

Riskanalys av järnvägen genom centrala Halmstad

Andreas Nilsson

**Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden**

**Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5163, Lund 2005

**Risicanalys av järnvägen genom
centrala Halmstad**

Andreas Nilsson

Lund 2005

Risikanalys av järnvägen genom centrala Halmstad

Andreas Nilsson

Report 5163

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5163--SE

Number of pages: 73

Illustrations: Andreas Nilsson

Keywords: Risk analysis, Dangerous goods, Societal risk, Individual risk

Abstract: The purpose of this risk analysis is to investigate if the transport of dangerous goods through Halmstad is a threat to the surrounding area. The report shall serve as a component in the making of pre-plans and the planning of exercises.

Då flödet av farligt gods på järnvägen genom Halmstad i stor utsträckning påverkas av de användare som finns i omgivningen och på vilket sätt de väljer att transportera sina råvaror skall resultatet av denna analys användas med försiktighet.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2005.

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

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

Förord

Under arbetet med denna rapport har många varit behjälpliga. Jag har förpestat min omgivning, klasskamrater, familj och arbetskamrater med gnäll, gny och frågor. För detta är jag alla tack skyldig. Ingen nämnd ingen glömd.

Laholm, Mars 2005

Andreas Nilsson

Sammanfattning

Denna rapport är resultatet av det avslutande projektarbetet på Brandingenjörsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet. Projektarbetet motsvarar 10 högskolepoäng. Rapporten har beställts av Tina Håkansson på Halmstad Brandförsvär.

Syftet med rapporten är att bedöma vilken risk som järnvägstransporterna av farligt gods genom centrala Halmstad utgör för omgivningen. Rapporten skall ingå som en del i en kommunal riskanalys som skall genomföras. Rapporten skall även tjäna som underlag för insatsplanering och planering av övningsverksamhet vid Halmstad Brandförsvär.

Individ- och samhällsriskerna har jämförts med kriterier framtagna av Det Norske Veritas, DNV, och holländska myndigheter då det inte finns några enhetliga och accepterade kriterier för värdering av risk i Sverige. Detta gör att resultaten av riskanalysen inte kan översättas på ett likformigt sätt till andra termer än rent matematiska.

De slutsatser som dras i rapporten angående...

riskberäkningar är:

- Individrisken är mellan vad holländska myndigheter benämner acceptabel och oacceptabel risk.
- Individrisken är högre än DNV's kriterie "risk kan anses liten", närmre järnvägen än ungefär 400 meter.
- Samhällsriskberäkningarna visar att risken är lägre än DNV's kriterie "risk under vissa förutsättningar kan tolereras".
- Samhällsriskerna jämförd med holländska kriterier visar att risken för konsekvenser med fler än 40 döda är högre än den övre gränsen för samhällsrisk i Holland.

strukturella åtgärder är:

- Om resultatet jämförs med kriterier som används vid planläggning i Göteborgs kommun och av Länsstyrelsen i Stockholms län är risken för olyckor med konsekvenser över 100 omkomna högre än vad som tolereras där.
- Koncept med en robust ram enligt de kriterier som används i Göteborgs kommun och rekommenderas av Länsstyrelsen i Stockholms län hade troligen minskat befolkningstätheten i området runt järnvägen och därmed minskat samhällsriskerna.
- För att åtgärder skall påverka resultatet av denna riskanalys måste åtgärder som minskar befolkningstätheten inom ett stort område från järnvägsspåret vidtas. Detta innebär att det bör övervägas att flytta järnvägssträckningen till ett område med mindre befolkningstäthet beräknat på ett stort område.

räddningstjänstens åtgärder är:

- Eftersom insatser med farligt gods är mycket ovanliga och erfarenheten av sådana olyckor är mycket begränsad, är insatsplanering viktigt. Insatsplaner med inriktning mot farligtgodsolycka på järnväg minskar osäkerheterna vid beslutsfattande i initialskedet av räddningsinsatser med farligt gods.
- Räddningstjänsten kan påverka olycksförloppet mest genom att minska hålarean vid ett eventuellt läckage.

Summary

This report is the result of the final course at the Fire Engineering programme at Lund University, Sweden. The project work is equivalent to 10 university marks. The report was ordered by Tina Håkansson at Halmstad fire department.

The purpose of the report is to estimate the risk the transport of dangerous good at the railway line through the centre of Halmstad constitutes to the surroundings. The report shall be a part of a municipal risk analysis. The report shall also serve as a component in the making of pre-plans and the planning for exercises at Halmstad fire department.

The individual and societal risk has been compared with the criteria developed by Det Norske Veritas a Dutch authorities, since there are no uniform and accepted criteria's for estimation of risk in Sweden. This makes the results of the risk analysis unable to translate into a shape of other terms than the mathematic terms.

The conclusions regarding...

Risk calculations are:

- The individual risk is in between what Dutch authorities designates acceptable and unacceptable risk.
- The individual risk is bigger than DNV's criteria "risk can be considered small", closer to the railway line than approximately 400 meters.
- The calculations of the societal risk shows that the risk is less than DNV's criteria "risk under certain condition can be tolerated"
- The societal risk compared to Dutch criteria shows that the risk for consequences with more than forty dead is higher than the upper limits for societal risk in Holland.

structural measures are:

- If the results is being compared to the criteria's that is used when doing social planning in Gothenburg, and used by the county administration in Stockholm, the risk for accidents with consequences over 100 dead is higher than what is tolerated by those authorities.
- Concept with a robust frame according to the criteria's that is used in Gothenburg's local authority and is recommended by the county administration in Stockholm had probably decreased the population in the area round the railway line. And thereby decreased the societal risk.
- To have measures that have any effect on the outcome of the risk calculations in this report the density of the population surrounding the railway line must be considerably smaller. This means that the measures must have effect on people at a very large area. To solve the problem with the risk of transporting dangerous goods on the railway line through Halmstad it should be considered to move the railway line to a different location with less density of people surrounding.

fire departments measures are:

- Since accidents with dangerous goods are very infrequent and the experience of those sorts of accident is very limited are pre-plans important. Pre-plans with aim at dangerous goods freight accidents on railway decreases the decision uncertainty in the initial stage of a rescue action.
- The fire department can influence the course of events mostly by reducing the area of a possible leak.

Innehållsförteckning

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | INLEDNING | 11 |
| 1.1 | BAKGRUND..... | 11 |
| 1.2 | SYFTE..... | 11 |
| 1.3 | BEGRÄNSNINGAR..... | 11 |
| 1.4 | DEFINITIONER..... | 11 |
| 1.5 | ANALYSENS GENOMFÖRANDE..... | 12 |
| 2 | BAKGRUND | 15 |
| 2.1 | TILLÄMPLIG LAGSTIFTNING..... | 16 |
| 3 | ANALYSMETOD | 19 |
| 3.1 | VAL AV MODELL..... | 19 |
| 4 | OBJEKTSBESKRIVNING | 21 |
| 4.1 | VÄSTKUSTBANAN..... | 21 |
| 4.2 | HALMSTAD-NÄSSJÖ..... | 22 |
| 5 | INVENTERING | 23 |
| 5.1 | INVENTERING AV FREKVENSAKTORER..... | 23 |
| 5.2 | INVENTERING AV KONSEKVENSAKTORER..... | 24 |
| 6 | KONSEKVENSBERÄKNINGAR | 27 |
| 6.1 | DIMENSIONERANDE KONCENTRATIONER..... | 27 |
| 6.2 | MASSFLÖDE..... | 29 |
| 6.3 | SPRIDNINGSBERÄKNINGAR..... | 31 |
| 7 | SANNOLIKHETSBERÄKNINGAR | 37 |
| 7.1 | SANNOLIKHETSBERÄKNINGAR, TÅGOLYCKA..... | 37 |
| 7.2 | SANNOLIKHETSBERÄKNINGAR, UTSLÄPP AV FARLIGT GODS..... | 41 |
| 8 | RISKBERÄKNING | 45 |
| 8.1 | ALLMÄNT..... | 45 |
| 8.2 | INDIVIDRISK..... | 45 |
| 8.3 | SAMHÄLLSRISK..... | 47 |
| 9 | RISKVÄRDERING | 51 |
| 9.1 | INDIVIDRISK..... | 51 |
| 9.2 | SAMHÄLLSRISK..... | 52 |
| 10 | RESULTAT | 55 |
| 10.1 | OSÄKERHETER..... | 55 |
| 10.2 | ÅTGÄRDER..... | 56 |
| | REFERENSER | 59 |
| | BILAGA A, STATISTIK | 61 |
| | METEROLOGISKA DATA..... | 61 |
| | BILAGA B, FARLIGTGODSKLASSER | 63 |
| | BILAGA C, BAKGRUNDSHÄNDELSER | 67 |
| | TÅGOLYCKAN I BORLÄNGE..... | 67 |
| | TÅGOLYCKAN I KÄLARNE..... | 68 |
| | AMMONIAKOLYCKAN I KÄVLINGE..... | 68 |
| | UTSLÄPP AV FLUORVÄTESYRA I TORSHÄLLA..... | 69 |
| | SAMMANFATTNING..... | 70 |
| | BILAGA D, TEORI | 71 |

| | |
|--|-----------|
| TOXIKOLOGI | 71 |
| VÄRMESTRÅLNING..... | 72 |
| TEORI OM KONSEKVENSBERÄKNINGAR..... | 73 |
| BILAGA E, TEORI OM SANNOLIKHETSBERÄKNINGAR..... | 77 |

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Västkustbanan, som går mellan Lund och Göteborg är ett av Sveriges största godsstråk. Banan passerar Halmstad och ca sju kilometer av banan går genom Halmstad tätort och kantas av bostäder och allmän stadsbebyggelse. Det ligger ett antal skyddsvärda objekt inom ett litet avstånd från järnvägsspåret.

För att minska konsekvensen av och sannolikheten för att oönskade händelser uppstår krävs planering. Ett samhälle som planerar för det oväntade och är handlingskraftigt när det oväntade inträffar är robust och inte så beroende av yttre faktorer.

Denna rapport skall undersöka om de järnvägsbundna transporterna av farligt gods genom Halmstad utgör ett hot mot sin omgivning samt utgöra ett underlag när brandförsvaret i Halmstad skall planera sin verksamhet i form av övnings- och insatsplanering.

1.2 Syfte

Syftet med denna rapport är att bedöma vilket hot som järnvägen genom centrala Halmstad utgör på sin omgivning. Rapporten skall ingå som en del i en kommunal risicanalys som skall genomföras. Rapporten skall även tjäna som underlag för insatsplanering och planering av övningsverksamhet vid Halmstad Brandförsvaret.

1.3 Begränsningar

Rapporten inriktar sig på de risker som transporten av farligt gods på järnvägen utgör mot människors liv och hälsa.

I rapporten behandlas järnvägssträckningen som går genom centrala Halmstad. Sträckan begränsas av E6:an i norr och söder.

1.4 Definitioner

1.4.1 Risk

Enligt räddningsverket/20/ betecknas risk som farhåga för att olycka eller annan oönskad händelse med negativa konsekvenser på människa, miljö eller egendom skall ske. I dagligt språkbruk har betydelsen av ordet risk en stor spännvidd, från en sannolikhetsinriktad till en konsekvensinriktad betydelse. En definition av risk är:

Risk = sannolikhet x konsekvens./20/

1.4.2 Individrisk

Individrisk definieras enligt ”Guidlines for chemical process quantitative risk analysis”/26/ som risken för en person i närheten av en riskkälla. För att bedöma individrisken tas hänsyn till den skada som personen kan drabbas av, sannolikhet för att en skada skall uppstå och tidsperioden under vilken skadan förväntas uppstå./26/

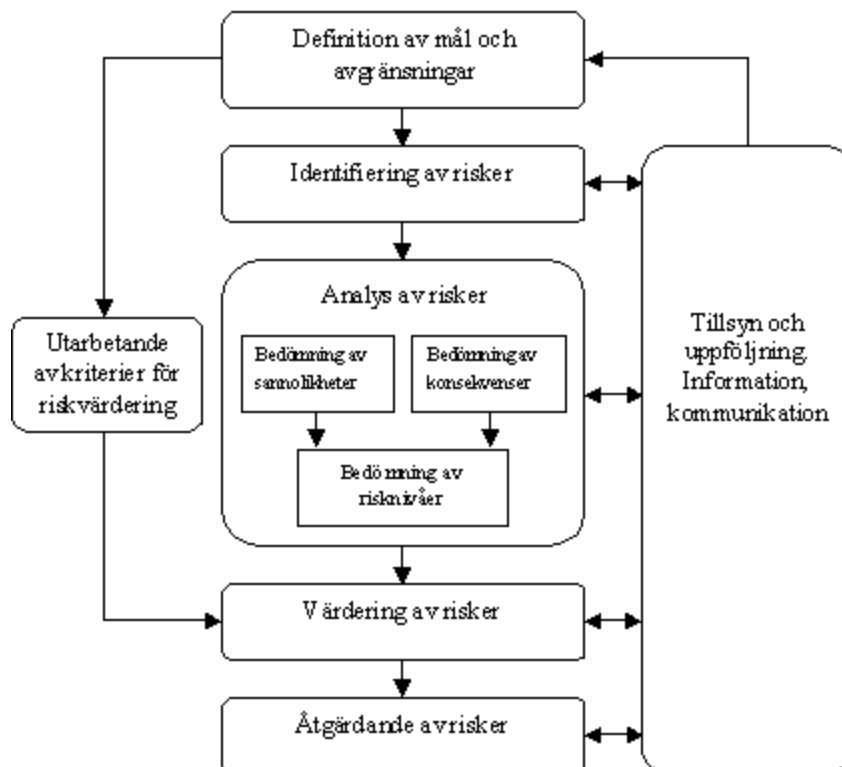
1.4.3 Samhällsrisk

Samhällsrisk är ett mått på risk för en grupp människor. Beräkningen av samhällsrisk kräver samma frekvens och konsekvensberäkningar som vid beräkning av individrisk. Utöver detta

behöver befolkningen i det område som förväntas bli påverkade av en skadehändelse kartläggas. Samhällsrisik redovisas som en funktion av frekvens (F) och antalet dödade (N)./26/

1.5 Analysens genomförande

Enligt Räddningsverket/6/ är målsättningen med risicanalys att belysa var och hur olyckor, tillbud och störningar kan inträffa, hur ofta detta kan tänkas ske och vilka konsekvenser som kan uppstå. Dessa kunskaper utgör underlag för värdering av riskerna och beslut om riskreducerande åtgärder. Risicanalysen är en del av den mer omfattande riskhanteringsprocessen som åskådliggörs nedan.



Figur 1.1 Element inom riskhantering/6/

Risicanalysen utgör en del av riskhanteringsprocessen. En risicanalys skall enligt "Handbok för risicanalys"/6/ omfatta följande delar:

1. Definiera mål och avgränsningar.
2. Inventera och identifiera risker.
3. Analysera risker, innefattande bedömning av sannolikhet och konsekvens.

Denna analys är upplagd enligt följande:

- Identifiering av risk
- Beräkning av frekvenser och sannolikheter
- Beräkning av konsekvenser
- Beräkning av individ och samhällsrisik
- Värdering av resultat
- Diskussion

Resultaten av risikanalysen presenteras i form av:

- Fördelningskurvor över konsekvensberäkningar
- Hndelsetrd eller tabeller fr sannolikhetsberäkningar
- Diagram och tabellvärden fr individrisken
- F/N diagram för samhällsrisken

2 Bakgrund

Ett flertal allvarliga olyckor och tillbud som inträffat under senare år vid hantering av farligt gods har lyft fram behovet av att på olika sätt arbeta för att mera effektivt förebygga sådana olyckor och begränsa konsekvenserna av de olyckor som ändå inträffar. Olyckorna visar att konsekvenserna inte bara påverkar den direkta olycksplatsen utan också människorna och hela miljön runtomkring på olika sätt.

Riskerna med transport av farligt gods kan minskas genom minskning eller flyttning av transporter, genom åtgärder på fordon eller genom förändring av spårområdet utformning. Riskerna kan också minskas genom fysisk planering och utformning av närområdet.

Med ordet risk menas en sammanvägd bedömning av sannolikhet för att en negativ, oväntad händelse ska inträffa och konsekvenserna som den medför. Risk uppfattas olika beroende på olika faktorer. I ”Handbok för riskanalys”/6/ listas ett antal faktorer som påverkar hur risk upplevs:

- Kännedom om riskkällan, generellt sett är acceptansen högre för risker som man känner till mycket om. Områden där man har personlig erfarenhet tenderar att uppfattas som mindre riskfyllt.
- Frivillighet, om man frivilligt låter sig påverkas av risken har man större acceptans till risken.
- Storlek på konsekvens, riskkällor som kan leda till mycket stora konsekvenser betraktas som mer riskfyllda än riskkällor där konsekvenserna realiserar i fler olyckor med mindre konsekvenser. Detta uttrycks ofta som att det föreligger en aversion mot stora olyckor.
- Kontroll över händelserna, en upplevd hög grad av kontroll av aktiviteten och tekniken innebär att riskerna bedöms som lägre än vid motsatta förhållanden.

Eftersom risker värderas olika varierar uppfattningen om vilken risknivå som är godtagbar för den enskilda individen och samhället. Det finns ett antal olika risktyper till vilka särskild hänsyn måste tas i samhällsplaneringen eftersom de medför en förhöjd risk för omgivningen. Det gör att vissa typer av verksamheter inte ska lokaliseras i anslutning till dessa risker. Olika typer av verksamheter har olika grad av skyddsbehov beroende på vilken möjlighet de människor som vistas där har att uppfatta och förstå en fara och själva utrymma eller sätta sig i säkerhet./28/

Genom en ändamålsenlig översiktsplanering kan man undvika fellokaliseringar och minska samhällets sårbarhet. Plan och bygglagen ger goda möjligheter att vidta planerings- och bebyggelseåtgärder som syftar till att minska riskerna i samhället. Det samma gäller för åtgärder som syftar till att öka skyddet i omgivningen av befintliga risker. Genom riskhänsyn i den fysiska planeringen kan sannolikheten för och konsekvenserna av en olycka minimeras för människor som bor eller vistas i riskkällans närområde. Det behövs en kombination av flera riskreducerande åtgärder för att uppnå acceptabel risknivå. Metoder för riskhänsyn i den fysiska planeringen utgörs av riskreducerande åtgärder som:

- Lokalisering, att lokalisera känslig bebyggelse till mark utanför riskområde. Eller att riskfyllda verksamheter lokaliseras med hänsyn till den riskbild som de innebär för omgivningen vilket även kan omfatta transporter av farligt gods till och från sådan verksamhet. Det är till exempel inte heller lämpligt att samla all infrastruktur till en punkt.

