \mathbf{1,9 * 10^{-4} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}}$$

5.2.2 Konsekvenser av urspårning av tåg med farligt godståg

Konsekvenserna av en urspårning beror mycket på vilken typ av ämne som spårar ur. Därför måste varje potentiellt farligt ämne analyseras för sig. Vid varje urspårning över 5 m från spårmitet slår vagnarna mot tunnelväggen. Detta kan skada vagnarna mekanisk eller orsaka brand genom friktionsvärme och gnistor. En urspårning av tio bedöms starta en brand. Bedömningen är osäker då ingen verifikation av denna indata finns.

En femtedel av tåget bedöms vara direkt inblandat i urspårningen. Olyckan i Kälarne spårade 10 av 37 vagnar ur (27%).

Konsekvenser av urspårning av farligt gods, klass 1: Explosiva ämnen

- 2% av farligt gods är klass 1
- Sannolikheten för en allvarlig urspårning (spridning över 5 m.) av ett farligt godståg i tunneln är $1,9 \cdot 10^{-4}$ händelse*år⁻¹
- 10% av urspårningarna bedöms starta brand

Detta medför att sannolikheten för brandpåverkan av klass 1-gods till följd av urspårning av ett farligt godståg i tunneln är:

$$0,1 * 0,02 * 1,9 \cdot 10^{-4} = \quad \mathbf{3,8 \cdot 10^{-7} \text{ händelse*år}^{-1}}$$

Dimensionerande händelse för klass 1 är en explosion av 25 ton massexploderande explosivt ämne och beskrivs närmare i kap 6.1. Sannolikheten för denna händelse är satt till 0,5. Sannolikhetsbedömningen är en jämkning mellan en högre sannolikhet för explosion med mindre material och mindre sannolikhet för mycket stora mängder klass 1-ämne.

Detta medför att sannolikheten för dimensionerande händelse med klass 1-gods i tunneln, till följd av orsaken urspårning, är:

$$0,5 * 3,8 \cdot 10^{-7} = \quad \mathbf{1,9 \cdot 10^{-7} \text{ händelse*år}^{-1}}$$

Konsekvenser av urspårning av farligt gods, klass 2: kondenserade brännbara gaser

- 25% av farligt gods är klass 2, kondenserade brännbara gaser
- Sannolikheten för en allvarlig urspårning av ett farligt godståg i tunneln är $1,9 \cdot 10^{-4}$ händelse*år⁻¹

Indirekt konsekvens

- 10% av urspårningarna bedöms starta brand.

Detta medför att sannolikheten för brandpåverkan av klass 2-gods till följd av urspårning av ett farligt godståg i tunneln är:

$$0,25 * 0,1 * 1,9 \cdot 10^{-4} = \quad \mathbf{4,8 \cdot 10^{-6} \text{ händelse*år}^{-1}}$$

Två dimensionerande händelser vid brandpåverkan av klass 2 är jetflamma och BLEVE. Dessa beskrivs närmare i kap 7.2. Bedömda sannolikheter, med kommentar, är

| | | |
|----------------|-----|--|
| Ingen påverkan | 50% | Tjockväggiga tankar - bra hållfasthet |
| Jetflamma | 40% | Flänsar, ventiler mm – svaga punkter |
| BLEVE | 10% | Stor värmepåverkan vid tågbrand i tunnel |

Detta medför att sannolikheten för dimensionerande händelser med klass 2-gods i tunneln, indirekt till följd av orsaken urspårning, är:

$$\begin{array}{ll} \text{Jetflamma} & 0,4 * 4,8 * 10^{-6} = \mathbf{1,9 * 10^{-6} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}} \\ \text{BLEVE} & 0,1 * 4,8 * 10^{-6} = \mathbf{4,8 * 10^{-7} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}} \end{array}$$

Direkt konsekvens

- 20% av tåget är direkt inblandad i urspårningen.

Den direkta påverkan kan dels innefatta värmepåverkan från friktion mellan vagn och tunnelvägg samt mekanisk skada av cistern på vagn.

Tre dimensionerande händelser vid urspårning av klass 2 är jetflamma, gasmolnexplosion och BLEVE. Dessa beskrivs närmare i kap 6.2. Bedömda sannolikheter, med kommentar, är

| | | |
|------------------|-----|---|
| Ingen påverkan | 49% | Tjockväggiga tankar - bra hållfasthet |
| Jetflamma | 40% | Utflödande gas antänds av gnistor eller värme |
| Gasmolnexplosion | 10% | Små hål, läckor |
| BLEVE | 1% | Mycket stor mekanisk påverkan av vagn |

Detta medför att sannolikheten för dimensionerande händelser med klass 2-gods i tunneln, direkt till följd av orsaken urspårning, är:

$$\begin{array}{ll} \text{Jetflamma} & 0,25 * 0,2 * 0,4 * 1,9 * 10^{-4} = \mathbf{3,8 * 10^{-6} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}} \\ \text{Gasmoln} & 0,25 * 0,2 * 0,1 * 1,9 * 10^{-4} = \mathbf{9,5 * 10^{-7} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}} \\ \text{BLEVE} & 0,25 * 0,2 * 0,01 * 1,9 * 10^{-4} = \mathbf{9,5 * 10^{-8} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}} \end{array}$$

Total konsekvens

Den kumulativa frekvensen av konsekvensen av urspårning av tåg med farligt gods klass 2, är:

$$\begin{array}{ll} \text{Jetflamma} & 3,8 * 10^{-6} + 1,9 * 10^{-6} = \mathbf{5,7 * 10^{-6} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}} \\ \text{Gasmoln} & \mathbf{9,5 * 10^{-7} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}} \\ \text{BLEVE} & 9,5 * 10^{-8} + 4,8 * 10^{-7} = \mathbf{5,8 * 10^{-7} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}} \end{array}$$

5.2.2.1 Konsekvenser av urspårning av farligt gods, klass 2: kondenserade giftiga gaser

- 10% av farligt gods är klass 2, kondenserade giftiga gaser.

- Sannolikheten för en allvarlig urspårning av ett farligt godståg i tunneln är $1,9 \cdot 10^{-4}$ händelse*år⁻¹

Indirekt konsekvens

- 10% av urspårningarna bedöms starta brand.

Detta medför att sannolikheten för brandpåverkan av klass 2-gods till följd av urspårning av ett farligt godståg i tunneln är:

$$0,1 * 0,1 * 1,9 \cdot 10^{-4} = \mathbf{1,9 \cdot 10^{-6} \text{ händelse*år}^{-1}}$$

Dimensionerande händelse för klass 2 är vätskeutsläpp av Svaveldioxid och beskrivs närmare i kap 6.1. Sannolikheten för denna händelse vid tunnelbrand är satt till 0,5.

Sannolikhetsbedömningen är en jämkning mellan sannolikheten för händelsen och konsekvensen med Svaveldioxidgas inblandad i de utventilerande brandgaserna (större spridning och större förångning).

Detta medför att sannolikheten för dimensionerande händelse med klass 2-gods i tunneln, indirekt till följd av orsaken urspårning, är:

$$0,5 * 1,9 \cdot 10^{-6} = \mathbf{1,0 \cdot 10^{-6} \text{ händelse*år}^{-1}}$$

Direkt konsekvens

- 20% av tåget är direkt inblandad i urspårningen.

Den direkta påverkan innebär mekanisk skada av cistern på vagn.

Dimensionerande händelse för klass 2 är vätskeutsläpp av Svaveldioxid och beskrivs närmare i kap 6.1. Sannolikheten för denna händelse vid tunnelbrand är satt till 0,5.

Sannolikhetsbedömningen är en jämkning mellan en högre sannolikhet för utsläpp av mindre mängd och källstyrka och lägre sannolikhet för utsläpp av mycket stora mängder klass2 - ämne.

Detta medför att sannolikheten för dimensionerande händelser med klass 2-gods i tunneln, direkt till följd av orsaken urspårning, är:

$$0,1 * 0,2 * 0,5 * 1,9 \cdot 10^{-4} = \mathbf{1,9 \cdot 10^{-6} \text{ händelse*år}^{-1}}$$

Total konsekvens

Den kumulativa frekvensen av konsekvensen av urspårning av tåg med farligt gods klass 2, är:

$$1,0 \cdot 10^{-6} * 1,9 \cdot 10^{-6} = 2,9 \cdot 10^{-6} \text{ händelse} \cdot \text{år}^{-1}$$

5.3 **Kollision**

Händelseträäd: se bilaga 3. En konsekvens av en kollision är urspärning och därigenom spridning från spårmit (se urspärning). Som gräns för allvarlig skada har antagits 5 meters spridning. Detta grundas på, förutom tunnelbredden, på att stor spridning är indikation på att kollisionen varit kraftig. Kraftiga kollisioner kan medföra allvarliga skador på tågsetet.

5.3.1 Sannolikheter för kollision med farligt godståg i tunnel

- Antalet kollisioner på aktuell sträckning med en spridning över 5 meter från banmitt är: $2,9 \cdot 10^{-3}$ kollisioner \cdot år⁻¹
- 45% av tågen är godståg
- 25 % av godstågen medför farligt gods

Detta medför att sannolikheten för en kraftig kollision med ett farligt godståg som slår mot väggen i tunneln är:

$$0,45 * 0,25 * 2,9 * 10^{-3} = 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ händelse} \cdot \text{år}^{-1}$$

5.3.2 Konsekvenser av kollision med tåg med farligt godståg

Konsekvenserna av en kollision beror mycket på vilken typ av ämne som spårar ur. Därför måste varje potentiellt farligt ämne analyseras för sig. Vid varje kollision med en spridning på över 5 m från spårmit slår vagnarna mot tunnelväggen. Detta kan skada vagnarna mekanisk eller orsaka brand genom friktionsvärme och gnistor. En kollision av tio bedöms starta en brand. Bedömningen är osäker då ingen verifikation av denna indata finns.

20% av tåget bedöms vara direkt påverkad av kollisionen. (jfr. urspärning)

Konsekvenser av kollision med tåg med farligt gods, klass 1: Explosiva ämnen

- 2% av farligt gods är klass 1
- Sannolikheten för en allvarlig kollision (spridning över 5 m.) med ett farligt godståg i tunneln är $3,3 \cdot 10^{-5}$ händelse \cdot år⁻¹

- 10% av urspårningarna bedöms starta brand

Detta medför att sannolikheten för brandpåverkan av klass 1-gods till följd av kollision med ett farligt godståg i tunneln är:

$$0,1 * 0,02 * 3,3 * 10^{-5} = \mathbf{6,6 * 10^{-8} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}}$$

Dimensionerande händelse för klass 1 är en explosion av 25 ton masseexploderande explosivt ämne och beskrivs närmare i kap 6.1. Sannolikheten för denna händelse är satt till 0,5. Sannolikhetsbedömningen är en jämkning mellan en högre sannolikhet för explosion med mindre material och mindre sannolikhet för mycket stora mängder klass 1-ämne.

Detta medför att sannolikheten för dimensionerande händelse med klass 1-gods i tunneln, till följd av orsaken kollision, är:

$$0,5 * 6,6 * 10^{-8} = \mathbf{3,3 * 10^{-8} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}}$$

Konsekvenser av kollision med tåg med farligt gods, klass 2: kondenserade brännbara gaser

- 25% av farligt gods är klass 2, kondenserade brännbara gaser.
- Sannolikheten för en allvarlig kollision med ett farligt godståg i tunneln är $3,3 * 10^{-5}$ händelse*år⁻¹.

Indirekt konsekvens

- 10% av kollisionerna bedöms starta brand.