- Skyddsavstånd, att i skadebegränsande och förebyggande syfte lämna avstånd mellan riskkällor och skadeobjekt. Lämpligt skyddsavstånd beror av många faktorer i varje enskilt fall tex nivåskillnader, förhärskande vindriktning, trädriddåer, dimensionerande skadehändelse m.m.
- Utformning, att genom utformning och placering av byggnader, disponering av tomten samt utrymmen i byggnader lindra konsekvenserna av en olycka och även förebygga att olyckor inträffar.
- Tekniska åtgärder: genom att tex installera nödbrytare för ventilationen, utföra fasad mot riskkälla i obrännbart material eller förse ett intilliggande spår med skyddsräler för att minska konsekvenserna vid en urspårning m.m.

En annan faktor som påverkar riskbilden är räddningstjänstens möjlighet att genomföra en snabb insats. Att förbereda för lämpliga angreppsvägar och en säker utrymning om olyckan skulle vara framme är alltså också en del av samhällsplaneringen.

Kommunen har, enligt plan- och bygglagen ett huvudansvar för frågor om hälsa- och säkerhet. Bland annat ska kommunen ta hänsyn till dessa frågor i den fysiska planeringen. Detta sker i form av en lämplighetsbedömning från fall till fall. Enligt plan- och bygglagen bör frågor om hälsoskydd och säkerhet vara slutligt avgjorda i samband med planläggningen.

2.1 Tillämplig lagstiftning

2.1.1 Plan och bygglagen (1987:10)

Kommunen ansvarar för planläggningsarbetet inom kommunen. Kommunen är skyldig att planera samhällets utveckling så att det främjar en god och långsiktigt hållbar livsmiljö. Bland annat skall samhället planeras så att hänsyn tas till de boendes hälsa, deras rätt till skydd mot brand, mot trafikolyckor och mot andra olyckshändelser.

"1 § Denna lag innehåller bestämmelser om planläggning av mark och vatten och om byggande. Bestämmelserna syftar till att med beaktande av den enskilda människans frihet främja en samhällsutveckling med jämlika och goda sociala levnadsförhållanden och en god och långsiktigt hållbar livsmiljö för människorna i dagens samhälle och för kommande generationer. Lag (1993:419)."

"2 kap.3 § Bebyggelse skall lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till de boendes och övrigas hälsa."

2.1.2 Miljöbalken (1998:808)

Miljöbalken är en sammanslagning av femton miljölagar. Lagens huvudsyfte är att främja en skärpt miljölagstiftning som leder till en hållbar utveckling. Lagen är tillämplig på alla verksamheter eller åtgärder som inte är av försumbar betydelse för balkens mål. Alla typer av åtgärder som kan få betydelse för de intressen balken avser att skydda berörs, oavsett om de ingår i den enskildes dagliga liv eller i någon form av näringsverksamhet./C/

"Målet med miljöbalken är att främja en hållbar utveckling som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö. Miljöbalken bildar en övergripande lagstiftning som rör all miljöpåverkan. För att miljöbalkens mål ska kunna uppnås ska dess regler tillämpas så att

1. *människors hälsa och miljön skyddas mot skador och olägenheter, oavsett om dessa orsakas av föroreningar eller annan påverkan,*

2. värdefulla natur- och kulturmiljöer skyddas och vårdas,
3. den biologiska mångfalden bevaras,
4. mark, vatten och fysisk miljö i övrigt används så att en från ekologisk, social, kulturell och samhällsekonomisk synpunkt långsiktigt god hushållning tryggas, och
5. återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi främjas så att ett kretslopp uppnås.

Miljöbalkens tillämpningsområde är direkt kopplat till målet om en hållbar utveckling.”

2.1.3 Lag (2003:778) om skydd mot olyckor

Denna lag ger kommunerna en bredare roll i samhällets säkerhetsarbete. Begreppet skydd mot olyckor är ett samlingsbegrepp på de delar som sammantaget skall bedrivas:

- förhindra att olyckor uppstår
- vidta skadebegränsande åtgärder innan olyckan
- sprida och minimera risker
- förbereda och genomföra räddningsinsatser
- påverka skadorna efter räddningsinsatsen
- utreda orsakerna till varför olyckor inträffar

Lagen betonar att varje kommun måste anpassa verksamheten efter de förutsättningar och risker som råder lokalt liksom att den enskilde har ett stort ansvar för sin säkerhet. Det läggs stort fokus på kommunernas handlingsprogram för skydd mot olyckor. I dessa skall anges kommunens mål, strategier och prioriteringar och hur kommunen organiserar arbetet. Räddningstjänstens roll i kommunens arbete kommer i högre grad att innebära samordning och en expertroll kring risker och sårbarhet, från den lilla vardagsolyckan till svåra påfrestningen på samhället.

2.1.4 Lag (2003:103) om extraordinära händelser i fredstid

Det finns händelser som är större och mer komplexa än vad som är rimligt att begära av en kommuns räddningstjänst att planera och hålla beredskap för. En sådan händelse kallas en extraordinär händelse. En extraordinär händelse definieras som en händelse som avviker från det normala, innebär en allvarlig störning eller överhängande risk för en allvarlig störning i viktiga samhällsfunktioner och kräver skyndsamma insatser av en kommun eller ett landsting.

”1 § Denna lag reglerar kommuners och landstings organisation och befogenheter vid extraordinära händelser i fredstid. Med extraordinär händelse avses en sådan händelse som avviker från det normala, innebär en allvarlig störning eller överhängande risk för en allvarlig störning i viktiga samhällsfunktioner och kräver skyndsamma insatser av en kommun eller ett landsting.”

”2 § Kommuner och landsting skall för varje ny mandatperiod fastställa en plan för hur de skall hantera extraordinära händelser.”

2.1.5 Lag (1982:821) om transport av farligt gods

Transportföretag har ett ansvar att undvika olyckor med farligt gods under transport. För att minska risken för olyckor med farligt gods under transport regleras därför transportföretagens verksamhet i lagtext.

”2 § Med farligt gods förstås i denna lag gods som består av eller innehåller explosiva ämnen och föremål, gaser, brandfarliga vätskor, brandfarliga fasta ämnen, självantändande ämnen,

mnen som utvecklal brandfarlig gas vid kontakt med vatten, oxiderande ämnen, organiska peroxider, giftiga ämnen, smittförande ämnen, radioaktiva ämnen, frätande ämnen samt övriga farliga ämnen och föremål som regeringen, eller den myndighet som regeringen bestämmer, särskilt föreskriver och som vid transport kan medföra skador på människor, djur, egendom eller i miljön eller påverka transportmedlets säkra framförande. Lag (1999:334)."

"8 § Vid transport skall de åtgärder vidtas och den försiktighet iakttas som fordras för att hindra eller motverka, att det farliga godset orsakar skador på människor, djur, egendom och i miljön. Transportmedel och andra transportanordningar skall vara av sådan beskaffenhet att de står emot påkänningarna vid transport."

I Lag om skydd mot olyckor kommer enskilda och företag få ett större ansvar för att hindra uppkomst av situationer som kan leda till olyckor.

3 Analysmetod

Vid val av vilken analysmetod som använts har det följande kriterier använts:/6/

- Var i riskhanteringsprocessen man befinner sig. I ett inledande skede är det bäst att börja med en grovre metodik för att skapa överblick och underlag för prioritering av fortsatt arbete.
- I vilken fas verksamheten som ska analyseras befinner sig.
- Syftet med analysen. Kraven på noggrannhet och fullständighet i riskidentifiering, orsaks- och konsekvensbedömning är beroende av vad resultatet ska användas till.
- Tillgängliga resurser.

3.1 Val av modell

För att beräkna den risk som järnvägssträckningen genom Halmstad utgör på sin omgivning har kvantitativ riskanalys (QRA) använts. Modellen beskriver ett systematiskt tillvägagångssätt där ett flertal olika metoder för identifiering och beräkning av risk kan användas. Denna modell har valts för att det skall vara möjligt att jämföra resultatet av analysen med andra analyser. Rapporten består av följande steg:

- Identifiering av risker
- Beräkning av frekvenser och sannolikheter
- Beräkning av konsekvenser
- Bedömning av risknivå
- Värdering av risker

En kvantitativ riskanalys syftar till att genom konsekvens och frekvens -beräkningar få fram ett absolut mått på hur stor risk en verksamhet eller ett system utgör för sin omgivning. Resultatet av en QRA brukar presenteras med individrisk och samhällsrisk./25/

I rapporten har följande metoder använts:

Identifiering av risk:

För att identifiera riskkällor har "Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen"/14/ använts. I denna är följande olyckstyper aktuella: urspårning, påkörning, sammanstötning mellan tåg, växelolyckor, bränder och plankorsningsolyckor.

Beräkning av sannolikhet och frekvens:

Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI) har tagit fram en kvantitativ metod för att analysera risker förknippade med transporter av farligt gods. Metoden togs fram på uppdrag av bland annat Vägverket, Banverket och Räddningsverket i början på 1990-talet./25/

VTI-modellen syftar till att analysera risker med transport av farligt gods på väg och järnväg. Modellen beaktar såväl sannolikheten för som konsekvensen av en olycka med farligt gods. Modellen lämpar sig bäst till en jämförande studie mellan olika alternativ till sträckning av väg eller järnväg. I brist på alternativa metoder att beräkna sannolikhet för olycka med farligt gods på järnväg har denna metod ändå ansetts vara den som bäst tjänar syftet med rapporten.

VTI-modellen kan sägas bestå av fyra delar, uppskattning av det förväntade antalet farligtgoodsolyckor vid transport på väg respektive järnväg, konsekvensuppskattning av

olyckorna och uppskattning av de samhällsekonomiska kostnaderna vid en olycka med farligt gods. Den metod som använts finns beskriven i:

- *Risikanalysmetoder för transporter av farligt gods på väg och järnväg./8/*
- *Om sannolikhet för järnvägsolyckor med farligt gods./17/*
- *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen./14/*

I denna rapport används endast den del av VTI-modellen som uppskattar förväntat antal olyckor på järnväg.

Beräkning av konsekvenser:

Vid konsekvensberäkningarna har gaussisk spridningsmodell använts eftersom denna metod lämpar sig väl för att ta fram spridningseffekter på långt avstånd från utloppskällan. Ett alternativ till den gaussiska spridningsmodellen hade varit en cfd-modellering. Beräkningstiden för en cfd-modellering är ungefär 10 timmar att jämföra med en beräkningstid på ett par minuter med den gaussiska spridningsmodellen. Skillnaden mellan de båda beräkningssätten är liten speciellt om det är koncentrationsfältet på ett avstånd från källan man är intresserad av./29/ Den metod som använts finns beskriven i:

- *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor./9/*

Enligt denna modell beräknas dimensionerande koncentrationer, massflöde och avstånd till dimensionerande koncentration. Eftersom det är svårt att uppskatta en del faktorer som används vid beräkning av massflödes och spridningsberäkningarna har en del indata behandlats som fördelningar och inte som diskreta variabler. Dessa fördelningar har sedan behandlats i datorprogrammet @Risk.

Värdering av risk:

Det finns idag inga etablerade enhetliga och accepterade kriterier för värdering av risk i Sverige. Detta gör att resultaten av en risikanalys inte kan översättas på ett likformigt sätt till andra termer än rent matematiska. Ett framtagande av dylika kriterier hade inneburit att analysrapporter klarare än idag kan redovisa slutsatser, förutsättningar, antaganden och osäkerheter.

Många länder har tagit fram kriterier för värdering av risk. Det framstår som att Holland och Storbritannien är de länder som kommit längst i arbetet med att arbeta med kriterier för värdering av risk. Det Norske Veritas rekommenderar kriterier för värdering av både samhällsrisk och individrisk./23/

Individrisken och samhällsrisk jämförs med kriterier som Det Norske Veritas/23/ och Holländska myndigheter/6/ använder vid värdering av risk.

4 Objektsbeskrivning

Rapporten behandlar järnvägssträckningen genom Halmstad tätort. Cirka sju kilometer järnväg passerar genom centrala Halmstad. Järnvägen används både till persontrafik och till godstrafik. Godstrafiken passerar framförallt på nattetid och persontrafiken på dagtid. I de västra delarna av Halmstad förenas två spårsträckningar, Väst kustbanan och Halmstad – Nässjöbanan.



Figur 4.1 Karta Halmstad

4.1 Väst kustbanan

Väst kustbanan går från Göteborg till Lund via några olika vägar i Skåne. En gren går från Eldsberga, söder om Halmstad, via Markaryd till Hässleholm. En annan fortsätter från Eldsberga via Hallandsås – Ängelholm – Helsingborg. Meningen är att banan ska få dubbelspår hela vägen från Göteborg till Ängelholm och utbyggnad pågår.

Från Helsingborg går banan vidare i två grenar till Kävlinge. Den ena delen är en helt ny dubbelspårig järnväg till Landskrona Östra, som sedan fortsätter som dubbelspår till Kävlinge, medan den andra är en enkelspårig bana via Teckomatorp till Kävlinge. Väst kustbanan går

sedan vidare till Lund. Mellan Kävlinge och Vallkärra finns ett färdigt dubbelspår medan utredning om fortsatt bygge till Lund pågår. Västkustbanan r hårt utnyttjad av både gods- och persontrafik./D/

4.2 Halmstad-Nässjö

Lnsjrnvgen Halmstad – Nässjö r enkelspårig och oelektrifierad. Banan trafikeras av både person- och godstrafik./D/

5 Inventering

5.1 Inventering av frekvensfaktorer

5.1.1 Spårfakta

Enligt VTI-modellen skall följande spårfaktorer beaktas i analysen/14/:

| | |
|--|---------------------|
| - Avsnittets längd i km | 7 km |
| - Spårkvalitet (A, B, C, D) | A |
| - Antal plankorsningar med bommar | 4 st |
| - Antal plankorsningar med ljus och ljud | 0 |
| - Antal plankorsningar utan skydd | 0 |
| - Antal vagnaxelkilometer godståg, tvåaxlad godsvagn | 2 009 196 axelkm/år |
| - Antal vagnaxelkilometer godståg, fyraxlad godsvagn | 2 455 684 axelkm/år |
| - Antal tågpassager | 9 113 tåg/år |
| - Antal tågakilometer | 55 125 tågkm/år |
| - Antal växlar | 14 st. |

Resultaten av inventeringen är hämtade ur ”Riskstudie avseende alternativa bansträckningar för Falkenberg”/16/ i fråga om axelkilometrar och tågpassager. Dessa data anses stämma bra med flödet genom Halmstad då det inte finns några andra anslutande spår mellan Halmstad och Falkenberg. På Halmstad-Nässjöbanan transporteras enligt uppgift från Green Cargo(platsbesök Halmstad rangerbangård) endast en liten mängd farligt gods. Speciellt sedan Stora Enso i Hylte har övergått till lastbilstransport av sitt pappersblekmedel. Övriga faktorer har tagits fram med hjälp av inventering och konsultation med banverket.

5.1.2 Godsstatistik

Nedanstående statistik bygger på uppgifter ur ”Säkerhetsvärdering Tröingebergstunneln”/15/ och ”Riskstudie avseende alternativa bansträckningar för Falkenberg”./16/ I ”Riskstudie avseende alternativa bansträckningar för Falkenberg”/16/ resoneras om hur godsflödena antas förändras över tiden. Banverkets prognos visar att mängden gods kommer fördubblas mellan 1997 och 2005. Det antas att mängden farligt gods också kommer att fördubblas.

| | <i>Vagnar/År (1997)</i> | <i>Ton/vagn</i> | <i>Fg vagnar/tåg</i> | <i>Vagnar/År (2005)</i> |
|----------------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|-------------------------|
| <i>Ammoniak</i> | 248 | 21 | 1/12 | 496 |
| <i>Klor</i> | 40 | 21 | 1/8 | 80 |
| <i>Svaveldioxid</i> | 123 | 16 | 1/25 | 246 |
| <i>Eldningsolja</i> | 10 | 25 | 1/300 | 20 |
| <i>Kiseljärn</i> | 79 | 36 | 1/38 | 158 |
| <i>Natriumhydroxid</i> | 544 | 29 | ¼ | 1088 |
| <i>Gasol</i> | 687 | 22 | ½ | 1374 |
| <i>Väteperoxid</i> | 247 | 33 | 1/12 | 494 |
| <i>Farligt gods totalt</i> | 2421 | 25 | 1/1,2 | 4842 |

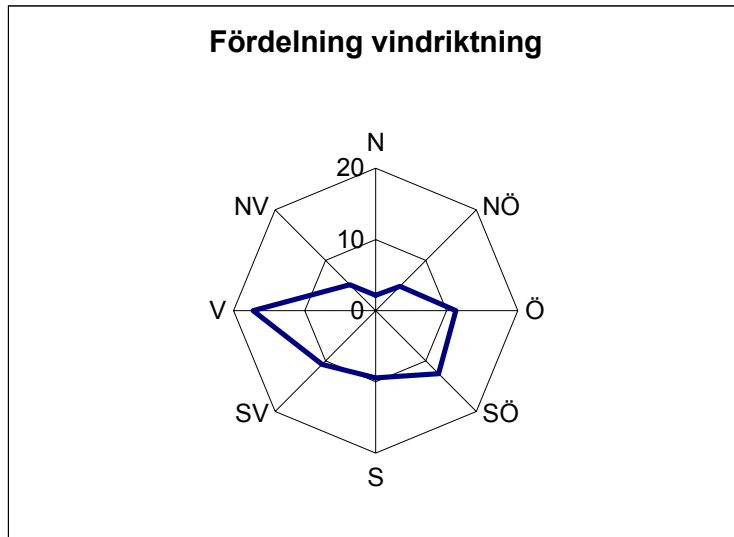
Tabell 5.1 Godsflöde

I denna rapport används banverkets prognos för godsvolymer 2005. De verkliga volymer av gasol kan antas vara mindre än de prognostiserade eftersom Pilkington Floatglas i Halmstad har gått över från gasol till naturgas i sin process.