Detta medför att sannolikheten för brandpåverkan av klass 2-gods till följd av kollision med ett farligt godståg i tunneln är:

$$0,25 * 0,1 * 3,3 * 10^{-5} = \mathbf{8,3 * 10^{-7} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}}$$

Två dimensionerande händelser vid brandpåverkan av klass 2 är jetflamma och BLEVE. Dessa beskrivs närmare i kap 6.2. Bedömda sannolikheter, med kommentar, är

| | | |
|----------------|-----|--|
| Ingen påverkan | 50% | Tjockväggiga tankar - bra hållfasthet |
| Jetflamma | 40% | Flänsar, ventiler mm - svaga punkter |
| BLEVE | 10% | Stor värmepåverkan vid tågbrand i tunnel |

Detta medför att sannolikheten för dimensionerande händelser med klass 2-gods i tunneln, *indirekt* till följd av orsaken kollision, är:

| | | |
|-----------|-------------------------|--|
| Jetflamma | $0,4 * 8,3 * 10^{-7} =$ | $3,3 * 10^{-7}$ händelse*år⁻¹ |
| BLEVE | $0,1 * 8,3 * 10^{-7} =$ | $8,3 * 10^{-8}$ händelse*år⁻¹ |

Direkt konsekvens

- 20% av tåget är direkt inblandad i kollisionen.

Den direkta påverkan kan dels innefatta värmepåverkan från friktion mellan vagn och tunnelvägg samt mekanisk skada av cistern på vagn.

Tre dimensionerande händelser vid urspårning av klass 2 är jetflamma, gasmolnexplosion och BLEVE. Dessa beskrivs närmare i kap 6.2. Bedömda sannolikheter, med kommentar, är

| | | |
|------------------|-----|---|
| Ingen påverkan | 49% | Tjockväggiga tankar - bra hållfasthet |
| Jetflamma | 40% | Utflytande gas antänds av gnistor eller värme |
| Gasmolnexplosion | 10% | Små hål, läckor |
| BLEVE | 1% | Mycket stor mekanisk påverkan av vagn |

Detta medför att sannolikheten för dimensionerande händelser med klass 2-gods i tunneln, *direkt* till följd av orsaken kollision, är:

| | | |
|-----------|---------------------------------------|--|
| Jetflamma | $0,25 * 0,2 * 0,4 * 3,3 * 10^{-5} =$ | $6,6 * 10^{-7}$ händelse*år⁻¹ |
| Gasmoln | $0,25 * 0,2 * 0,1 * 3,3 * 10^{-5} =$ | $1,7 * 10^{-7}$ händelse*år⁻¹ |
| BLEVE | $0,25 * 0,2 * 0,01 * 3,3 * 10^{-5} =$ | $1,7 * 10^{-8}$ händelse*år⁻¹ |

Total konsekvens

Den kumulativa frekvensen av konsekvensen av kollision med ett tåg med farligt gods klass 2, är:

| | | |
|-----------|-----------------------------------|--|
| Jetflamma | $3,3 * 10^{-7} + 6,6 * 10^{-7} =$ | $9,9 * 10^{-7}$ händelse*år⁻¹ |
| Gasmoln | | $1,7 * 10^{-7}$ händelse*år⁻¹ |
| BLEVE | $8,3 * 10^{-8} + 1,7 * 10^{-8} =$ | $1,0 * 10^{-7}$ händelse*år⁻¹ |

Konsekvenser av kollision med tåg med farligt gods, klass 2: kondenserade giftiga gaser

- 10% av farligt gods är klass 2, kondenserade giftiga gaser
- Sannolikheten för en allvarlig kollision med ett farligt godståg i tunneln är $3,3 \cdot 10^{-5}$ händelse*år⁻¹

Indirekt konsekvens

- 10% av kollisionerna bedöms starta brand.

Detta medför att sannolikheten för brandpåverkan av klass 2-gods till följd av kollision med ett farligt godståg i tunneln är:

$$0,1 * 0,1 * 3,3 * 10^{-5} = \quad \mathbf{3,3 * 10^{-7} \text{ händelse*år}^{-1}}$$

Dimensionerande händelse för klass 2 är vätskeutsläpp av Svaveldioxid och beskrivs närmare i kap 6.1. Sannolikheten för denna händelse vid tunnelbrand är satt till 0,5.

Sannolikhetsbedömningen är en jämkning mellan sannolikheten för händelsen och konsekvensen med Svaveldioxidgas inblandad i de utventilerande brandgaserna (större spridning och större förångning).

Detta medför att sannolikheten för dimensionerande händelse med klass 2-gods i tunneln, indirekt till följd av orsaken kollision, är:

$$0,5 * 3,3 * 10^{-7} = \quad \mathbf{1,7 * 10^{-7} \text{ händelse*år}^{-1}}$$

Direkt konsekvens

- 20% av tåget är direkt inblandad i kollisionen.

Den direkta påverkan innebär mekanisk skada av cistern på vagn.

Dimensionerande händelse för klass 2 är vätskeutsläpp av Svaveldioxid och beskrivs närmare i kap 6.1. Sannolikheten för denna händelse vid tunnelbrand är satt till 0,5.

Sannolikhetsbedömningen är en jämkning mellan en högre sannolikhet för utsläpp av mindre mängd och källstyrka och lägre sannolikhet för utsläpp av mycket stora mängder klass2 - ämne.

Detta medför att sannolikheten för dimensionerande händelser med klass 2-gods i tunneln, direkt till följd av orsaken kollision, är:

$$0,1 * 0,2 * 0,5 * 3,3 * 10^{-5} = \quad \mathbf{3,3 * 10^{-7} \text{ händelse*år}^{-1}}$$

Total konsekvens

Den totala konsekvensen av kollision med tåg med farligt gods klass 2, är:

$$1,7 * 10^{-7} + 3,3 * 10^{-7} = \quad \mathbf{5,0 * 10^{-7} \text{ händelse*år}^{-1}}$$

6 PÅVERKAN

Av de ämnen som kommer att transporteras på Botniabanan och tunneln under Örnköldsviks stad är klass 1 och 2 de ämnen som kan påverka stadens innevånare mycket allvarligt. En olycka med dessa ämnen inblandade analyseras i denna rapport. Övriga olycksituationer i tunneln kommer inte att drabba tredje man och berörs därför inte.