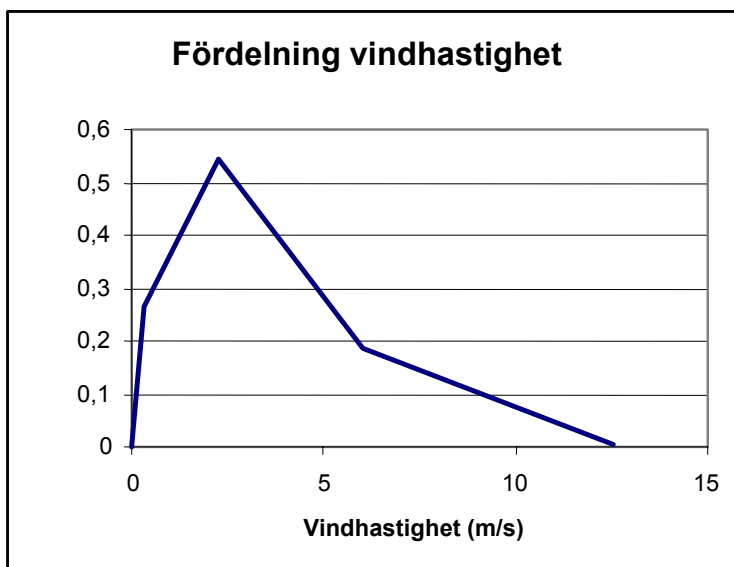
5.2 Inventering av konsekvensfaktorer

5.2.1 Vindriktning och vindstyrka

För att bedöma fördelning av vindriktning och vindstyrka har uppgifter hämtats från analysenheten på Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut./29/



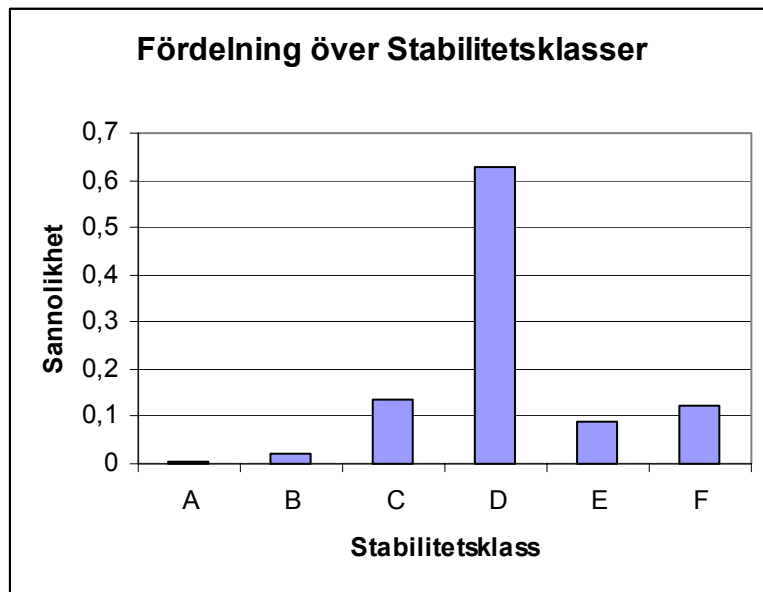
Figur 5.1 Fördelning vindriktning



Figur 5.2 Fördelning vindhastighet

5.2.2 Stabilitetsklass

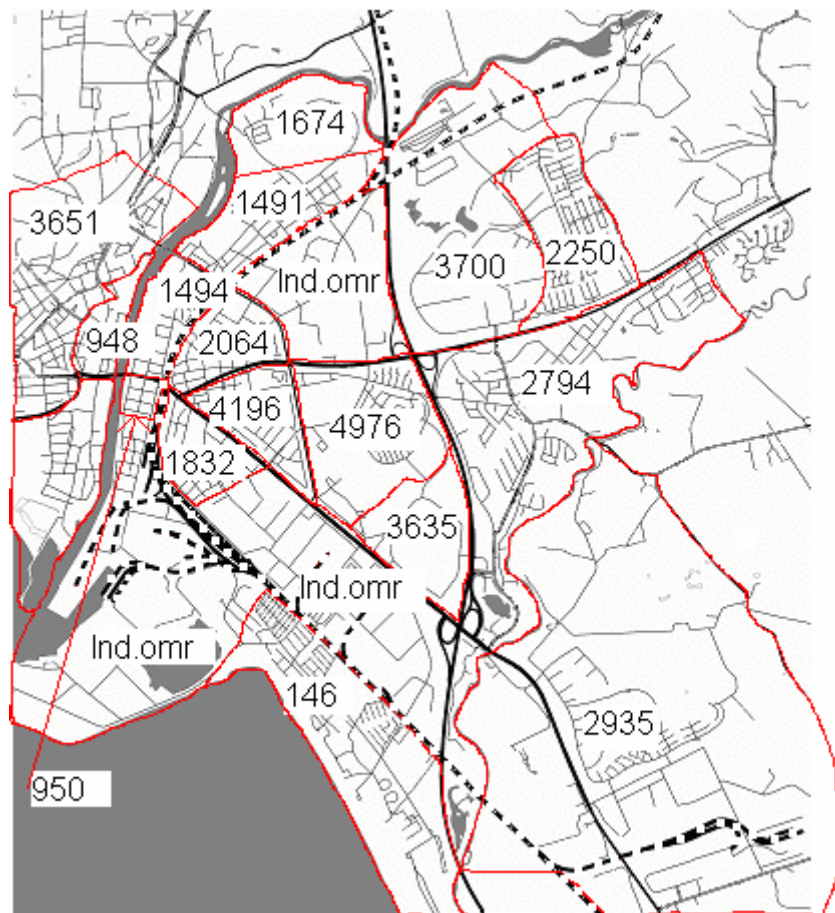
Statistik över stabilitetsklasser har hämtats ur "Riskhänsyn vid fysisk planering"./12/ Det statistiska underlaget är från Malmö. Enligt telefonsamtal med jourhavande klimatolog på SMHI/F/ är skillnaden mellan Malmö och Halmstad, vad gäller stabilitetsklass, försumbar varför dessa fördelningar över de olika stabilitetsklasserna kan användas.



Figur 5.3 Fördelning stabilitetsklass

5.2.3 Befolkningsdata

Data om befolkningstäthet i Halmstad har hämtats ur "Områdesdata 2001"./22/ Ytarealerna i respektive område har erhållits av stadskontoret i Halmstad. En sammanställning av statistiken återfinns i bilaga A.



Figur 5.4 Befolkning per område

6 Konsekvensberäkningar

Beräkningarna av konsekvenserna av ett utsläpp av farligt gods syftar till att få fram avståndet från utloppskällan till en viss dimensionerande koncentration. Då många utav de faktorer som ingår i beräkningarna är osäkra har några utav dessa beräknats som fördelningar istället för som diskreta värden. Detta innebär att resultatet även presenteras som en fördelning. För att få fram denna fördelning av dimensionerande avstånd från utloppskällan har följande beräkningsgång använts.

- Beräkning av dimensionerande koncentrationer.
- Beräkning av massflöden
- Spridningsberäkningar

6.1 Dimensionerande koncentrationer

De dimensionerande koncentrationerna har tagits fram för ammoniak, klor, svaveldioxid och gasol. Dessa ämnen har valts utifrån att de transporteras i tryckkondenserad form och ett eventuellt utsläpp av dessa ämnen förväntas påverka ett stort område runt utsläppet. Dessa ämnen transporteras även ganska frekvent enligt transportstatistiken. Syftet med beräkningen av de dimensionerande koncentrationerna är att få fram det koncentrationsvärde till vilket avståndet från utloppskällan skall beräknas.

6.1.1 Tryckkondenserade giftiga gaser

För att bestämma dimensionerande koncentration för ammoniak, klor och svaveldioxid används metod som finns beskriven i ”Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor”.^{9/} De akuta effekterna av en förgiftning är större vid en exponering av ett ämne med hög koncentration under kort tid än en exponering av låg koncentration under lång tid, trots att den totala dosen är densamma. För att kunna beskriva detta matematiskt används en probitfunktion. Probitfunktionen tar hänsyn till vilken parameter som har störst betydelse för responsen. Detta innebär att de toxiska effekterna inte ökar linjärt vid ökad dosering utan hänsyn tas till kroppens tillvänjning och metabolism. Emellertid motsvaras EC₅₀ och LC₅₀ av probitvärdet 0, vilket gör att det matematiska uttrycket förenklas och får nedanstående utseende.

$$C = \sqrt[n]{\frac{e^{(-\alpha / \beta_2)}}{t}} \quad (\text{mg/m}^3)$$

Vid beräkningarna av dimensionerande koncentration har två olika skadeutfall använts. Det ena skadeutfallet är att 50 % av den utsatta populationen avlider, LC₅₀. För att förenkla beräkningarna antas att alla utanför det område som definieras av LC₅₀-gränsen överlever och alla innanför detta område dör. I verkligheten hade några personer utanför skadeområdet avlidit och några personer inom området överlevt. Antagandet går ut på att dessa tar ut varandra.

Det andra skadeutfallet är att 50 % av den utsatta populationen blir akut vårdkrävande, EC₅₀. Beräkningarna har förenklats genom samma antagande som vid beräkning av LC₅₀-gränsen alltså antas att alla personer inom det område som definieras av EC₅₀-värdet blir akut vårdberoende, och alla de utanför området blir inte akut vårdberoende.

Vid beräkningarna har nedanstående indata använts. Samtliga parametrar är hämtade i ”Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor”./9/

Ammoniak, NH₃, akut vårdkrävande respektive dödlig koncentration

| Variabel, NH ₃ | Värde (akut vårdkrävande, EC ₅₀) | Värde (dödlig koncentration, LC ₅₀) |
|---------------------------|--|---|
| <i>n</i> | 1,44 | 1,44 |
| <i>α</i> | -10,23 | -14,70 |
| <i>β</i> ₂ | 0,96 | 0,96 |
| <i>t</i> | 10 min | 10 min |

Tabell 6.1 Indata beräkning av dimensionerande koncentration

Dessa indata ger vid handen att dimensionerande koncentrationen för akut vårdkrävande är 330 mg/m³ och den dimensionerande dödliga koncentrationen är 8388mg/m³.

Klor, Cl₂, akut vårdkrävande respektive dödlig koncentration

| Variabel, Cl ₂ | Värde (akut vårdkrävande, EC ₅₀) | Värde (dödlig koncentration, LC ₅₀) |
|---------------------------|--|---|
| <i>n</i> | 0,97 | 0,97 |
| <i>α</i> | -15,21 | -22,97 |
| <i>β</i> ₂ | 2,41 | 2,41 |
| <i>t</i> | 10 min | 10 min |

Tabell 6.2 Indata beräkning av dimensionerande koncentration

Dessa indata ger en dimensionerande koncentration för kategorin akut vårdkrävande på 62,33 mg/m³ och en dimensionerande koncentration för kategorin dödlig koncentration på 1723 mg/m³.

Svaveldioxid, SO₂, akut vårdkrävande respektive dödlig koncentration

| Variabel, SO ₂ | Värde (akut vårdkrävande, EC ₅₀) | Värde (dödlig koncentration, LC ₅₀) |
|---------------------------|--|---|
| <i>n</i> | 4,42 | 4,42 |
| <i>α</i> | -23,10 | -32,79 |
| <i>β</i> ₂ | 1,0 | 1,0 |
| <i>t</i> | 10 min | 10 min |

Tabell 6.3 Indata beräkning av dimensionerande koncentration

Med dessa indata blir de dimensionerande koncentrationerna 111 mg/m³ och 990 mg/m³ för akut vårdkrävande respektive dödlig koncentration.

Resultaten av beräkningarna visas nedan.

| | 50 % akut vårdkrävande | 50 % döda |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Ammoniak, NH ₃ | 330 mg/m ³ | 8388 mg/m ³ |
| Klor, Cl ₂ | 62,33 mg/m ³ | 1723 mg/m ³ |
| Svaveldioxid, SO ₂ | 111 mg/m ³ | 990 mg/m ³ |

Tabell 6.4 Dimensionerande koncentrationer

6.1.2 Tryckkondenserade brandfarliga gaser

Gasol är enligt godsstatistiken den mest frekvent transporterade tryckkondenserade gasen. För att beräkna den dimensionerande koncentrationen används metod som kan anses vara praxis. Metoden används framförallt vid dimensionering av skyddsavstånd och innebär att en

fjärdedel av den undre brännbarhetsgränsen används som dimensionerande koncentration. Detta innebär att beräkningarna av den dimensionerande koncentrationen blir konservativt.

Gasol

Enligt "An introduction to fire dynamics"/13/ är undre brännbarhetsgränsen för propan 0,042 kg/m³. Dimensionerande koncentration är en fjärdedel av brännbarhetsgränsen blir den 0,042/4=0,0105 kg/m³. Inom området från utloppskällan till koncentrationen 0,0105 kg/m³ antas att gasmolnet kan antändas och brinna.

6.2 Massflöde

Vid massflödesberäkningarna har det antagits att läckaget har varit i vätskefas. Detta har gjorts av två anledningar. Dels är det ett konservativt antagande då de största konsekvenserna fås vid läckage från vätskefasen av en tryckkondenserad gas. Dels antas det vara mest sannolikt att en tank vid en eventuell urspårning, kollision eller vältning börjar läcka i botten. Syftet med massflödesberäkningarna är att få fram en fördelning av massflöden att använda till beräkningarna av avstånd mellan utloppskällan och den dimensionerande koncentrationen.

För att beräkna massflödet ur en havererad och punkterad tank har följande formel ur "Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor"/9/ använts.

$$Q = Cd \cdot A \sqrt{\frac{2(P_0 - P_a)}{\rho_f}} \quad (\text{kg/s})$$

Ungefär 80 % av alla hål i tankar har en diameter mellan 0 och 8 centimeter,/24/ ofta är det tvåtums tankanslutningar som slås av./19/ Av dessa anledningar antas att hålstorleken är triangulärt fördelad mellan 1 och 8 centimeter med 5 centimeter som troligaste värde.

Kontraktionsfaktorn, Cd, antas vara likformigt fördelad mellan 0,5 och 0,7./9/

| | Fördelning | Värde |
|------------------------|------------------------------|------------------------|
| Kontraktionsfaktor, Cd | Likformigt(min; max) | 0,5; 0,7 |
| Håldiameter, 2r | Triang.(min; troligast; max) | 0,01 m; 0,05 m; 0,08 m |

Tabell 6.5 Indata massflödesberäkningar

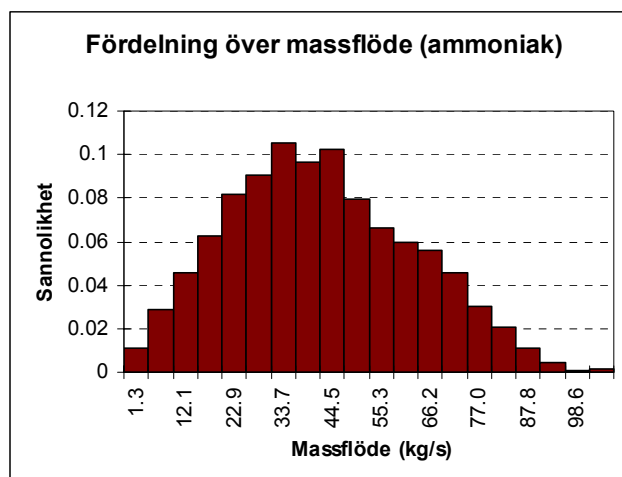
Övriga variabler har tilldelats följande diskreta värden.

| | Tanktryck, P ₀ | Atm.tryck, P _a | Volymitet, v _f |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Ammoniak, NH ₃ | 853347 Pa | 101325 Pa | 0,00147 m ³ /kg |
| Klor, Cl ₂ | 650000 Pa | 101325 Pa | 0,00064 m ³ /kg |
| Svaveldioxid, SO ₂ | 340000 Pa | 101325 Pa | 0,00069 m ³ /kg |
| Gasol, C ₃ H ₈ | 833000 Pa | 101325 Pa | 0,00182 m ³ /kg |

Tabell 6.6 Indata massflödesberäkningar

Beräkningarna av massflöde från en tank med en tryckkondenserad gas har gett följande resultat.

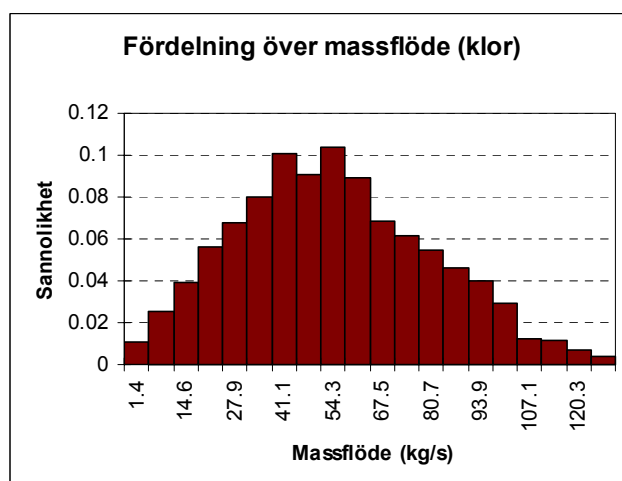
Ammoniak, NH₃



| Ammoniak, NH ₃ | |
|---------------------------|------------|
| Minvärde | 1,3 kg/s |
| Maxvärde | 109,0 kg/s |
| 50 % percentil | 43,2 kg/s |
| 80 % percentil | 63,6 kg/s |
| 95 % percentil | 80,0 kg/s |

Figur 6.1 Massflöde Ammoniak

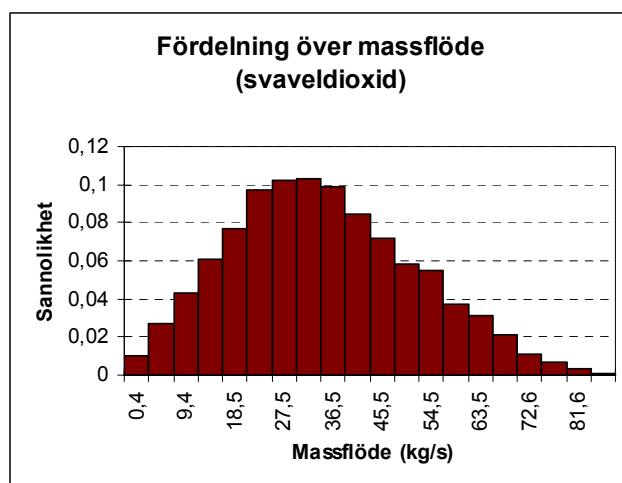
Klor, Cl₂



| Klor, Cl ₂ | |
|-----------------------|------------|
| Minvärde | 1,5 kg/s |
| Maxvärde | 137,0 kg/s |
| 50 % percentil | 55,5 kg/s |
| 80 % percentil | 81,7 kg/s |
| 95 % percentil | 103,7 kg/s |

Figur 6.2 Massflöde Klor

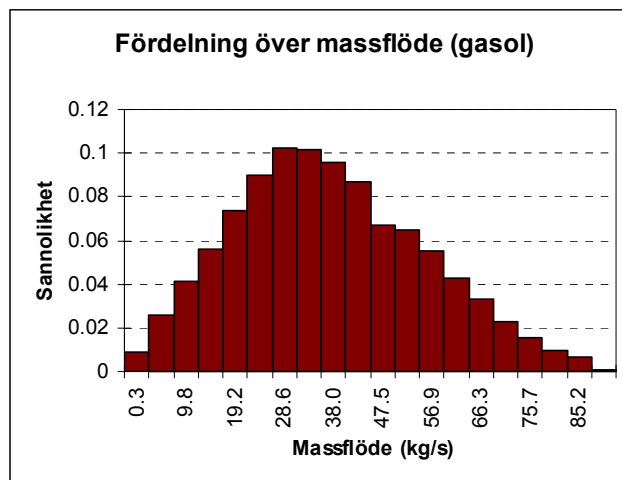
Svaveldioxid, SO₂



| Svaveldioxid, SO ₂ | |
|-------------------------------|-----------|
| Minvärde | 0,4 kg/s |
| Maxvärde | 90,0 kg/s |
| 50 % percentil | 35,5 kg/s |
| 80 % percentil | 51,7 kg/s |
| 95 % percentil | 67,0 kg/s |

Figur 6.3 Massflöde Svaveldioxid

Gasol



| Gasol, C ₃ H ₈ | |
|--------------------------------------|-----------|
| Minvärde | 0,3 kg/s |
| Maxvärde | 94,6 kg/s |
| 50 % percentil | 38,0 kg/s |
| 80 % percentil | 55,8 kg/s |
| 95 % percentil | 71,8 kg/s |

Figur 6.4 Massflöde Gasol

Resultaten av massflödesberäkningarna har anpassats med funktionen Best Fit i datorprogrammet @Risk. Detta innebär att resultaten behandlas som fördelningar i de fortsatta beräkningarna.