Södra tunnelmynningen har det mest utsatta läget. Tunneln mynnar här ut mitt i centrala Örnköldsvik. Inom 200m från mynningen finns stadens resecentrum, badhus, bostadshus, äldreboende. Dimensionerande påverkan är en olycka med farligt gods som sprids genom denna tunnelöppning. Befolkningstäthet i stad är 2500 individer*km⁻² ¹³. 95% anses finnas inomhus ¹⁴.

Kumulativ befolkningmängd runt denna mynning bedöms enligt följande.

| <u>Avstånd</u> | <u>Inomhus</u> | <u>Utomhus</u> |
|----------------|------------------------------|-----------------------|
| 0-50 m | 10 (Inga byggnader inom 30m) | 10 (station, perrong) |
| 50-100m | 70 | 30 (station, perrong) |
| 100-200m | 300 | 50 |
| 200-300m | 700 | 70 |
| 300-400m | 1200 | 100 |
| 400-600m | 2500 | 150 |

6.1 *Klass 1, Explosiva ämnen*

2% av farligt godsmängden är klass 1. Dimensionerande händelse för en farligt godsolycka med klass-1-ämne är en explosion av 25 ton masseexploderande explosivt ämne som leder till högt tryck i tunneln.

Människor tål tryck förhållandevis bra, den känsligaste delen är örats trumhinnor, medan byggnader (på grund av sin stora angreppsyta) kan skadas på stora avstånd. Raseras väggar i en byggnad innebär detta också att människor innanför väggen skadas allvarligt.

Tryckvågen antas huvudsakligen att spridas i tunnelns längdriktning. Tryckvågen kan även spridas genom bergrunden till byggnader på ytan. En bedömning av påverkan på människor i anslutning till tunnelmynningen är:

| | |
|---------------|-------------------------------|
| 100% omkommer | 0-50m från tunnelmynningen |
| 50 % omkommer | 50-100m från tunnelmynningen |
| 10% omkommer | 100-200m från tunnelmynningen |
| 1% omkommer | 200-300m från tunnelmynningen |

6.2 **Klass 2, Kondenserade brännbara gaser**

Tre dimensionerande händelser av olycka med kondenserade brännbara gaser i tågtunnel definieras som: Jetflamma, gasmoln och BLEVE. Uppgifterna är hämtade ur FOA's analys av gasol¹⁵. FOA har även genomfört en inledande experimentell studie av Konsekvenser av brännbara vätskors utsläpp i tunnlar²⁴. Denna studie är utförd med små vätskemängder (5-20 liter). Studien visar på stora tryckuppbyggnader i tunnel vid antändning av förångad bensin och vid BLEVE.

6.2.1 Jetflamma

Dimensionerande händelse är deformation av cistern med utläckning av Gasol som följd. Dimensionerande håldata är 15 cm^2 . Källstyrkan blir då $10 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ i gasfasen och $48 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ i vätskefas. Om den läckande gasen antänds omedelbart uppstår en sk jetflamma. Flamman ger upphov till värmestrålning som kan skada människor och materiel. Den kan också antända övriga delar av tåget.

Flammans längd beräknas till 85 m vid vätskeutsläpp.

En bedömning av påverkan på människor utomhus i anslutning till tunnelmynningen till följd av jetflamma i tunneln är:

| | |
|---------------|------------------------------|
| 100% omkommer | 0-50m från tunnelmynningen |
| 10 % omkommer | 50-100m från tunnelmynningen |

Människor inomhus skyddas till viss del av byggnadskonstruktionen. Personer vid fönster och i lättantändliga byggnader kommer dock att förolyckas.

En bedömning av påverkan på människor inomhus i anslutning till tunnelmynningen till följd av Jetflamma i tunneln är:

| | |
|--------------|------------------------------|
| 50% omkommer | 0-50m från tunnelmynningen |
| 1% omkommer | 50-100m från tunnelmynningen |

6.2.2 Gasmoln

Om gasen inte antänds omedelbart uppkommer brännbart gasmoln, som kan antändas i ett senare skede. Gasmolnet kommer vid tunnelmynningen att uppta en radie i storleksordningen 50 meter.

En bedömning av påverkan på människor utomhus i anslutning till tunnelmynningen till följd av gasmolnsexplosion i tunneln är:

| | |
|---------------|------------------------------|
| 100% omkommer | 0-50m från tunnelmynningen |
| 50 % omkommer | 50-100m från tunnelmynningen |

Människor inomhus skyddas till viss del av byggnadskonstruktionen. Personer vid fönster och i lättantändliga byggnader kommer dock att förolyckas.

En bedömning av påverkan på människor inomhus i anslutning till tunnelmynningen till följd av gasmolnsexplosion i tunneln är:

| | |
|---------------|------------------------------|
| 50% omkommer | 0-50m från tunnelmynningen |
| 10 % omkommer | 50-100m från tunnelmynningen |

6.2.3 BLEVE

Vid cisternvagnar kan efter viss tids yttre brandpåverkan tankens hölje rämna. Detta medför en s.k. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) uppkommer. BLEVE uppkommer först efter mer än 5 minuters hård värmepåverkan.

På öppen mark är risken att omkomma enl tabellen nedan vid 50 tons BLEVE.

| <u>Avstånd(m)</u> | <u>% döda</u> |
|-------------------|---------------|
| 0-175 | 100 |
| 175-225 | 15 |
| 225-275 | 14 |
| 275-325 | 6 |
| 325-375 | 1 |

Hur en BLEVE uppträder i en tunnel är dåligt utredd. Dock kan man anta att konsekvenserna vid tunnelmynningen blir minst som de i tabellen ovan. Kanske blir inte skadeområdet cirkulärt utan mer utbredd i tunnelns längdriktning. Om BLEVEN inträffar i anslutning till tunnelmynning kan effekten bli en jetflammeliknande brand med tunnelmynningens area som jetflammans basyta.

En bedömning av påverkan på människor utomhus i anslutning till tunnelmynningen till följd av en BLEVE i tunneln är:

| | |
|---------------|--------------------------------|
| 100% omkommer | 0-200 m från tunnelmynningen |
| 10 % omkommer | 200-300 m från tunnelmynningen |
| 1% omkommer | 300-400 m från tunnelmynningen |

Människor inomhus skyddas till viss del av byggnadskonstruktionen. Personer vid fönster och i lättantändliga byggnader kommer dock att förolyckas.

En bedömning av påverkan på människor inomhus i anslutning till tunnelmynningen till följd av en BLEVE i tunneln är:

| | |
|---------------|--------------------------------|
| 100% omkommer | 0-100 m från tunnelmynningen |
| 50% omkommer | 100-200 m från tunnelmynningen |
| 1 % omkommer | 200-300 m från tunnelmynningen |

6.3 **Klass 2, Kondenserade giftiga gaser**

En olycka med en Svaveldioxidvagn sätts som dimensionerande fall för denna ämnesgrupp. SO₂ har större påverkan på omgivning än Ammoniak, men mindre än tex Etylenoxid. SO₂ får ses som ett medelvärde. Uppgifterna är hämtade ur FOA's analys av risker i Västernorrlands län ¹⁴.

Ett hål på ca 10 cm² (exempelvis anslutningsledning) uppkommer på en 50-tons cisternvagn för Svaveldioxid. Källstyrkan är 5 kg*s⁻¹. Beräkningen förutsätter att hål uppkommer under vätskeytan. Utströmningen leder till att liten del Svaveldioxid förgasas. Resten bildar vätske aerosol som successivt övergår i gas. Som regel blir all substans luftburen.

Svaveldioxid är giftigt och leder till döden vid inandning vid högre koncentrationer. Riskområdet för allvarligt skadade/döda har beräknats till 400m i vindriktning och 100 m tvärs vindriktningen från tunnelöppningen. Personer som är utomhus och som är inom riskområdet förolyckas. Utsläppet kommer att hålla på i tre timmar, vilket innebär att åtgärder hinner vidtagas för att hindra nya personer att komma in i riskområdet. För att kunna jämföra risker sätts riskområdet cirkulärt

En bedömning av påverkan på människor utomhus i anslutning till tunnelmynningen till följd av Svaveldioxidutsläpp i tunneln är:

| | |
|---------------|--------------------------------|
| 100% omkommer | 0-200 m från tunnelmynningen |
| 50% omkommer | 200-400 m från tunnelmynningen |
| 10 % omkommer | 400-600 m från tunnelmynningen |

Personer inomhus kommer att klara sig om fönster är stängda och om ventilationen är svag. Vid flerfamiljsbostäder och andra byggnader med kontinuerlig fläktventilation sker en viss inläckning. Vidtages inga åtgärder (fläktar stoppas) kommer personer inomhus att omkomma.

En bedömning av påverkan på människor inomhus i anslutning till tunnelmynningen till följd av Svaveldioxidutsläpp i tunneln är:

| | |
|--------------|--------------------------------|
| 50% omkommer | 0-100 m från tunnelmynningen |
| 10% omkommer | 100-200 m från tunnelmynningen |
| 1 % omkommer | 200-400 m från tunnelmynningen |

7 RISKVÄRDERING

För att erhålla risknivån för ett objekt eller ett system måste sannolikhet och konsekvens vägas samman. Denna multiplikation resulterar i en risk. Risken definieras som döda*år⁻¹. Varje händelse som resulterar i en påverkan summeras. Händelsträd: se bilaga 4.

7.1 Explosion

7.1.1 Sannolikhet för explosion

En explosion kan inträffa med samtliga tre primärhändelserna. Sannolikheten för dessa är:

| | |
|-------------------------------------|---|
| Explosion till följd av brand: | $3,3 \cdot 10^{-7}$ händelse*år ⁻¹ |
| Explosion till följd av urspårning: | $1,9 \cdot 10^{-7}$ händelse*år ⁻¹ |
| Explosion till följd av kollision: | $3,3 \cdot 10^{-8}$ händelse*år ⁻¹ |

Detta medför en total sannolikhet för explosion i tunnel på:

$$3,3 \cdot 10^{-7} + 1,9 \cdot 10^{-7} + 3,3 \cdot 10^{-8} = \mathbf{5,5 \cdot 10^{-7} \text{ händelse*år}^{-1}}$$

7.1.2 Konsekvens av explosion

Konsekvensen av dimensionerande explosion definieras i kapitel 6.1. Befolkningstätheten runt tunnelmynningen redovisas i kapitel 6. När dessa vägs samman erhålls konsekvensen omkomna*explosion⁻¹ enligt följande:

| | |
|--------------|----|
| 100% av 20 = | 20 |
| 50% av 80 = | 40 |
| 10% av 250 = | 25 |
| 1% av 420 = | 4 |

Detta medför en total konsekvens av en explosion till:

$$20 + 40 + 25 + 4 = \mathbf{89 \text{ omkomna*explosion}^{-1}}$$

7.1.3 Risk av explosion

Sammanvägning av sannolikhet och konsekvens ger risk av explosion:

$$5,5 \cdot 10^{-7} \text{ händelse*år}^{-1} * 89 \text{ omkomna*explosion}^{-1} = \mathbf{4,9 \cdot 10^{-5} \text{ omkomna*år}^{-1}}$$