6.3 Spridningsberäkningar

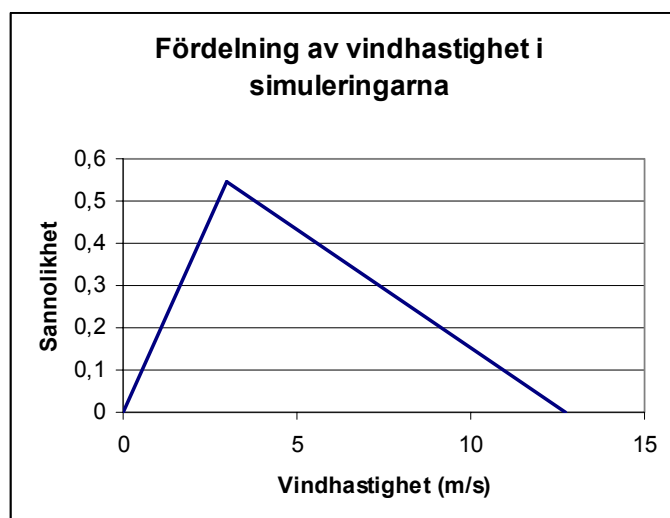
Beräkningarna av spridning har utförts enligt metoden gaussisk spridningsmodell. Denna metod lämpar sig bra för beräkningar av effekter på ett stort avstånd från utloppskällan. Syftet med spridningsberäkningarna är att få fram inom vilket avstånd från utloppskällan som koncentrationen är högre eller lika med den dimensionerande koncentrationen.

Som dimensionerande koncentration används dels värdet för 50 % akut vårdkrävande, dels värdet för 50 % döda enligt tabell 6.4 för de giftiga gaserna. För gasol används värdet för ¼ av undre brännbarhetsområdet.

För att beräkna avstånd till gräns för dimensionerande koncentration, har formel som hämtats ur "Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor"/9/ använts. Spridningskoefficienterna har approximerats enligt metod som finns beskriven i "Methods for the calculation of the physical effects of the escape of dangerous materials"/21/ Detta innebär att ursprungsformeln modifieras och får följande utseende.

$$x = e^{\left(\frac{\ln\left(\frac{Q}{acuC\pi}\right)}{b+d} \right)} \quad (\text{m})$$

Vindhastigheten(u) har tilldelats en triangulär fördelning med minimivärde 0,1 m/s, maximivärde 12,5 m/s och mest sannolika värde 3 m/s. Denna fördelning stämmer överens med de statistiska uppgifter som erhållits från SMHI./29/



Figur 6.5 Simulerad vindhastighet

Konstanterna a, b, c och d beror på vilken stabilitetsklass som råder. Konstanterna har tilldelats värden som motsvarar stabilitetsklass D, som är den vanligaste stabilitetsklassen. Värdena är hämtade i "Methods for the calculation of the physical effects of the escape of dangerous materials"/21/

Massflödet Q har tilldelats de fördelningar som räknats fram i Massflöde. Detta har gjorts med hjälp av funktionen Best Fit i @Risk. Vid beräkning har följande indata använts.

| | Fördelning | Värde |
|------------------|------------------------------|---------------------------|
| Massflöde, Q | Enligt tidigare beräkning | Enligt tidigare beräkning |
| a | Konstant | 0,128 |
| b | Konstant | 0,905 |
| c | Konstant | 0,20 |
| d | Konstant | 0,76 |
| Vindhastighet, u | Triang.(min; troligast; max) | 0,1 m/s; 3 m/s; 12,5 m/s |

| Koncentration, C, Giftiga gaser | 50 %, akut vårdkrävande | 50 %, döda |
|---------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Ammoniak, NH ₃ | 330 mg/m ³ | 8388 mg/m ³ |
| Klor, Cl ₂ | 62,33 mg/m ³ | 1723 mg/m ³ |
| Svaveldioxid, SO ₂ | 111 mg/m ³ | 990 mg/m ³ |

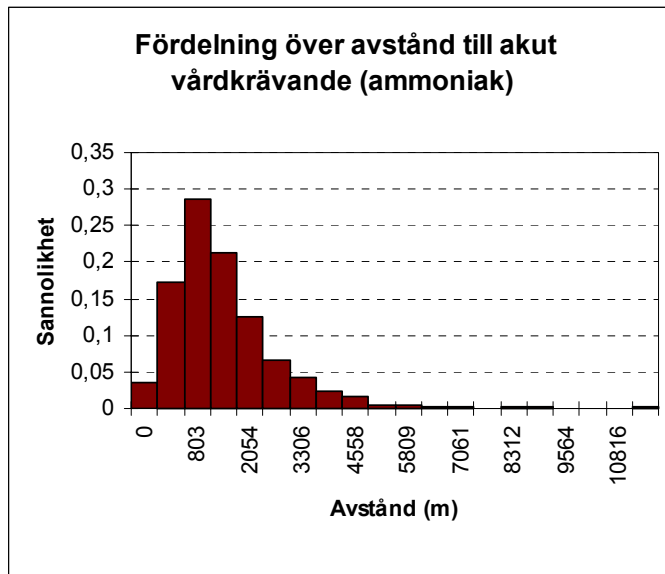
| Koncentration, C, Brandfarliga gaser | 1/4 av UB |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Gasol | 10500 mg/m ³ |

Tabell 6.7 Indata avståndsberäkningar

Nedan redovisas resultaten av spridningsberäkningarna. De resultat som redovisas är fördelningar av avstånd till koncentration som innebär att 50 % av en påverkad population kräver akut vård och fördelningar av avstånd till koncentration som innebär att 50 % av en påverkad population avlider för de giftiga gaserna.

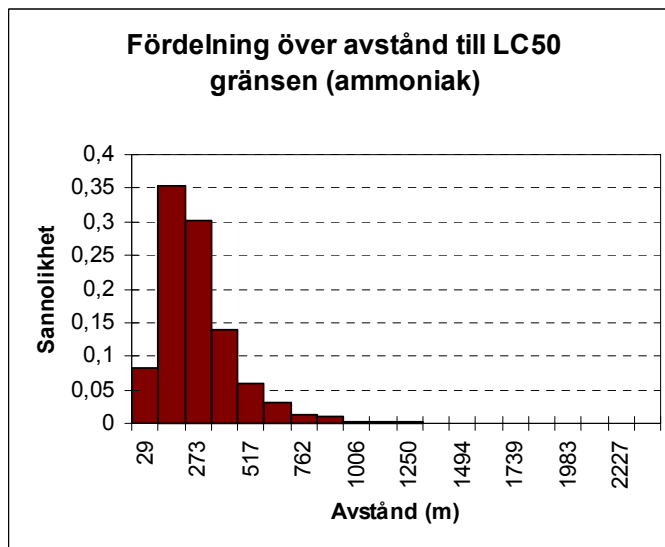
För gasol redovisas fördelning av avstånd från utloppskällan till 1/4 av undre brännbarhetsområdet.

Ammoniak, NH₃



Figur 6.6 Avstånd akut vårdkrävande Ammoniak

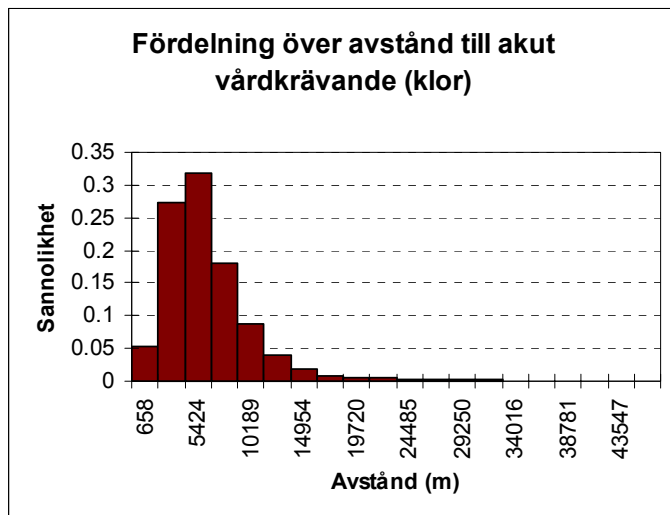
| Ammoniak, NH ₃ , akut vårdkrävande | |
|---|---------|
| Minvärde | 177 m |
| Maxvärde | 12692 m |
| 50 % percentil | 2068 m |
| 80 % percentil | 3095 m |
| 95 % percentil | 4738 m |



Figur 6.7 Avstånd LC₅₀ Ammoniak

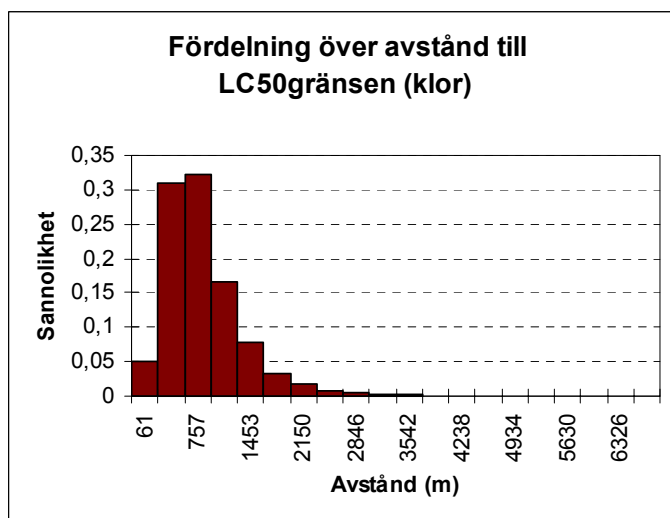
| Ammoniak, NH ₃ , döda | |
|----------------------------------|--------|
| Minvärde | 29 m |
| Maxvärde | 2471 m |
| 50 % percentil | 295 m |
| 80 % percentil | 433 m |
| 95 % percentil | 690 m |

Klor, Cl₂



Figur 6.8 Avstånd akut vårdkrävande Klor

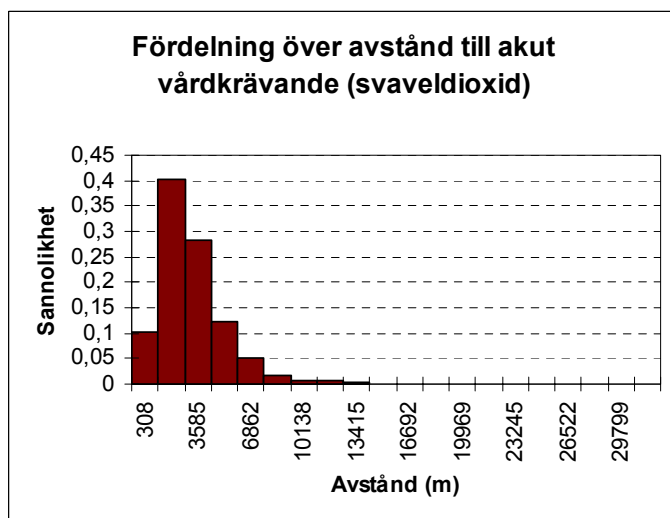
| Klor, Cl ₂ , akut vårdkrävande | |
|---|---------|
| Minvärde | 658 m |
| Maxvärde | 48311 m |
| 50 % percentil | 6614 m |
| 80 % percentil | 9672 m |
| 95 % percentil | 14585 m |



Figur 6.9 Avstånd LC₅₀ Svaveldioxid

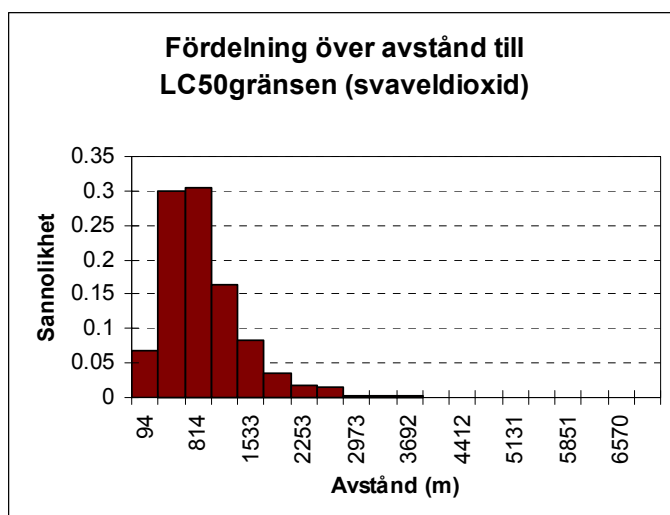
| Klor, Cl ₂ , döda | |
|------------------------------|--------|
| Minvärde | 61 m |
| Maxvärde | 7022 m |
| 50 % percentil | 889 m |
| 80 % percentil | 1319 m |
| 95 % percentil | 2016 m |

Svaveldioxid, SO₂



Figur 6.10 Avstånd akut vårdkrävande Svaveldioxid

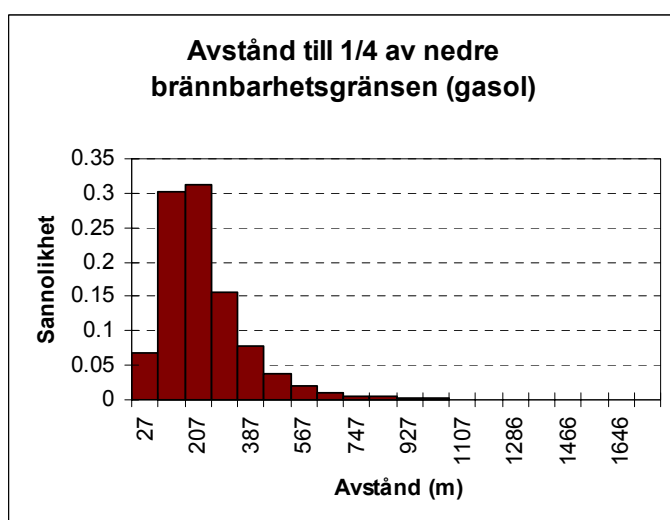
| Svaveldioxid, SO ₂ , akut vårdkrävande | |
|---|---------|
| Minvärde | 308 m |
| Maxvärde | 33075 m |
| 50 % percentil | 3557 m |
| 80 % percentil | 5325 m |
| 95 % percentil | 7953 m |



Figur 6.11 Avstånd LC₅₀ Svaveldioxid

| Svaveldioxid, SO ₂ , döda | |
|--------------------------------------|--------|
| Minvärde | 94 m |
| Maxvärde | 7290 m |
| 50 % percentil | 956 m |
| 80 % percentil | 1428 m |
| 95 % percentil | 2214 m |

Gasol, gasexplosion



Figur 6.12 Avstånd till 1/4 av nedre brännbarhetsgränsen

| Gasol, C ₃ H ₈ | |
|--------------------------------------|--------|
| Minvärde | 27,1 m |
| Maxvärde | 1829 m |
| 50 % percentil | 239 m |
| 80 % percentil | 358 m |
| 95 % percentil | 591 m |

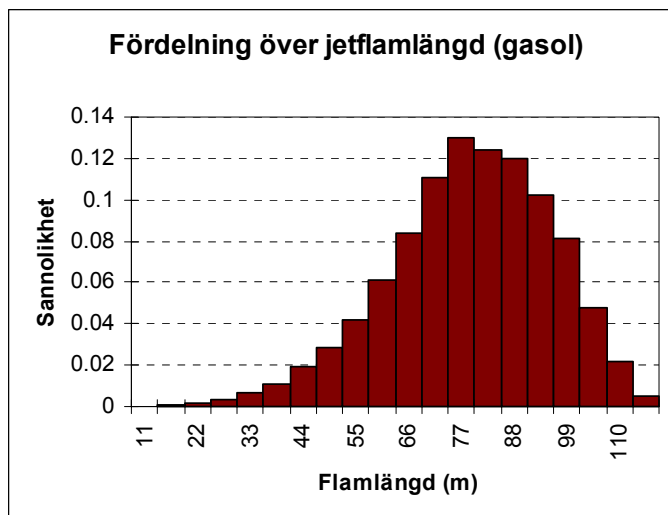
I de följande beräkningarna används värdena för 50 % döda som dimensionerande koncentrationer. Eftersom detta ger ett resultat som kan användas i beräkningarna av individ- och samhällsrisik.

Gasol, jetflamma

För att kunna göra några bedömningar av konsekvensen för ett scenario med en jetflamma från en gasoltank har längden på en eventuell jetflamma beräknats. En jetflammas storlek beror på massan gas som strömmar ur tanken. Massflödet (Q) har i beräkningarna tilldelats den fördelning som är resultatet av massflödesberäkningarna. Följande formel har använts vid simuleringen./11/

$$L = 9,1 \cdot Q^{0,5} \quad (m)$$

Med dessa indata fördelar sig längden av en jetflamma enligt följande:



Figur 6.13 Flamlngd

| Gasol, C ₃ H ₈ | |
|--------------------------------------|---------|
| Minvärde | 10,9 m |
| Maxvärde | 115,1 m |
| 50 % percentil | 76 m |
| 80 % percentil | 90 m |
| 95 % percentil | 106 m |

7 Sannolikhetsberäkningar

7.1 Sannolikhetsberäkningar, tågolycka

För att beräkna sannolikheten för en järnvägsolycka som påverkar omgivningen används VTI-modellen som finns beskriven i ”Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen”./14/ I denna beräknas sannolikheten för järnvägsolycka som påverkar omgivningen enligt följande schematiska upplägg.