7.2 Jetflamma

7.2.1 Sannolikhet för jetflamma

En jetflamma kan inträffa med samtliga tre primärhändelserna. Sannolikheten för dessa är:

| | |
|-------------------------------------|---|
| Jetflamma till följd av brand: | $3,3 \cdot 10^{-6}$ händelse*år ⁻¹ |
| Jetflamma till följd av urspårning: | $5,7 \cdot 10^{-6}$ händelse*år ⁻¹ |
| Jetflamma till följd av kollision: | $9,8 \cdot 10^{-7}$ händelse*år ⁻¹ |

Detta medför en total sannolikhet för jetflamma i tunnel på:

$$3,3 \cdot 10^{-6} + 5,7 \cdot 10^{-6} + 9,8 \cdot 10^{-7} = \mathbf{1,0 \cdot 10^{-5} \text{ händelse*år}^{-1}}$$

7.2.2 Konsekvens av jetflamma

Konsekvensen av dimensionerande jetflamma definieras i kapitel 6.2. Befolkningstätheten runt tunnelmynningen redovisas i kapitel 6. När dessa vägs samman erhålls konsekvensen omkomna* jetflamma⁻¹ enligt följande:

| | | |
|--------------|-----|------|
| 100% av 10 = | 10 | ute |
| 10% av 20 = | 2 | ute |
| 50% av 10 = | 5 | inne |
| 1% av 60 = | 0,6 | inne |

Detta medför en total konsekvens av en jetflamma till:

$$10 + 2 + 5 + 0,6 = \mathbf{18 \text{ omkomna* jetflamma}^{-1}}$$

7.2.3 Risk av jetflamma

Sammanvägning av sannolikhet och konsekvens ger risk av jetflamma:

$$1,0 \cdot 10^{-5} \text{ händelse*år}^{-1} * 18 \text{ omkomna* jetflamma}^{-1} = \mathbf{1,8 \cdot 10^{-4} \text{ omkomna*år}^{-1}}$$

7.3 Gasmoln

7.3.1 Sannolikhet för gasmoln

En gasmoln kan inträffa med två primärhändelser - urspårning och kollision. Sannolikheten för dessa är:

| | |
|-----------------------------------|---|
| gasmoln till följd av urspårning: | $9,5 \cdot 10^{-7}$ händelse*år ⁻¹ |
| gasmoln till följd av kollision: | $1,6 \cdot 10^{-7}$ händelse*år ⁻¹ |

Detta medför en total sannolikhet för gasmoln i tunnel på:

$$9,5 \cdot 10^{-7} + 1,6 \cdot 10^{-7} = \mathbf{1,1 \cdot 10^{-6} \text{ händelse*år}^{-1}}$$

7.3.2 Konsekvens av gasmoln

Konsekvensen av dimensionerande gasmoln definieras i kapitel 6.3. Befolkningstätheten runt tunnelmynningen redovisas i kapitel 6. När dessa vägs samman erhålls konsekvensen omkomna* gasmoln⁻¹ enligt följande:

| | | |
|--------------|----|------|
| 100% av 10 = | 10 | ute |
| 50% av 20 = | 10 | ute |
| 50% av 10 = | 5 | inne |
| 10% av 60 = | 6 | inne |

Detta medför en total konsekvens av en gasmoln till:

$$10 + 10 + 5 + 6 = \quad \mathbf{31 \text{ omkomna} * \text{gasmoln}^{-1}}$$

7.3.3 Risk av gasmoln

Sammanvägning av sannolikhet och konsekvens ger risk av gasmoln:

$$1,1 * 10^{-6} \text{ händelse} * \text{år}^{-1} * 31 \text{ omkomna} * \text{gasmoln}^{-1} = \mathbf{3,4 * 10^{-5} \text{ omkomna} * \text{år}^{-1}}$$

7.4 BLEVE

7.4.1 Sannolikhet för BLEVE

En BLEVE kan inträffa med samtliga tre primärhändelserna. Sannolikheten för dessa är:

| | |
|---------------------------------|---|
| BLEVE till följd av brand: | $8,2 * 10^{-7} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}$ |
| BLEVE till följd av urspårning: | $5,6 * 10^{-7} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}$ |
| BLEVE till följd av kollision: | $9,8 * 10^{-8} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}$ |

Detta medför en total sannolikhet för BLEVE i tunnel på:

$$8,2 * 10^{-7} + 5,6 * 10^{-7} + 9,8 * 10^{-8} = \mathbf{1,5 * 10^{-6} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}}$$

7.4.2 Konsekvens av BLEVE

Konsekvensen av dimensionerande BLEVE definieras i kapitel 6.3. Befolkningstätheten runt tunnelmynningen redovisas i kapitel 6. När dessa vägs samman erhålls konsekvensen omkomna* BLEVE⁻¹ enligt följande:

| | | |
|--------------|-----|------|
| 100% av 50 = | 50 | ute |
| 10% av 20 = | 2 | ute |
| 1% av 30 = | 0,3 | ute |
| 100% av 70 = | 70 | inne |
| 50% av 230 = | 115 | inne |
| 1% av 400 = | 4 | inne |

Detta medför en total konsekvens av en BLEVE till:

$$50 + 2 + 70 + 115 + 4 = \mathbf{241 \text{ omkomna} * \text{BLEVE}^{-1}}$$

7.4.3 Risk av BLEVE

Sammanvägning av sannolikhet och konsekvens ger risk av BLEVE:

$$1,5 * 10^{-6} \text{ händelse} * \text{år}^{-1} * 241 \text{ omkomna} * \text{BLEVE}^{-1} = \mathbf{3,6 * 10^{-4} \text{ omkomna} * \text{år}^{-1}}$$

7.5 Giftmoln

7.5.1 Sannolikhet för Giftmoln

Ett giftmoln kan inträffa med samtliga tre primärhändelserna. Sannolikheten för dessa är:

| | |
|------------------------------------|---|
| Giftmoln till följd av brand: | $1,6 * 10^{-6} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}$ |
| Giftmoln till följd av urspårning: | $2,9 * 10^{-6} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}$ |
| Giftmoln till följd av kollision: | $4,9 * 10^{-7} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}$ |