- Bedömning av olyckstyper: Bedöm vilka olyckstyper som är aktuella
 - Urspåring
 - Påkörning i samband med urspåring
 - Sammanstötning mellan tåg etc.
 - Olyckor vid växling/rangering
 - Bränder
 - Plankorsningsolyckor
- Ingångsdata: Bestäm vilka ingångsdata som behövs och ta fram dessa
- Skattning av förväntat antal olyckor: Skatta förväntat antal olyckor och dess konsekvenser.

Skattning av förväntat antal olyckor sker genom att järnvägens olyckor delas upp i ett antal typer som kan betraktas som av varandra oberoende funktioner. Dessutom antas att förväntat antal olyckor, φ , är en linjär funktion av ett uttryck för verksamhetens omfattning. Följande formel används för att beräkna förväntat antal olyckor:/14/

$$\varphi = W \cdot \xi$$

φ = förväntat antal olyckor

W= exponeringsvariabel

ξ = intensitetsfaktor

Exponeringsvariabeln(W) representerar järnvägsdriftens omfattning i ett för olyckstypen signifikant avseende, till exempel tågkilometer, vagnaxelkilometer, antal växelpassager, allt per vald tidsenhet. Intensitetsfaktorn utgör ett mått på förväntat antal olyckor som en funktion av verksamhetens omfattning. Formeln används för samtliga olyckstyper och de olika resultaten adderas sedan för att få det totala antalet förväntade olyckor.

7.1.1 Bedömning av olyckstyper

De olika olyckstyper som presenteras i ”Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen”/14/ används för att bedöma vilka som skulle kunna leda till utsläpp av farligt gods. Dessa bearbetas sedan i rapporten. I rapporten beräknas endast olyckor som medför risker för tredje man. Det finns tre olycksscenario som påverkar personer utanför banområdet:

- Att ett järnvägsfordon lämnar banområdet och skadar omgivande bebyggelse och människor i närområdet.
- Att en olycka innebär att tankar med farligt gods punkteras och att de farliga ämnena sprider sig och påverkar omgivningen.

- Att gnistor uppstår till följd av bromsfel eller dyligt. Dessa gnistor kan antända omgivningen.

I denna rapport behandlas olyckor som innehåller farligt gods.

Urspårning

Orsakerna till urspårning kan delas in i två olika grupper, fordonsfel och banfel. För att kunna bedöma frekvensen för urspårning måste uppgifter om banans standard, typ av räls, typ av slipers, aktuell hastighet, banvallens underlag och antal växlar tas fram.

Påkörning i samband med urspårning

Denna olyckstyp innebär att ett tåg spårar ur och placerar sig så att ett eventuellt mötande tåg inte kan passera. Det förutsätter också att ett mötande tåg inte kan stoppas innan det når urspårningsplatsen. I rapporten "Säkerhetsvärdering Tröingebergstunneln"/15/ antas att det behövs två blocksträckor för att med säkerhet kunna stoppa ett tåg. En blocksträcka är ca 2 kilometer lång. Det antas att stoppsträckan behöver vara betydligt kortare eftersom hastigheten genom Halmstad är lägre än på sträckan i Tröingebergsrapporten. Detta innebär att ett eventuellt mötande tåg antas klarar av att stanna innan kollision sker. Detta scenario behandlas därför inte ytterligare.

Sammanstötning mellan tåg etc.

Sannolikheten för sammanstötning är beroende av förekommande trafik. Ett övervägande antal sammanstötningar sker vid växlar och på stationsområde. Sammanstötning av två tågfordon är mycket ovanligt, bland annat på grund av det väl utbyggda ATC-systemet(fjärrblockering).

Sannolikheten för en sammanstötning mellan två tågfordon på linje anses, enligt "Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen"/14/ så osannolik att den försvinner bland övriga osäkerheter i beräkningarna. En sammanstötning inne på stationsområdet skulle, på grund av den mycket låga hastigheten troligen inte få några större konsekvenser. Av denna anledning beaktas detta scenario ej vidare.

Olyckor vid växling/rangering

I rapporten behandlas risker med tågtrafiken som passerar Halmstad. Olyckor vid rangerbangården bortses ifrån. Olyckor med växling behandlas under kapitel "Urspårning".

Bränder

Under denna rubrik behandlas bränder som orsakas av tågagnarna. Till exempel på grund av att bromsen ligger på permanent och upphettade järnpartiklar kan orsaka brand i närheten av spåret. Den mest sannolika konsekvensen av ett sådant scenario är gräsbrand. Detta scenario beaktas ej vidare.

Plankorsningsolyckor

Det finns på den aktuella sträckan fyra plankorsningar. Tre är gemensamma för Västkustbanan och Halmstad-Nässjöbanan och en ingår endast i Halmstad-Nässjöbanan. Samtliga plankorsningar är försedda med bommar. För att en plankorsningsolycka skall leda till ett utsläpp av farligt gods antas att det måste kollidera med ett tungt fordon, lastbil, buss eller liknande. De aktuella plankorsningarna är Kornhillsvägen, Linnégatan, Fredsgatan och Margaretagatan.



Figur 7.1 Plankorsningar

Sammanfattning

I analysen kommer olyckstyperna urspårning och plankorsningsolycka att behandlas. De övriga olyckstyperna beaktas inte med hänsyn till omgivning, sannolikhet, hastighet och tekniska säkerhetssystem.

7.1.2 Ingångsdata

Godsstatistik

Följande statistik visar banverkets prognostiserade godsvolymer av de ämnen som beräkningarna i denna rapport avser./15/

| | <i>Vagnar/År (2005)</i> |
|----------------------------|-------------------------|
| <i>Ammoniak</i> | 496 |
| <i>Klor</i> | 80 |
| <i>Svaveldioxid</i> | 246 |
| <i>Gasol</i> | 1374 |
| <i>Farligt gods totalt</i> | 4842 |

Tabell 7.1 Godsstatistik

Banfaktorer

För den aktuella sträckan genom Halmstad gäller följande parametrar enligt ”Riskstudie avseende alternativa bansträckningar för Falkenberg”/16/ och inventering av sträckan.

- Spårklass A
- Helsvetsad räls
- Betongslipers
- Makadamballast
- 90 tåg per dygn, ~45% godståg
- 70 vagnaxlar per tåg
- 5 arbetsdagar under 45 arbetsveckor = 225 dygn
- 55 % av vagnaxlarna sitter på fyraxliga godsvagnar
- 45 % av vagnaxlarna sitter på tvåaxliga godsvagnar
- Fyra plankorsningar med bommar

| <i>Parameter</i> | <i>Värde</i> |
|--|--------------|
| Antal vagnaxelkm godståg | 4 464 880 |
| Antal spårkilometer | 7 |
| Antal vagnaxelkm, 2-axlig godsvagn | 2 009 196 |
| Antal vagnaxelkm, 4-axlig godsvagn | 2 455 684 |
| Antal godstågspassager | 9 113 |
| Antal tågkilometer | 63 791 |
| Antal växlar | 14 |
| Antal tågpassager genom växel | 127 582 |
| Antal tågpassager genom plankorsningar | 36 452 |

Tabell 7:2 Indata banfaktorer

Skattning av förväntat antal olyckor

Nedan listas parametrar samt deras exponeringsvariabel och intensitetsfaktor för beräkning av förväntat antal olyckor. För att beräkna förväntat antal olyckor används följande formel:

$$\varphi = W \cdot \xi$$

Urspåring

De olika olycksfaktorernas frekvenser läggs sedan samman och bildar frekvensen för olyckstypen urspåring.

Beräkning ger följande tabell:

| Olyckstyp | Exponeringsvariabel (W) | Värde | Intensitetsfaktor (ξ) | Förväntat antal olyckor (φ) |
|------------------|-------------------------|-----------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Rälsbrott | Vagnaxelkilometer | 4 464 880 | $5 \cdot 10^{-11}$ | $2,23 \cdot 10^{-4}$ |
| Solkurva | Spårkilometer | 7 | $1 \cdot 10^{-5}$ | $7 \cdot 10^{-5}$ |
| Spårlägesfel | Vagnaxelkilometer | 2 009 196 | $9 \cdot 10^{-10}$ | $1,81 \cdot 10^{-3}$ |
| Spårlägesfel | Vagnaxelkilometer | 2 455 684 | $1,5 \cdot 10^{-10}$ | $2,505 \cdot 10^{-4}$ |
| Växel trasig | Tågpassager | 9 113 | $5 \cdot 10^{-9}$ | $3,683 \cdot 10^{-4}$ |
| Vagnfel | Vagnaxelkilometer | 4 464 880 | $31 \cdot 10^{-10}$ | 0,0138 |
| Lastförskjutning | Vagnaxelkilometer | 4 464 880 | $4 \cdot 10^{-10}$ | $1,78 \cdot 10^{-3}$ |
| Annan orsak | Tågakilometer | 63 791 | $5,7 \cdot 10^{-8}$ | $3,63 \cdot 10^{-3}$ |
| Okänd orsak | Tågakilometer | 63 791 | $1,4 \cdot 10^{-7}$ | $8,93 \cdot 10^{-3}$ |
| | | | Summa | 0,0309/år |

Tabell 7.3 Resultat frekvensberäkning urspåring

Plankorsningsolyckor

Vid beräkning av frekvensen för plankorsningsolyckor är exponeringsvariabeln (W) antalet plankorsningar. Intensitetsfaktorn beror på vilken skyddsform som råder vid aktuell korsning. Samtliga plankorsningar har bommar vilket ger intensitetsfaktorn $5,0 \cdot 10^{-8}$.

| Olyckstyp | Exponeringsvariabel (W) | Värde | Intensitetsfaktor (ξ) | Förväntat antal olyckor (φ) |
|---------------------|----------------------------------|--------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Plankorsningsolycka | Tågpassager genom plankorsningar | 51 100 | $5,0 \cdot 10^{-8}$ | 0,0026 |

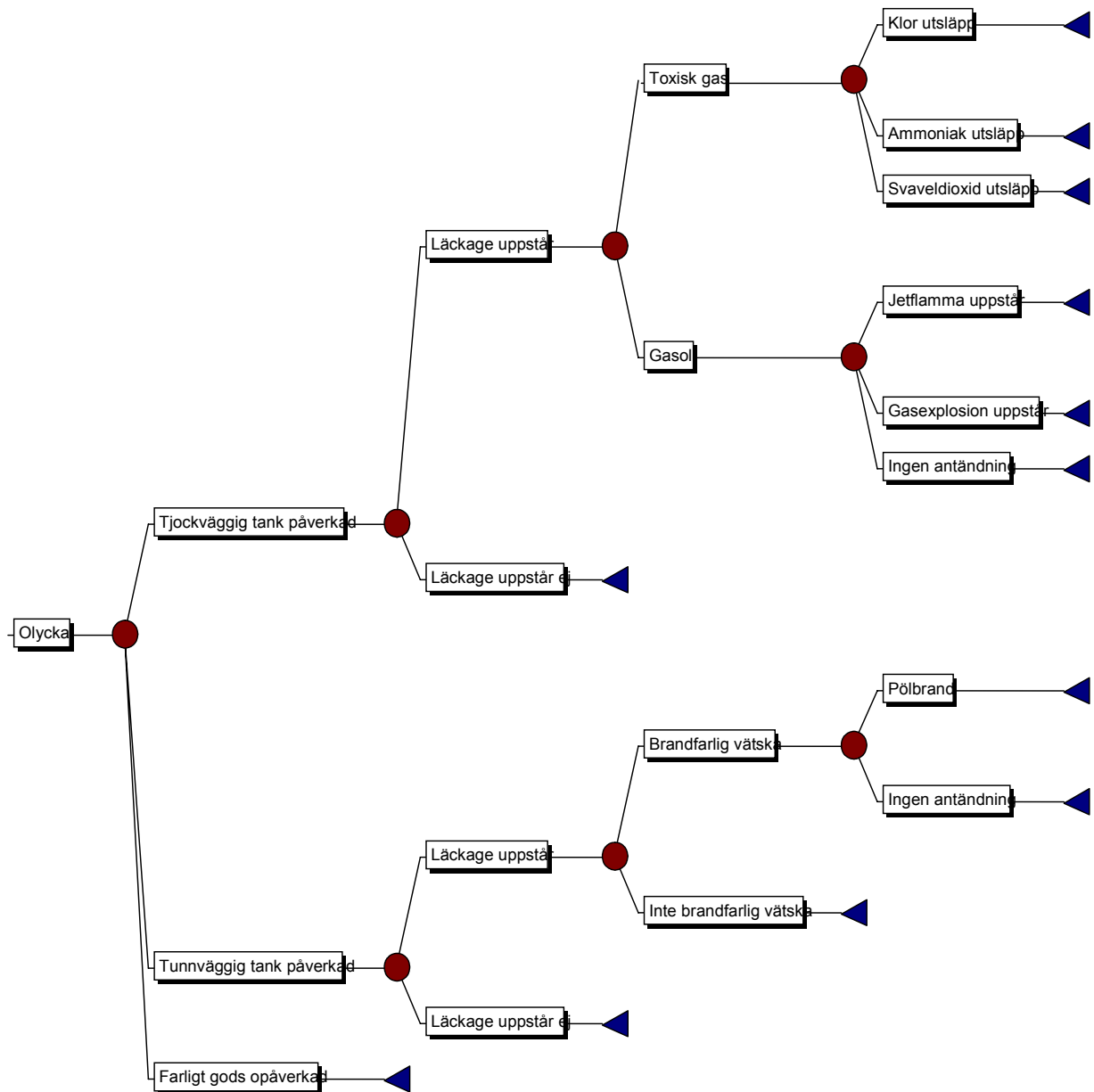
Tabell 7.4 Resultat frekvensberäkning plankorsningsolycka

Resultat

Den sammanlagda frekvensen för olycka blir: 0,0335/år. Beräknat på en kilometer blir frekvensen: 0,0047/år

7.2 Sannolikhetsberäkningar, utsläpp av farligt gods

Enligt beräkningarna är den sammanlagda frekvensen för tågurspåring och plankorsningsolycka på sträckan genom Halmstad 0,0335/år. Nedan visas ett händelsetråd med det schematiska upplägget för att beräkna sannolikheten för en olycka med farligt gods.



Figur7.2 Hndelsetrd

7.2.1 Farligt gods påverkat

Enligt statistik i "Om sannolikhet för järnvägsolyckor med farligt gods" (VTI rapport 387:2)/17/påverkas i snitt 5 vagnar vid sammanstötning respektive 3,5 vagnar vid urspårning. Enligt "Säkerhetsvärdering Tröingebergstunneln"/15/ r andelen farligtgodsvagnar i ett tgset 2 av 29 vagnar. För att få fram sannolikheten för att en farligtgodsvagn r påverkad vid en olycka används den statistiska metoden "dragning med återläggning". Denna metod innebär att den beräknade sannolikheten blir något större än den egentliga sannolikheten. Felet antas dock bli litet och eftersom metoden innebär att den beräknade sannolikheten blir större än den verkliga r användandet av denna metod konservativt.

Det antas att farligtgodsvagnar r rangerade oberoende av varandra. Sannolikheten att minst en av fyra påverkade vagnar r en farligtgodsvagn blir: $(4 \cdot 2) / 29 = 0,28$

Enligt "Säkerhetsvärdering Tröingebergstunneln"/15/ utgör tryckkondenserade gaser 45 % av allt farligt gods som passerar Falkenberg. Detta innebär att sannolikheten för att en farligtgodsvagn som innehåller en tryckkondenserad gas(tjockväggig tank) påverkas vid en olycka är: $0,45 \cdot 0,28 = 0,126$

Sannolikheten för att en påverkad farligtgodsvagn är av typen tunnväggig tank är: $0,55 \cdot 0,28 = 0,154$

Sannolikheten för att farligtgodsvagnar inte påverkas är $1 - 0,28 = 0,72$.

7.2.2 Läckage uppstår

Det finns två huvudtyper av tankvagnar, tunnväggiga och tjockväggiga. De tunnväggiga är avsedda att användas för att transportera vätskor vid atmosfärstryck. De tjockväggiga är avsedda att användas för gaser vid övertryck. I nedanstående tabell redovisas data för sannolikheten att läckage uppkommer till följd av olika olyckstyper./14/

| Olyckstyp | Punktering(tunnväggig) | Punktering (tjockväggig) |
|----------------------------|------------------------|--------------------------|
| Urspårning | 0,25 | 0,01 |
| Sammanstötning (vägfordon) | 0,1 | 0,01 |

Tabell 7:5 Sannolikhet punkterad tank

Eftersom urspårning är den mest sannolika olyckstypen används detta värde i beräkningarna. Sannolikheten för att en tank punkteras antas till 0,25 och 0,01 för tunnväggiga respektive tjockväggiga tankar.

7.2.3 Innehåll

Enligt statistik består 63 % av de tryckkondenserade gaserna av gasol. Övriga tryckkondenserade gaser består av toxiska gaser, klor, ammoniak eller svaveldioxid.

Ungefär 4,5 % av allt farligt gods som inte transporteras i tjockväggiga tankar består av brandfarlig vätska. Det farliga gods som transporteras som styckegods eller på annat sätt jämföras på grund av bristande statistik med tunnväggiga tankvagnar./14/

7.2.4 Konsekvens

Statistik/15/ visar att av de toxiska gaserna består 60 % av ammoniak, 30 % av svaveldioxid och 10 % av klor.

Vid gasolläckage antas att tre alternativ kan inträffa, jetflamma, gasmolnexplosion eller ingen antändning. BLEVE antas kunna inträffa som en följd av någon annan olycka. Enligt "Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor"/9/ är sannolikheten för omedelbar antändning 20 %, fördröjd antändning 50 %, ingen antändning 30 %. Omedelbar antändning likställs med jetflamma och fördröjd antändning med gasmolnexplosion.

Sannolikheten för att en BLEVE skall uppstå antas vara mycket liten då det är en följdhandelse av något annat olycksförlopp.

Sannolikheten för att ett läckage av brandfarlig vätska antänds antas vara lägre än sannolikheten för att ett gasmoln antänds. Det behövs mindre energi för att antända ett gasmoln än en pöl med brandfarlig vätska. Det antas att sannolikheten för att en pöl med brandfarlig vätska skall antändas är 20 %.