Detta medför en total sannolikhet för giftmoln i tunnel på:

$$1,6 * 10^{-6} + 2,9 * 10^{-6} + 4,9 * 10^{-7} = \mathbf{5,0 * 10^{-6} \text{ händelse} * \text{år}^{-1}}$$

7.5.2 Konsekvens av giftmoln

Konsekvensen av dimensionerande giftmoln definieras i kapitel 6.4. Befolkningstätheten runt tunnelmynningen redovisas i kapitel 6. När dessa vägs samman erhålls konsekvensen omkomna* giftmoln⁻¹ enligt följande:

| | | | |
|------------|---|----|------|
| 100% av 50 | = | 50 | ute |
| 50% av 50 | = | 25 | ute |
| 10% av 50 | = | 5 | ute |
| 50% av 70 | = | 35 | inne |
| 10% av 230 | = | 23 | inne |
| 1% av 900 | = | 9 | inne |

Detta medför en total konsekvens av en giftmoln till:

$$50 + 25 + 5 + 35 + 23 + 9 = \mathbf{147 \text{ omkomna* giftmoln}^{-1}}$$

7.5.3 Risk av giftmoln

Sammanvägning av sannolikhet och konsekvens ger risk av giftmoln:

$$5,0 \cdot 10^{-6} \text{ händelse*år}^{-1} * 147 \text{ omkomna* giftmoln}^{-1} = \mathbf{7,4 \cdot 10^{-4} \text{ omkomna*år}^{-1}}$$

7.6 Sammanvägd riskvärdering

För att erhålla den totala riskbilden som tågtunneln påverkar innevånarna i Örnköldsvik ska samtliga risker vägas samman. På detta sätt uppnås ett mått på förväntat antal döda per år, även kallad PLL (Potential Loss of Life). På detta sätt uttrycks samhällsrisk.

Samhällsrisk beräknas med en summering av ingående risker:

| | | |
|---------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Explosion | $4,9 \cdot 10^{-5}$ | omkomna*år ⁻¹ |
| Jetflamma | $1,8 \cdot 10^{-4}$ | omkomna*år ⁻¹ |
| Gasmoln | $3,4 \cdot 10^{-5}$ | omkomna*år ⁻¹ |
| BLEVE | $3,6 \cdot 10^{-4}$ | omkomna*år ⁻¹ |
| Giftmoln | $7,4 \cdot 10^{-4}$ | omkomna*år ⁻¹ |
| Totalt | $1,4 \cdot 10^{-3}$ | omkomna*år⁻¹ |

För att erhålla en tydligare bild av riskprofilen har en FN-kurva utarbetats. FN-kurvan visar tydligt att riskerna överstiger de av DNV föreslagna acceptanskriterierna.

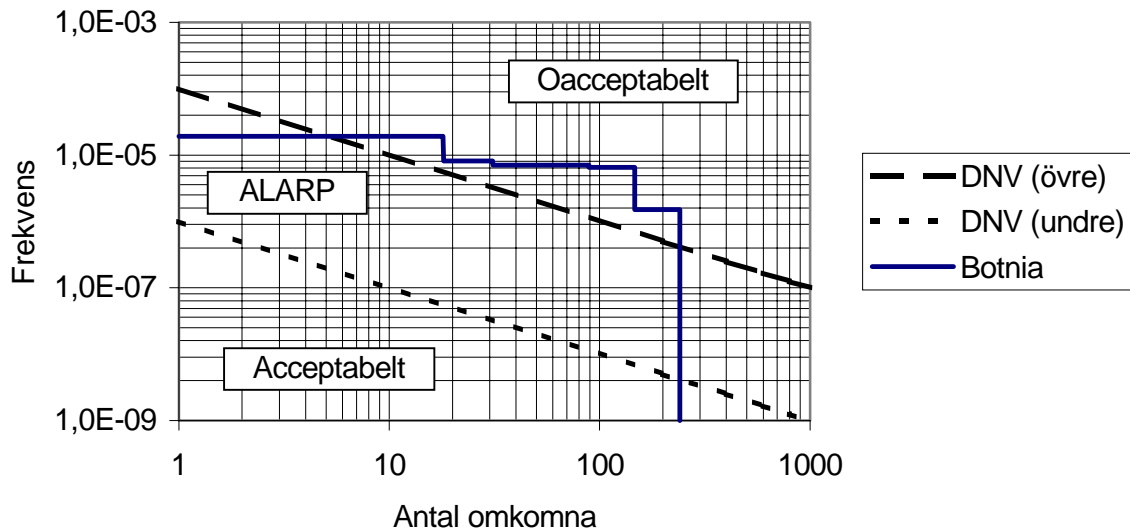


Bild 5, FN-kurva av Botniabananans risk

8 SLUTSATS

Analysen visar att systemets risknivå är hög. Den totala risken, samhällsrisken, för innevånarna i Örnköldsvik uppgår i denna analys till $1,4 \cdot 10^{-3}$ omkomna*år⁻¹. Enligt internationella acceptanskriterier innebär detta en risk som bör åtgärdas. Risken överstiger Den Norske Veritas förslag för accepterad risk, $1,0 \cdot 10^{-4}$ omkomna*år⁻¹. Riskanalyser bör dock inte ses som absoluta sanningar utan mer som beslutsunderlag för säkerhetshöjande åtgärder och val av alternativa lösningar. Osäkerheten i riskanalyser är ofta 2-3 tiopotenser. Detta innebär att risknivån för detta arbete ligger mellan $1,0 \cdot 10^{-2}$ och $1,0 \cdot 10^{-4}$ omkomna*år⁻¹.

Utifrån analysens konklusion rekommenderas säkerhetshöjande åtgärder.

9 DISKUSSION

Bedömningen av konsekvenser vid en tågolycka med farligt gods i en tunnel är svår. Inga större tunnelolyckor med explosiva eller kondenserade gaser har inträffat. En bedömning måste därför göras med statistik från andra olycksscenarioer och vägas samman till en tänkbar olycka i tunnel. Denna bedömning medför en stor osäkerhet i riskvärderingen av systemet.

9.1 SÄKERHETSHÖJANDE ÅTGÄRDER

Ofta jämförs kostnad mot nytta i olika projekt. I detta projekt bör däremot nyttan av den föreslagna sträckningen ställas mot risken för allvarliga olyckor. Därigenom kan man jämföra riskreducerande kostnader med nyttan av projektet. Följande åtgärder kan anses som kostnadseffektivt riskreducerande.

9.1.1 Hastighet

Korrelation mellan tågets hastighet och urspårningsspridning har sammanställts av Banverket genom Sparres rapport ¹².

Ur denna rapport kan utläsas att 5 % av urspårningarna i hastigheter mellan 0 och 60 km/h gav en spridning på mer än 5 meter. För hastigheter över 60 km/h är detta värde ca 20%. Detta innebär att sannolikheten för en allvarlig skada vid en urspårning är 4 gånger högre vid hastigheter över 60 km/h.

En hastighetsbegränsning av sträckningen bör därför beaktas och utredas vidare.

9.1.2 Sprinkler

Konsekvenserna vid en brand i tunneln bli omfattande (se kap5.1). En installation av sprinkleranläggning i tunneln bör därför beaktas och utredas vidare.

9.1.3 Räddningstjänstens insatsmöjligheter

Räddningstjänstens insatsmöjligheter vid en olycka i tunneln är begränsade. Räddningstjänsten bör kontinuerligt konsulteras vid projektering, planering och byggande av tunnel och stationsbyggnad. Evakuerings- och insatsplanering bör ha hög prioritet i detta arbete. Vidare bör räddningstjänstens personella och materiella resurser utredas för att kunna optimera insatserna.

9.1.4 Resecentrum

Resecentrums placering i tunnelmynningen med utbredning in i tunneln ställer stora krav på skydd mot brand- och rökgasspridning till stationsbyggnad och perrong. En inglasning av perrongen har gjorts i Gårdatunneln, Göteborg och är en sådan åtgärd ¹⁶. En inglasning

skyddar passagerare på perrongen från brandgaser i tunneln. Inglasningen fungerar även som ett väderskydd för de delar av perrongen som finns utanför tunneln.

10 REFERENSER

1. *Botniabanan, järnvägsutredning, centrala Örnsköldsvik*, Banverket, 1997
2. *Botniabanan genom centrala Örnsköldsvik - Informationsfolder*, Örnsköldsviks kommun, 1998
3. *Järnvägssäkerhetslagen*, SFS 1990:1157
4. *Räddningstjänstlag*, 1986:1102
5. *Säkerhet i järnvägstunnlar, Handbok BVH 585.30*, Banverket, Borlänge, 1997
6. Loman, Göran, *Risikanalys Botniabanan*, VBB VIAK, Malmö, 1998
7. *Värdering av risk*, Räddningsverket, Karlstad, 1997
8. *ARTIKEL I Dagens Nyheter*, 1998
9. *RNP - Godsflöden 1996:4*, Banverket, Luleå, 1996
10. *Banutredning Örnsköldsvik – Husum 951212*, Samrådshandling, 1995
11. *Botniabanan – trafikeringssutredning 951220*, SJ och Botniabanegruppen, 1995
12. Sparre Erik, *Urspårningar, kollisioner och bränder på svenska järnvägar mellan åren 1985 och 1995*, Inst. För matematisk statistik, LTH, 1995
13. *Farligt gods – riskbedömning vid transport*, Räddningsverket, Karlstad, 1996
14. *Risker i Västernorrlands län*, FOA - Risk, Umeå, 1995
15. Lamnevik, Forsén, *Risikanalys av gasolvagnar, med och utan säkerhetsventil*, FOA., 1993
16. *Brandsäkerhet i tåg- och vägtunnlar*, Räddningsverket, Karlstad, 1996
17. Rasmussen F, *Risikanalys – Ringen och yttre tvärleden*, SCC, 1995
18. Fredén Sven, *Om sannolikhet för järnvägsolyckor med farligt gods*, VTI rapport Nr 387:2, 1994

- 19 Helmersson Lennart, *Konsekvensanalys av olika olycksscenarioer vid transport av farligt gods på väg och järnväg*, VTI rapport Nr 387:4, 1994
- 20 Lindberg Erik, Morén Bertil, *Risikanalytmetod för transporter av farligt gods på väg och järnväg*, VTI rapport Nr 387:1, 1994
- 21 Bengtsson Staffan, *Brandscenarier i undermarksanläggningar*, Brandskyddslaget, Stockholm 1993
- 22 Fischer, Forsén mfl, *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor*, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm 1995
- 23 Bergqvist Anders, *Branden i Tauertunneln- observatörsrapport*, Räddningsverket, Karlstad, 1999
- 24 Magnusson Johan, Werling Per-Olof, *Konsekvenser av brännbara vätskors utsläpp i tunnlar*, FOA, 1998

Risicanalys tågtunnel

- Analys av riskpåverkan på innevånarna i Örnköldsvik från Botniabanans tågtunnel genom Örnköldsviks stad**

Ville Väilä

Lund 2000

Risikanalys tågtunnel

Ville Väilä

Report 5058

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5058--SE

Number of pages: 43

Illustrations: Ville Väilä

Keywords

riskanalys, probabilistic, railway, tunnel, societal risk, hazard

Abstract

A probabilistic riskanalysis of a railway tunnel in Örnköldsvik, Sweden. Using societal risk showing the hazard of the system. The analysis indicates a high risk greater than recommended levels of acceptance according to international risk criteria. Furthermore proposal for hazard prevention in tunnels are made.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2000.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12