Nedan redovisas sluthändelserna i händelseträdet i tabellform.

| | <i>Sannolikhet, givet olycka</i> | <i>Frekvens, givet frekvens olycka =0,0335/år Hela sträckan</i> | <i>Frekvens, givet frekvens olycka =0,0047/år Per kilometer</i> |
|-------------------------------------|--------------------------------------|---|---|
| <i>Klorutsläpp</i> | $4,66 \cdot 10^{-5}$ | $1,524 \cdot 10^{-6}$ | $2,177 \cdot 10^{-7}$ |
| <i>Ammoniakutsläpp</i> | $2,797 \cdot 10^{-4}$ | $9,146 \cdot 10^{-6}$ | $1,307 \cdot 10^{-6}$ |
| <i>SO₂utsläpp</i> | $1,399 \cdot 10^{-4}$ | $4,575 \cdot 10^{-6}$ | $6,536 \cdot 10^{-7}$ |
| <i>Gasol, jetflamma</i> | $1,588 \cdot 10^{-4}$ | $5,193 \cdot 10^{-6}$ | $7,419 \cdot 10^{-7}$ |
| <i>Gasol, gasmolnsexplosion</i> | $3,969 \cdot 10^{-4}$ | $1,298 \cdot 10^{-5}$ | $1,854 \cdot 10^{-6}$ |
| <i>Gasol, ingen antändning</i> | $2,381 \cdot 10^{-4}$ | $7,786 \cdot 10^{-6}$ | $1,112 \cdot 10^{-6}$ |
| <i>Inget läckage, tjockväggig</i> | 0,12474 | 0,00408 | $5,829 \cdot 10^{-4}$ |
| <i>Brandf.vätska, pölbrand</i> | $3,465 \cdot 10^{-4}$ | $1,133 \cdot 10^{-5}$ | $1,619 \cdot 10^{-6}$ |
| <i>Brandf.vätska, ingen antänd.</i> | $1,386 \cdot 10^{-3}$ | $4,532 \cdot 10^{-5}$ | $6,474 \cdot 10^{-6}$ |
| <i>Ej brandf.vätska</i> | 0,03677 | 0,00120 | $1,714 \cdot 10^{-4}$ |
| <i>Inget läckage, tunnväggig</i> | 0,1155 | 0,00378 | $5,4 \cdot 10^{-4}$ |
| <i>Farligt gods opåverkad</i> | 0,72 | 0,02354 | 0,00336 |

Tabell 7:6 Sluthändelser händelsetråd

8 Riskberäkning

8.1 Allmänt

Begreppet risk definieras som ett samband mellan en händelses frekvens och dess konsekvens. Detta betyder att man uppskattar sannolikheten för en oönskad händelse och beräknar konsekvensen av denna händelse. Produkten av dessa båda parametrar definieras som risk. Ett sätt att värdera risker utgår från fyra principer:/20/

1. Rimlighetsprincipen – Kan riskerna med en verksamhet med tekniskt och ekonomiskt rimliga medel undvikas skall så ske.
2. Proportionalitetsprincipen – Riskerna en verksamhet medför skall stå i proportion till dess fördelar.
3. Fördelningsprincipen – Den risk enskilda personer eller grupper löper skall stå i proportion till de fördelar dessa utsatta drar av verksamheten.
4. Principen om undvikande av katastrofer – Riskerna bör hellre resultera i olyckor som kan hanteras med tillgängliga resurser än i katastrofer.

Ofta brukar två metoder för att mäta risken användas, individrisk och samhällrisk. Individrisken anger sannolikheten för att en person som befinner sig på en bestämd plats skall avlida på grund av en viss typ av olycka. Denna risk antar olika värde beroende på var individen befinner sig. Samhällrisk är ett mått på risk för en grupp människor. Beräkningen av samhällrisk kräver samma frekvens och konsekvensberäkningar som vid beräkning av individrisk. Utöver detta behöver befolkningen i det område som förväntas bli påverkade av en skadehändelse kartläggas. Samhällrisk redovisas som en funktion av frekvens (F) och antalet dödade (N)./26/

8.2 Individrisk

Individrisken beskriver sannolikheten för att en person som befinner sig på ett visst avstånd från järnvägen skall förolyckas till följd av en olycka. Individrisk används för att kontrollera att enskilda individer inte utsätts för oacceptabla risker.

Beräkningen av individrisk följer procedur som finns beskriven i ”Guidelines for chemical process Quantitative Risk Analysis/26/ och innehåller följande steg:

1. Lista de olyckstyper som skall studeras
2. Beräkna konsekvens och olycksfrekvens
3. Lista olycksscenario med skadeområden och frekvenser
4. Identifiera olycksscenario med störst skadeområde
5. Kontrollera om vindriktningen påverkar skadeområdets omfattning
6. Om ja, reducera frekvensen med vindriktningsfaktor
7. Riskkonturen runt skadekällan har samma radie som skadeområdets storlek
8. Upprepa från steg 4 för samtliga olycksscenario

Steg 1-2 är gjorda i avsnitten konsekvensberäkningar och sannolikhetsberäkningar. Tabellen nedan redovisar de olycksscenario som skall analyseras vidare (steg 3 och 4). De olika beteckningarna i tabellen beskriver frekvensen, spridningsvinkel och radie på skadeområdet. Radien på skadeområdet är 80 % -percentilen av den fördelning av avstånd till dimensionerande koncentration som beräknats i konsekvensberäkningarna.

| | f (/år) | θ (grad) | r (m) |
|-------------------------|-----------------------|-----------------|---------|
| Gasol, jetflamma | $5,671 \cdot 10^{-7}$ | 15 | 90 |
| Gasol, gasolnsexplosion | $1,418 \cdot 10^{-6}$ | 15 | 358 |
| Ammoniakutsläpp | $9,99 \cdot 10^{-7}$ | 15 | 433 |
| Klorutsläpp | $1,664 \cdot 10^{-7}$ | 15 | 1319 |
| SO ₂ utsläpp | $4,997 \cdot 10^{-7}$ | 15 | 1428 |

Tabell 8:1 Indata individriskberäkningar

Då det antas att alla vindriktningar är lika sannolika påverkar detta inte olyckans omfattning varför frekvensen inte behöver reduceras med vindriktningsfaktor (steg 5 och 6).

Följande formel används för att beräkna individrisken för respektive olycksscenario./26/

$$IR = f \cdot \frac{\theta}{360} \quad (/år)$$

Denna formel förutsätter att den eventuella utsläppskällan är en punktrisk. Då utsläppskällan i detta fall är en linje kompenseras detta med följande formel./30/

$$2 \cdot \sqrt{r^2 - a^2} \quad (/m)$$

Då frekvensen f är beräknad för en kilometer transportled fås den del av sträckan som påverkar en punkt på ett avstånd a från järnvägen genom följande formel.

$$\frac{2 \cdot \sqrt{r^2 - a^2}}{1000}$$

Formeln för att beräkna totala individrisken runt en linjeformad utloppskälla får följande utseende/30/:

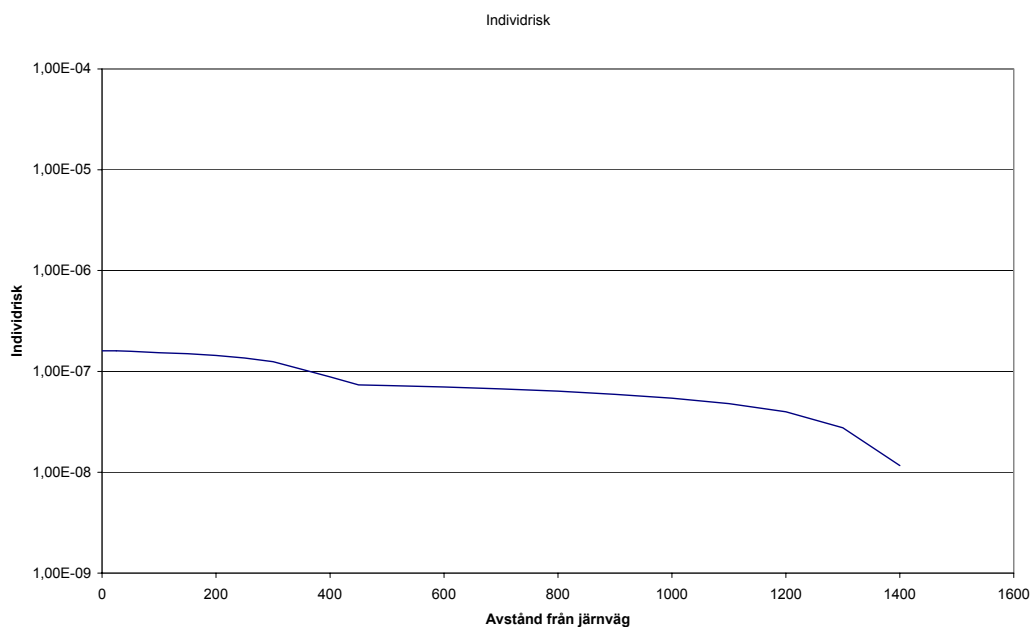
$$\sum IR = f \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{r^2 - a^2}}{1000} \cdot \frac{\theta}{360} \quad (/år)$$

- IR = Individrisk /år
- f = Olycksfrekvens /år
- θ = Spridningsvinkel grader
- r = Radie på skadeområde m
- a = Avstånd från spår m

Beräkning av individrisken, $\sum IR$, gav följande resultat:

| Avstånd, a (m) | Individrisk, $\sum IR$ (/år) | Avstånd, a (m) | Individrisk, $\sum IR$ (/år) |
|------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|
| 0 | $1,60 \cdot 10^{-7}$ | 500 | $7,26 \cdot 10^{-8}$ |
| 25 | $1,60 \cdot 10^{-7}$ | 600 | $7,02 \cdot 10^{-8}$ |
| 50 | $1,59 \cdot 10^{-7}$ | 700 | $6,73 \cdot 10^{-8}$ |
| 100 | $1,53 \cdot 10^{-7}$ | 800 | $6,38 \cdot 10^{-8}$ |
| 150 | $1,50 \cdot 10^{-7}$ | 900 | $5,95 \cdot 10^{-8}$ |
| 200 | $1,44 \cdot 10^{-7}$ | 1000 | $5,44 \cdot 10^{-8}$ |
| 250 | $1,36 \cdot 10^{-7}$ | 1100 | $4,80 \cdot 10^{-8}$ |
| 300 | $1,25 \cdot 10^{-7}$ | 1200 | $3,98 \cdot 10^{-8}$ |
| 350 | $1,05 \cdot 10^{-7}$ | 1300 | $2,77 \cdot 10^{-8}$ |
| 400 | $8,83 \cdot 10^{-8}$ | 1400 | $1,17 \cdot 10^{-8}$ |
| 450 | $7,36 \cdot 10^{-8}$ | | |

Tabell 8:2 Individrisk



Figur 8:1 Individrisk

8.3 Samhällsrisk

Samhällsrisk beskriver det antal människor som skulle påverkas av en olycka. Samhällsrisk beskrivs med hjälp av en F/N-kurva, vilket är en vanlig metod att beskriva risken på./26/ Beräkningen av samhällsrisk följer procedur som finns beskriven i "Guidelines for chemical process Quantitative Risk Analysis/26/ och innehåller följande steg:

1. Lista de olyckstyper som skall studeras
2. Beräkna konsekvens och olycksfrekvens
3. Beräkna antal människor inom skadeområdet för varje olycksscenario.
4. Lista alla olycksscenarion med frekvens och antal drabbade personer.
5. Summera frekvenserna (Kumulativ frekvens)
6. Plotta F/N-kurva

Steg 1-2 är gjorda i avsnitten konsekvensberäkningar och sannolikhetsberäkningar.

Antalet människor som skulle befinna sig innanför LC₅₀gränsen beräknas för varje scenario (Steg 3). Följande antaganden har gjorts vid beräkningarna:

- För att bedöma befolkningstätheten har det bedömts hur många människor som, enligt befolkningsstatistik/22/(se bilaga A), befinner sig inom en radie av 1400 meter från plankorsningen vid Fredsgatan (se fig. 7:1) då detta antas vara den mest sannolika platsen eftersom här passerar mest trafik och de flesta växlarna på sträckan är placerade i närheten av denna plankorsning. Det antas även vara den plats där konsekvenserna av en olycka blir störst. Befolkningstätheten har bedömts vara 0,00292 pers./m².
- Det har antagits att 20 % av befolkningen är utomhus under dagtid./12/
- Spridningsvinkeln har antagits vara 15°.
- Samhällsrisker har beräknats med åtta olika vindriktningar. Det har antagits att alla vindriktningar är lika sannolika.

Samhällsrisker beräknas för följande olycksscenario (steg 4).

| Olycksscenario | Skadeområdesradie, r (m) | Spridningsvinkel, · (grad) | Personer, N (antal) | Frekvens, f (/år) |
|----------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|
| 1. Gasol, jetflamma | 90 | 15 | 1 | 5,671*10 ⁻⁷ |
| 2. Gasol, gasmolnexplosion | 358 | 15 | 10 | 1,418*10 ⁻⁶ |
| 3. Ammoniakutsläpp | 433 | 15 | 14 | 9,99*10 ⁻⁷ |
| 4. Klorutsläpp | 1319 | 15 | 133 | 1,664*10 ⁻⁷ |
| 5. SO ₂ utsläpp | 1428 | 15 | 156 | 4,997*10 ⁻⁷ |

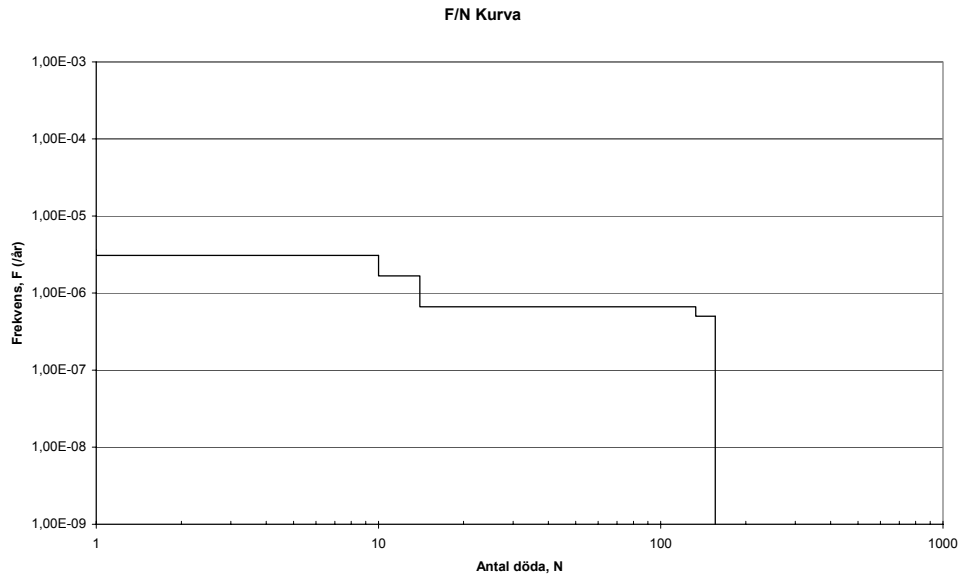
Tabell 8:3 Personantal per scenario

Vid beräkning av samhällsrisk summeras de olika frekvenserna för de olyckor som påverkar ett visst antal personer (Steg 5). Resultatet av dessa beräkningar redovisas i tabell nedan.

| Beräknat antal omkomna, N | Kumulativ frekvens | Inkluderade olycksscenario |
|---------------------------|-----------------------|----------------------------|
| N > 156 | 0 | - |
| 133 < N ≤ 156 | 5,0*10 ⁻⁷ | 5 |
| 14 < N ≤ 133 | 6,66*10 ⁻⁷ | 4, 5 |
| 10 < N ≤ 14 | 1,67*10 ⁻⁶ | 3, 4, 5 |
| 1 < N ≤ 10 | 3,08*10 ⁻⁶ | 2, 3, 4, 5 |
| N = 1 | 3,65*10 ⁻⁶ | 1, 2, 3, 4, 5 |

Tabell 8:4 Kumulativa frekvenser

Resultaten i tabellen plottas i en F/N-kurva (Steg 6) som visar de kumulativa frekvenserna (F) vs. antalet förväntat avlidna personer (N).



Figur 8:2 Samhällsrisk

9 Riskvärdering

Det finns idag inga etablerade enhetliga och accepterade kriterier för värdering av risk i Sverige. Detta gör att resultaten av en risicanalys inte kan översättas på ett likformigt sätt till andra termer än rent matematiska. De kriterier som framstår som de mest använda i Sverige och som därmed anses bäst att använd för att kunna jämföra resultat utifrån annat än de rent matematiska termerna är de kriterier som tagits fram av Det Norske Veritas kriterier/23/ och holländska myndigheter./6/ Av denna anledning jämförs risken i denna analys med dessa båda kriterier.

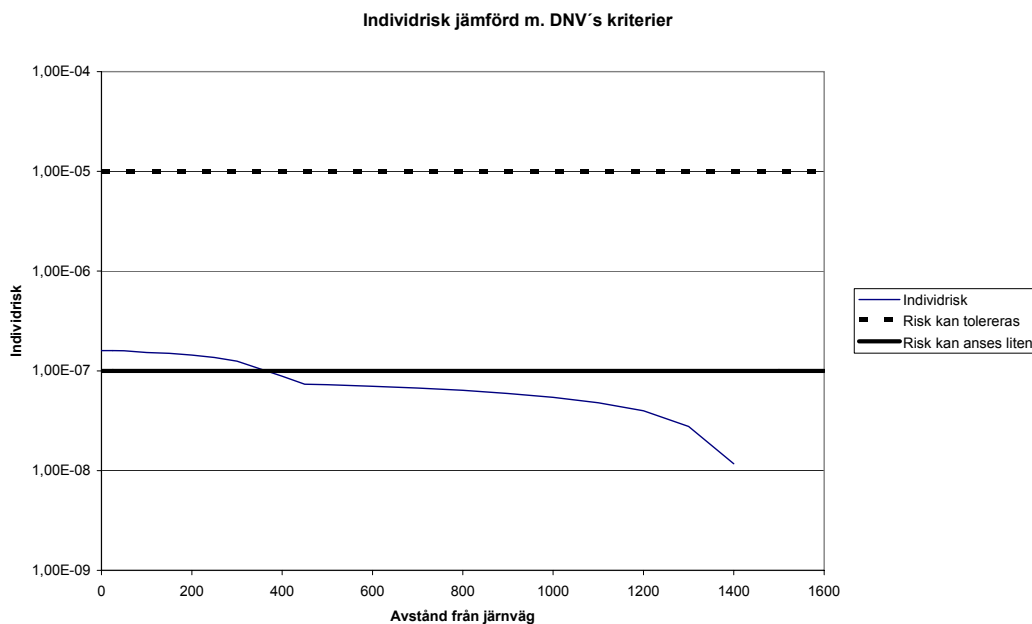
9.1 Individrisk

Det Norske Veritas kriterier

I ”Vägledning för riskbedömning av kyl- och frysanläggningar med ammoniak”/23/ använder Det Norske Veritas följande kriterier för att värdera individrisk:

- Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras $10^{-5}/\text{år}$
- Övre gräns för område där risker kan anses små $10^{-7}/\text{år}$

Individriskberäkningarna ger vid handen att riskerna i närområdet (~300 meter) är över gränsen för då risk kan anses liten.

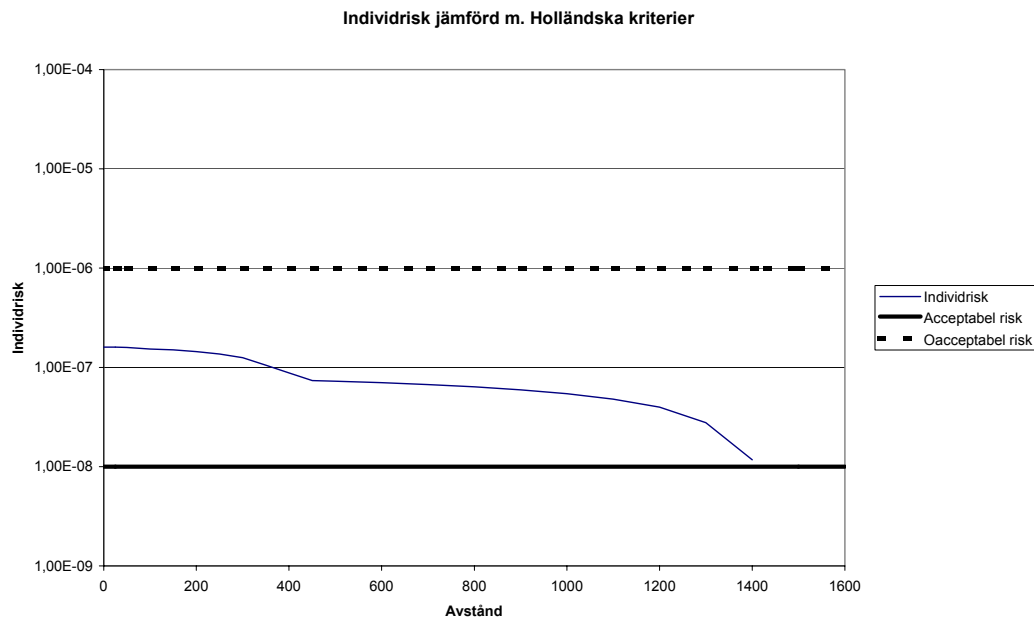


Figur 9:1 Individrisk jämförd med DNV's kriterier

Holländska kriterier

Holländska myndigheter anser att risker under $10^{-8}/\text{år}$ är acceptabla, risker mellan $10^{-8}/\text{år}$ och $10^{-6}/\text{år}$ är mellan acceptabel och oacceptabel risk och risker över $10^{-6}/\text{år}$ är oacceptabelt.

Individrisken hamnar mellan gränserna för acceptabel och oacceptabel risk. I nedanstående figur visas individrisken jämfört med kriterierna.



Figur 9:2 Individriska jämförd med Holländska myndigheters kriterier.

9.2 Samhällsrisk

För att värdera samhällsriskerna används kriterier framtagna av Det Norske Veritas och Holländska myndigheter.

Det Norske Veritas kriterier

Det Norske Veritas använder följande kriterier för att värdera samhällsriskerna:

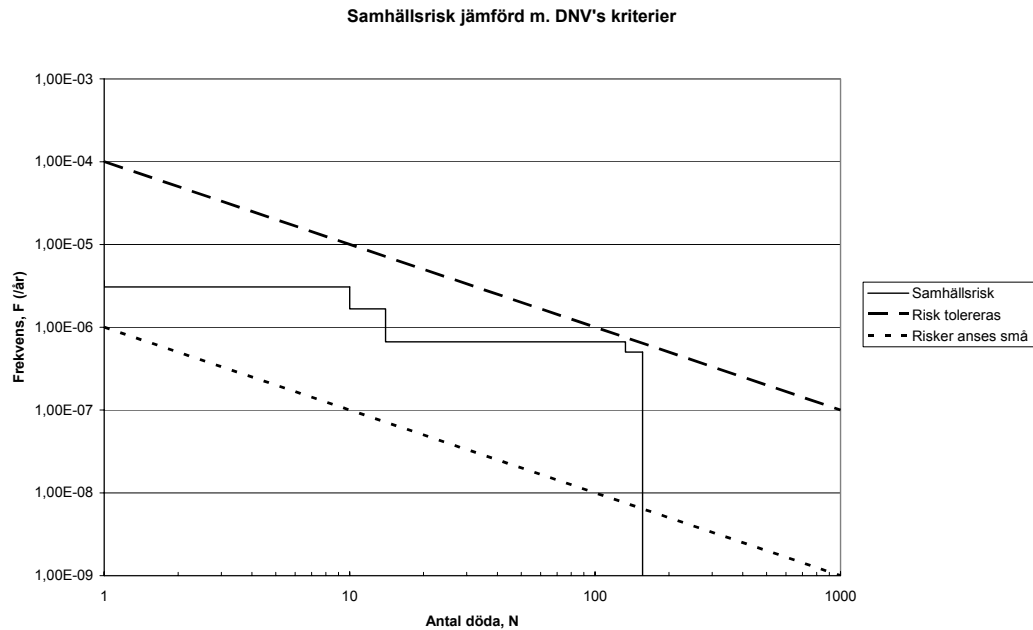
- Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras:

$$F = 10^{-4} \text{ per år för } N = 1$$

- Övre gräns för område där risker kan anses små

$$F = 10^{-6} \text{ per år för } N = 1$$

- Lutning på kurvan: -1



Figur 9:3 Samhällsrisk jämförd med DNV's kriterier

Holländska kriterier

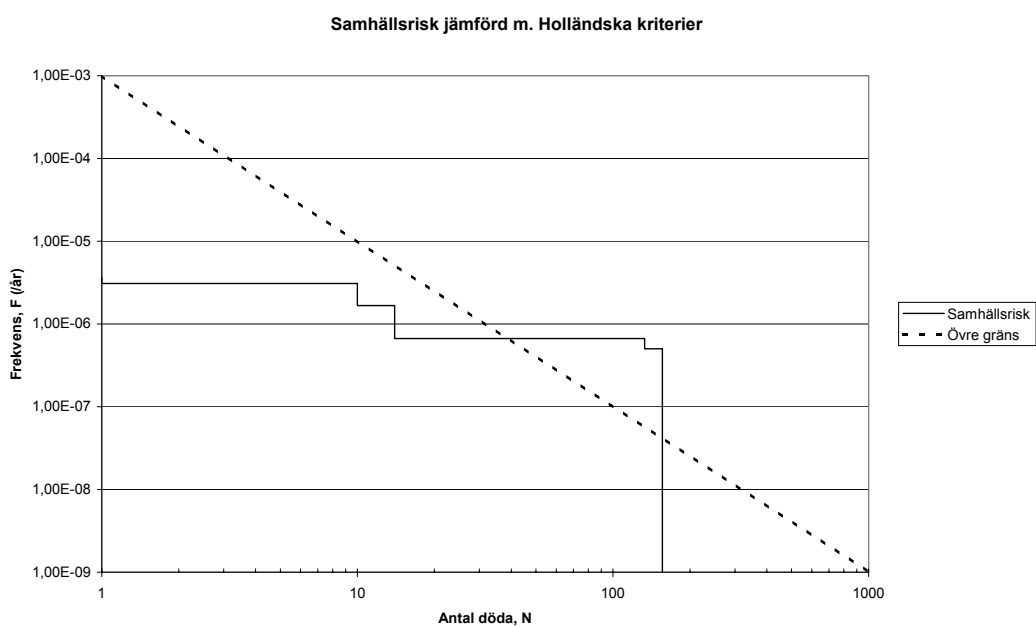
Holländska kriterier för samhällsrisk har följande definition:

- Övre gräns

$F = 10^{-3}$ per år för $N = 1$

- Lutning på kurvan: -2

Det finns ingen undre gräns enligt denna definition. Nedan visas F/N kurvan med de olika kriterierna som jämförelse.



Figur 9:4 Samhällsrisk jämförd med Holländska kriterier

10 Resultat

Resultaten visar att individrisken inom ~400 meter från spåret ligger över den gräns under vilken Det Norske Veritas tycker att risk kan anses liten. Individrisken ligger mellan vad holländska myndigheter kallar acceptabel och oacceptabel risk.

Samhällsrisken är lägre än DNV's kriterier för när risk under vissa förutsättningar kan tolereras. Samhällsrisken, för konsekvenser med över 40 döda, är över den övre gräns som holländska myndigheter tagit fram.

10.1 Osäkerheter

10.1.1 Indata

Godsflödesstatistiken bygger på prognoser gjorda av banverket. Det är svårt att ha en uppfattning om hur väl dessa siffror stämmer med de verkliga flödena. Transporten av farligt gods på Halmstad-Nässjöbanan är enligt Green Cargos personal vid rangerbangården i Halmstad försumbart sedan Stora Enso i Hylte gått över till lastbilstransport av det allra mesta av sina farliga produkter. Om de väljer att gå över till järnvägstrafik ökar flödet av farligt gods längs denna sträcka.

Fördelningen av vindriktningar har inte beaktats i analysen då resultatet inte ansetts påverkas så mycket av vilken vindriktning som råder då befolkningstätheten är ungefär densamma i alla riktningar från den plats som beräkningarna görs.

Antalet växlar som ett tåg passerar beror på vilken väg tåget tar förbi rangerbangården och centralstationen. Vid inventeringen av spårfaktorer har antagits att godstågen tar enklaste, rakaste väg förbi rangerbangård och centralstation.

10.1.2 Beräkningar

Vid beräkningarna av dimensionerande koncentration har värden på n , α , β_2 , och t tagits från "Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor"/9/, dessa värden skiljer sig lite ifrån de värden som finns i en senare upplaga av samma publikation. Skillnaden antas inte påverka slutresultatet speciellt mycket.

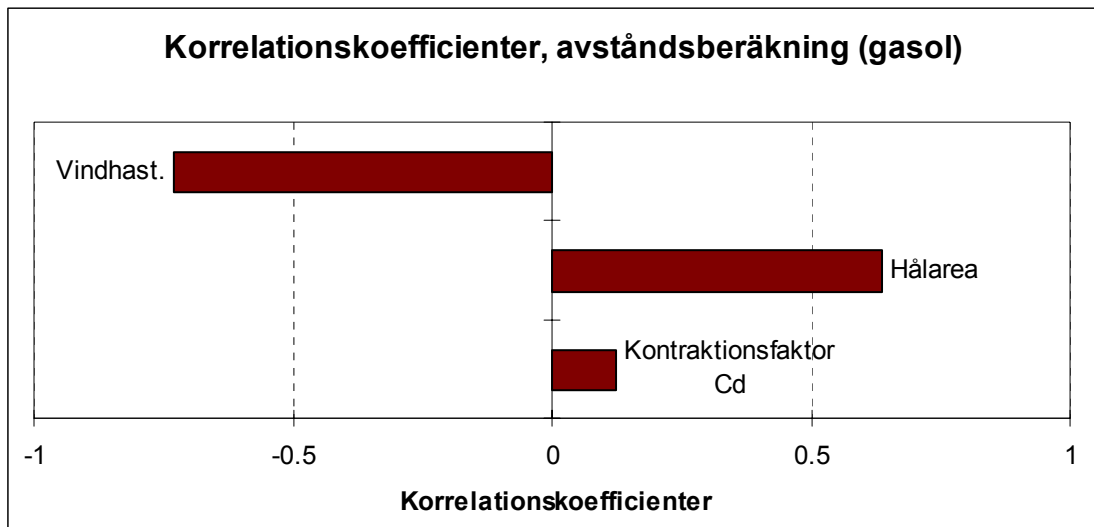
Beräkningarna av befolkningstätheten har förenklats genom att summan av alla personer i alla de statistiska områden som ingår i en tänkt cirkel med radien 1400 meter runt plankorsningen på Fredsgatan har dividerats med hela områdets yta. Detta innebär att befolkningen i beräkningen är jämt fördelad över hela ytan. I verkligheten finns det områden med större och mindre befolkningstäthet än snittet.

10.1.3 Modellosäkerhet

Metoden för att beräkna sannolikheter har tagits fram av väg och trafik institutet, VTI. Metoden lämpar sig bäst till jämförande studier mellan alternativa sträckningar av väg eller järnväg och inte för att ge ett värde på risk. I brist på alternativa metoder att beräkna sannolikhet för olycka med farligt gods på järnväg har denna metod ändå ansetts vara den som bäst tjänar syftet med rapporten.

Vid beräkningarna av konsekvenserna av en eventuell olycka har gaussisk spridningsmodell använts. Då det finns många faktorer och indata som är osäkra har kontraktionsfaktor,

håldiameter, massflöde och vindhastighet behandlats som fördelningar. En känslighetsanalys över vilka faktorer som påverkar spridningen mest har gjorts. Denna visar att det som påverkar spridningen mest är vindhastighet, hålarea och kontraktionsfaktor.



Figur 10:1 Känslighetsanalys

10.2 Åtgärder

Att rekommendera åtgärder för att minska den risk som transport av farligt gods på järnvägen genom Halmstad innebär är svårt då det inte finns något fastställt kriterier för vad som anses så riskfyllt att det kräver åtgärder. Göteborgs kommun har tagit fram en fördjupad översiktsplan över sektorn transporter av farligt gods. Översiktsplanen presenterar en sammanvägd bedömning av risk, stadsbild och samhällsekonomi. Flera andra kommuner och länsstyrelser, bl.a. Helsingborgs kommun och Länsstyrelsen i Stockholms län, utgår från dessa riktlinjer i utarbetandet av rekommendationer.

En norm som använts i Göteborg och vid Länsstyrelsen i Stockholms län för att precisera mål för vilka risker som kan tolereras innebär att:

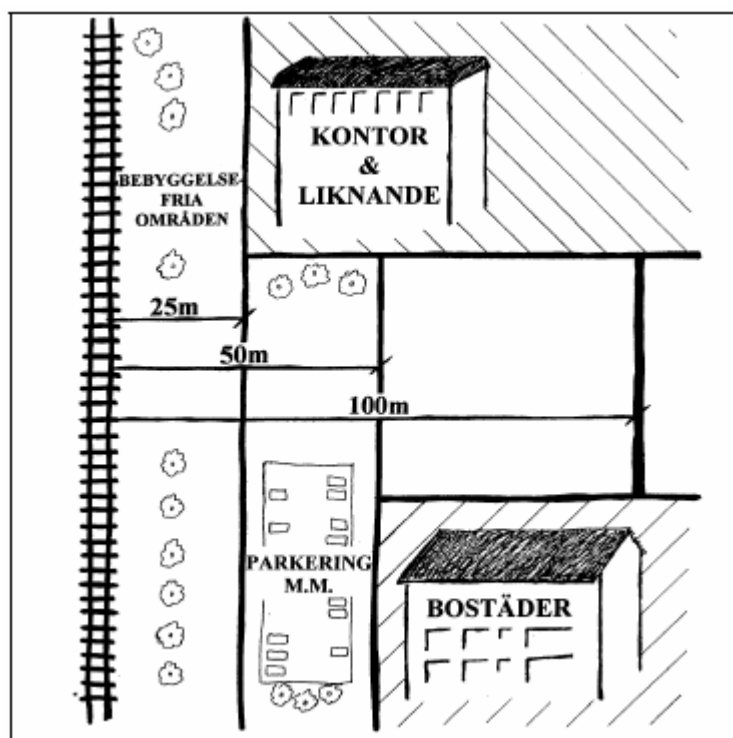
- En olycka med tio omkomna får ske högst vart 1 000:e-10 000:e år
- En olycka med 100 omkomna får ske högst en gång på 1-10 miljoner år.

Resultatet av denna risikanalys visar att en olycka med tio omkomna kan ske en gång på 100 000-1 miljon år. En olycka med 100 omkomna kan ske en gång på 1 miljon-10 miljoner år. Detta innebär att åtgärder enligt Göteborgs kommun och Länsstyrelsen i Stockholms län måste vidtagas. Länsstyrelsen i Stockholms län rekommenderar följande vid ny bebyggelse intill järnväg:

”Inom 100 meter från järnväg ska risksituationen bedömas vid exploatering. Det är inte lämpligt att lokalisera känslig bebyggelse så som bostäder, sjukhus, vårdlokaler och skolor i direkt anslutning till järnvägar där farligt god transporteras. Avses bebyggelse eller verksamheter att lokaliseras närmre järnvägen än 100 meter och om risk föreligger ska en risikanalys vara ett av underlagen vid planering. Risksituationen kan under särskilda omständigheter även behöva utredas utanför 100 meters avstånd.”

Länsstyrelsen i Stockholms län rekommenderar följande för den fysiska utformningen kring järnvägar/28/:

- Inom 100 meter från järnväg ska risksituationen bedömas vid exploatering.
- 25 meter närmast järnvägen bör lämnas byggnadsfritt. Detta för att klara risker förknippade med urspårning av ett tåg och olyckor med petroleumprodukter, vilket är det dominerande transportslaget av farligt gods.
- Längs järnvägen tillåts tät och stabil kontorsbebyggelse ända fram till 25 meter från järnvägen och sammanhållen bostadsbebyggelse medges fram till 50 meter från den. Även om avstånden hålls kan särskilda krav behöva ställas på bebyggelsens utformning.
- Personintensiva verksamheter bör inte lokaliseras närmare än 50 meter från järnvägen om de kommer att inrymma människor som kan ha svårt att snabbt genomföra utrymning eller sätta sig i säkerhet. Även om avstånden hålls kan särskilda krav behöva ställas på bebyggelsens utformning.



Figur 10:2 Rekommenderade avstånd/28/

De åtgärder som rekommenderas hade minskas befolkningstätheten i närheten av järnvägen. Dessutom hade risken för många skyddsvärda objekt minskat då det i nuläget ligger bostäder och andra skyddsvärda objekt i väldigt nära anslutning till järnvägen.

Eftersom ett eventuellt skadeområde är mycket stort får en förminskad befolkningstäthet i närheten av spåret ingen större effekt på den totala riskbilden. För att påverka resultatet av riskberäkningarna i denna rapport måste befolkningstätheten inom ett mycket stort avstånd från spårområdet förändras. För att minska risken som transporter av farligt gods på järnväg genom Halmstad innebär bör järnvägsstäckningen flyttas till en sträckning som är omgiven av färre människor.

Räddningstjänstens åtgärder

Stora olyckor med kemikalier är relativt ovanliga, vilket har till följd att räddningstjänstens erfarenheter från dylika olyckor blir begränsad. En genomarbetad plan kan bli det beslutsstöd

för kemikalieolyckor som ersätter erfarenheter räddningstjänsten normalt har från mer frekventa olyckor, exempelvis bränder och trafikolyckor. Det som talar emot planering av stora keminsatser är att man inte vet vilket ämne olyckan gäller och att varje olycka är unik, varför man först måste se olycksplatsen och veta mer om den innan beslut om vad som är rätt åtgärder kan fattas. Syftet med insatsplanering är att minska osäkerheterna inom vissa ramar. Insatsplanen bör dessutom vara så generell att den initialt kan användas på flera typer av olyckor./7/ Följande punkter som hämtats ur, ”Insatsplan för olycka med svaveldioxid”/7/ visar på filosofin kring med insatsplanering.

- Planering utifrån sannolika scenarier medför att utbildning och övning kan ske scenariolikt och därmed ge en känsla för dimensionerna och då också en viss kontroll över situationen.
- Utgångspunkten vid insatsplanering bör vara ett någorlunda troligt och generellt scenario. Vid en räddningsinsats utgår man sedan från den generella planeringen och anpassar efterhand de detaljerade åtgärderna mot de förhållanden som verkligen råder.
- En fördel med att ha en insatsplan är att man kan ha en stor organisation ”på rull” redan tidigt under förloppet. Vid vissa typer av kemikalieolyckor är tidsaspekten avgörande för resultatet av de skadebegränsande åtgärderna. Risken med detta är att det dras på med för stora resurser innan man vet om dessa behövs. Då kemikalieolyckor är så ovanliga som de är kommer detta dock att hända mycket sällan. Att inte satsa hårt när behovet finns kommer att bli svårt att motivera i efterhand mot drabbad befolkning och kommer dessutom att ge negativ publicitet.

Nedan följer en sammanställning av olika faktorer som kan vara möjliga att förutse och därmed ligga som grund för insatsplaneringen. Att kunna förutse dessa faktorer minskar också osäkerheten vid beslutsfattandet under räddningsarbetets initialskede./7/

| <i>Vad kan förutses?</i> | <i>Vilket leder till planering av följande:</i> |
|---|--|
| <i>Ämne – ämnesgrupp, mängder</i> | Skydds nivå, metodval, första åtgärder, materialbehov, påverkat område |
| <i>Platser</i> | Brytpunkter, uppställning, avspärrningar, angreppsriktning, uppsamlingsplats |
| <i>Omfattning</i> | Förstärkningar, avlösning |
| <i>Brandrisk</i> | Släckmetod och släckutrustning |
| <i>Reaktivitet – vatten eller annat</i> | Risker, omfallsplanering |
| <i>Skaderisk, skadetyper, antal skadade</i> | Uppsamlingsplats, sjukvårdsinsats, omhändertagande, behandlingsmetoder, medicinbehov |
| <i>Miljörisker</i> | Åtgärder |
| <i>Övriga organisationer</i> | Samverkan, samband |
| <i>Mediatryck</i> | Pressbefäl, information |

Tabell 10:1 Innehåll insatsplan

Vid ett eventuellt utsläpp av en tryckkondenserad giftig eller brandfarlig gas visar känslighetsanalysen att de faktorer som påverkar spridningen mest är hålstorlek och vindhastighet. Insatser mot olyckor med tryckkondenserade gaser bör därför inriktas mot att minska hålarean. Detta bör kompletteras med nedtvättning av gasmoln i de fall som gasen är lös i vatten det vill säga ammoniak och svaveldioxid.

Referenser

1. Räddningsverket 2001, *Tågolyckan i Borlänge, Observatörsrapport*, (ISBN 91-7253-134-7)
2. Räddningsverket 1998, *Tågolyckan i Kälarne, Observatörsrapport*, Eriksson Tore och Jansson Torbjörn, (ISBN 91-88891-45-3)
3. Räddningsverket 1996, *Ammoniakolyckan i Kävlinge april 1996, Observatörsrapport*, Larsson Gustav, (ISBN 91-88890-38-4)
4. Räddningsverket 1996, *Stora olyckor- utsläpp av fluovätesyra i Torshälla februari 1996*, Erlandsson Ulf, (ISBN 91-88890-32-5)
5. Överstyrelsen för civil beredskap 1998, *Robusthet i den fysiska miljön*, Palmér Karl G., (ISBN 91-7097-038-6)
6. Räddningsverket 2003, *Handbok för riskanalys*, Davidsson Göran m fl, (ISBN 91-7253-178-9)
7. Räddningsverket 2003, *Insatsplan för olycka med svaveldioxid I Umeå*, Eriksson Håkan m fl (ISBN 91-7253-185-1)
8. Väg- och transportforskningsinstitutet 1994, *Riskanalysmetoder för transporter av farligt gods på väg och järnväg. Nr 387:1*, Lindberg Erik m fl, (ISSN 0347-6030)
9. Forsvarets forskningsanstalt 1995, *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor*, Fischer Stellan m fl, (FOA-D—95-00099-4.9—SE)
10. Ministry of social affairs 1979, *Methods for the calculation of the physical effects of the escape of dangerous materials (liquid and gases)*, (Holland)
11. Brandteknik LTH, *Introduktion till konsekvensberäkning, några förenklade typfall*, Andersson Berit
12. Brandteknik LTH 1999, *Riskhänsyn vid fysisk planering- en detaljstudie av Malmö Hamn*, Olsen Håkan m fl, (Rapport 5034)
13. University of Edinburgh 1998, *An introduction to fire dynamics*, Drysdale Dougal, (ISBN 0-471-97290-8)
14. Banverket 2001, *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*, Fredén Sven (Rapport 2001:5)
15. SSPA Maritime Consulting AB 1997, *Säkerhetsvärdering Tröingebergstunneln*, Lennart Hammar
16. Flygfältsbyrån 1997, *Riskstudie avseende alternativa bansträckningar för Falkenberg*, Pålsson Ingemar m fl, (FB's refnr 1512023)
17. Väg- och transportforskningsinstitutet 1994, *Om sannolikhet för järnvägsolyckor med farligt gods. Nr 387:2*, Fredén Sven, (ISSN 0347-6030)
18. Det norske Veritas 2000, *Riskanalys- Farligt gods på Botniabanan*, Davidsson Göran m fl, (DNV Rapport 50 413 031-1)
19. Brandteknik LTH 2001, *Riskanalys av Trelleborgs hamn och rangerbangård*, Karmestam Anders (Rapport 5090)
20. Räddningsverket 1998, *Riskhänsyn i fysisk planering*, Persson Kent, (ISBN 91-88891-50-X)
21. Ministry of social affairs 1979, *Methods for the calculation of the physical effects of the escape of dangerous materials*, Holland

22. Stadskontoret Halmstads kommun 2001, *Områdesdata 2001*, Lind Ronnie m fl.
23. Räddningsverket 2000, *Vägledning för riskbedömning av kyl- och frysanläggningar med ammoniak*, Haeffler Liane m fl., (ISBN 91-7253-085-5)
24. Räddningsverket 1996, *Farligt Gods- Riskbedömningar vid transport*, (B20-194/96)
25. Brandteknik LTH 2003, *Metoder för risk- och sårbarhetsanalys*, Ingvarson Johan m fl.(Rapport 5113)
26. American institute of chemical engineers 1989, *Guidelines for chemical process Quantitative Risk Analysis*, New York
27. Stadsbyggnadskontoret Göteborg 1997, *Översiktsplan för Göteborg, Fördjupad för sektorn Transporter av farligt gods*, Ander Hans m fl,
28. Länsstyrelsen i Stockholms Län 2000, *Riskhänsyn vid ny bebyggelse*, Räddnings och säkerhetsavdelningen
29. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, *Relativa frekvenser av vindhastighet och vindriktning*, Edquist Eva.
30. Brandteknik LTH 2003, *Risicanalys av farligtgodstransporter i Borlänge kommun*, Carlsson Thomas, (Rapport 5129)

A. www.regeringen.se

B. www.näringsdepartementet.se

C. www.environ.se

D. www.banverket.se

E. www.kbm.se

F. Telefonsamtal med jourhavande klimatolog.

Bilaga A, Statistik

Dimensionerande befolkningstäthet (1400 meters radie runt plankorsning Fredsgatan)

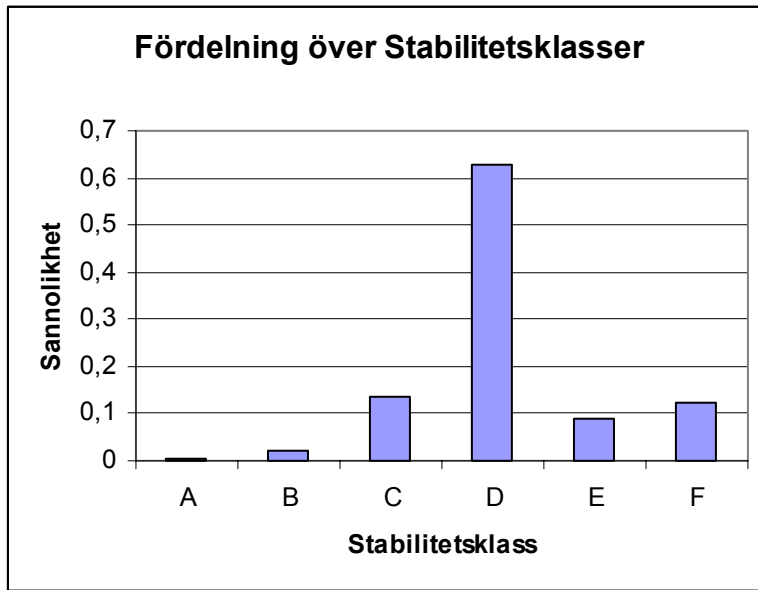
| | Yta (m ²) | Antal natt invånare (pers.) | Befolkningstäthet natt (inv./m ²) | Antal dag invånare (pers.) | Befolkningstäthet dag (inv./m ²) |
|--------------------|-----------------------|-----------------------------------|--|----------------------------------|---|
| Centrum v | 290000 | 948 | 0,00327 | 3600 | 0,01241 |
| SlottsJordan | 1420000 | 1439 | 0,00101 | 3142 | 0,00221 |
| Furet | 870000 | 1491 | 0,00171 | 1183 | 0,00136 |
| Centrum ö | 490000 | 1494 | 0,00305 | 1752 | 0,00358 |
| Nyatorp | 520000 | 2064 | 0,00397 | 1630 | 0,00313 |
| Sannarp | 1230000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nyhem | 610000 | 4196 | 0,00688 | 3615 | 0,00593 |
| Engelbrekt | 490000 | 1832 | 0,00374 | 1631 | 0,00333 |
| Linehed | 1240000 | 4979 | 0,00402 | 3814 | 0,00308 |
| Östra Förstaden | 100000 | 950 | 0,0095 | 840 | 0,0084 |
| | 7260000 | 19393 | 0,00267 | 21207 | 0,00292 |

Meteorologiska data

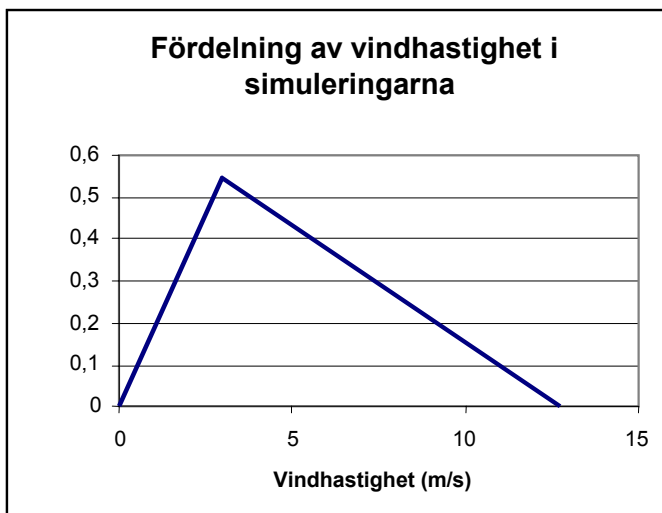
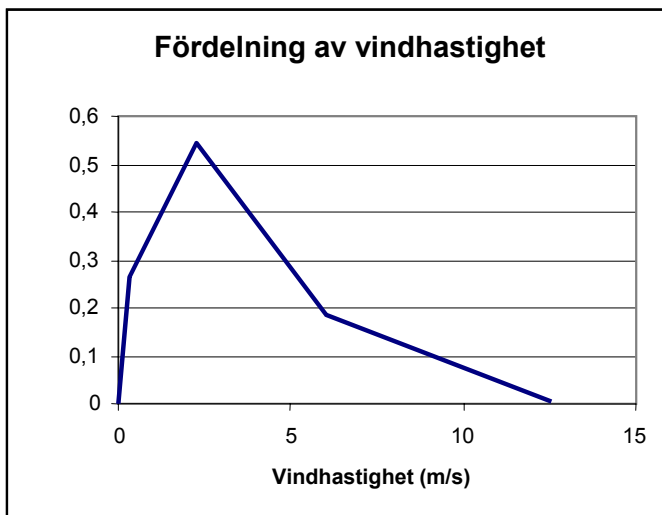
Fördelning vindriktning och vindstyrka

| Hastighet(m/s) | 0 | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | Summa |
|----------------|-------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|--------|
| 17,25 - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12,75 - 17,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8,25 - 12,75 | 0 | 0 | 0,02 | 0 | 0,08 | 0,06 | 0,02 | 0,06 | 0 | 0,23 |
| 3,75 - 8,25 | 0 | 0,25 | 0,86 | 2,56 | 3,61 | 3,13 | 3,55 | 4,23 | 0,39 | 18,57 |
| 0,75 - 3,75 | 0,01 | 1,89 | 3,93 | 8,74 | 8,86 | 6,26 | 7,12 | 12,98 | 4,72 | 54,50 |
| 0 - 0,75 | 26,69 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26,69 |
| | | | | | | | | | | |
| Summa | 26,71 | 2,14 | 4,80 | 11,3 | 12,54 | 9,45 | 10,69 | 17,27 | 5,11 | 100,00 |

Fördelning stabilitetsklasser



Faktisk vind vs. Simulerad vind



Bilaga B, Farligtgodsklasser

Farligt gods är varor som är explosiva, brandfarliga, giftiga, radioaktiva, frätande eller har andra egenskaper som kan orsaka skada på människor, djur och omgivande miljö. Även behållare som innehållit farligt gods men ej rengjorts räknas som farligt gods. Den fara som ett ämne kan utgöra för sin omgivning avgör vilken klass ämnet skall tillhöra. Bedömningen av den huvudsakliga faran kan variera om ämnet transporteras på land, till sjöss eller i luften.

Sverige anslöt sig 1974 till den europeiska överenskommelsen om internationell transport av farligt gods på väg, ADR. ADR är en förkortning av den franska definitionen på avtalet. I fulltext lyder den franska versionen ”Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route”. Statens räddningsverk har föreskrifter angående inrikes vägtransporter av farligt gods, dessa betecknas ADR-S.

Det finns en motsvarande överenskommelse angående transport av farligt gods på järnväg, denna betecknas RID, ”Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses”. Motsvarande svenska föreskrifter för inrikes transporter av farligt gods betecknas RID-S.

ADR/ADR-S definierar följande klass till respektive fara.

| | |
|-----------|---|
| Klass 1 | Explosiva ämnen och föremål |
| Klass 2 | Gaser |
| Klass 3 | Brandfarliga vätskor |
| Klass 4.1 | Brandfarliga fasta ämnen |
| Klass 4.2 | Självantändande ämnen |
| Klass 4.3 | Ämnen som utvecklar brandfarlig gas vid kontakt med vatten |
| Klass 5.1 | Oxiderande ämnen |
| Klass 5.2 | Organiska peroxider |
| Klass 6.1 | Giftiga ämnen |
| Klass 6.2 | Smittsamma ämnen |
| Klass 7 | Radioaktiva ämnen |
| Klass 8 | Frätande ämnen |
| Klass 9 | Övriga ämnen och föremål (Miljöfarlighetskriterier ingår i klass 9) |

Klass 1, explosiva ämnen och föremål

Denna klass delas in i riskgrupper beroende på de skilda faror som de representerar, som exempel kan nämnas signalbloss kontra dynamit eller militärt materiel. De olika riskgrupperna benämns 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 och 1.5.

Den farligaste riskgruppen är 1.1, som innefattar ämnen och föremål med risk för massexplosion. Den minst farliga gruppen är 1.5 som består av mycket okänsliga ämnen med risk för massexplosion men med mycket liten sannolikhet för initiering.

Klass 2, gaser

I denna klass kan i huvudsak två undergrupper urskiljas, komprimerade och tryckkondenserade gaser.

Komprimerad gas betyder att gaserna är sammanpressade, förtätade. Dessa gaser transporteras i tryckbehållare av olika storlekar. Gastrycket i behållarna varierar kraftigt med hänsyn till

varans art. Exempel på ämnen som transporteras och förvaras på detta sätt är kväve, väte, helium och syre.

Kondenserade gaser har den egenskapen att de övergår till vätska vid ett relativt lågt tryck. En behållare med kondenserad gas innehåller således mestadels vätska under tryck. Vid ett eventuellt haveri med läckage kan man således få utströmning från vätskefas och/eller gasfas. Ämnen som transporteras som kondenserad gaser är bland annat gasol, svaveldioxid, klor och ammoniak.

Klass 3, brandfarliga vätskor

Denna klass innehåller framförallt petroleumbaserade produkter såsom bensin och diesel. Även denna klass har delats in i ett antal undergrupper då farligheten skiljer sig väsentligt mellan olika ämnen. Dessa undergrupper är, mycket brandfarligt (a), brandfarligt (b) och mindre brandfarligt (c). Dessa undergrupper grundar sig på respektive ämnes flampunkter. De mycket brandfarliga ämnena har en flampunkt på under minus 18°C och dessutom en kokpunkt under 35°C. De brandfarliga har en flampunkt mellan minus 18°C och plus 21°C och de mindre brandfarliga har en flampunkt på över 21°C.

Klass 4.1, brandfarliga fasta ämnen

Även denna klass delas in i undergrupper, 4.1, 4.2 och 4.3. Den första undergruppen, 4.1, som betyder brandfarliga fasta ämnen, innehåller ämnen såsom svavel, röd fosfor mm.

Klass 4.2, självantändande ämnen

Denna klass innehåller ämnen och föremål som har benägenhet att självantända. Exempel på sådana ämnen är linolja, fiskmjöl och kol.

Klass 4.3, ämnen som utvecklar brandfarlig gas vid kontakt med vatten

Denna klass representeras bland annat av karbid som vid kontakt med vatten bildar den brandfarliga gasen acetylen. En del ämnen, däribland natrium, bildar tillsammans med vatten vätgas. Vid sådan reaktion frigörs så mycket värme att den gas som bildas antänds explosionsartat, vilket kan medföra att även metallen börjar brinna.

Ämnena i denna grupp reagerar dessutom med fuktigheten i huden vilket gör att frätskador kan uppstå.

Klass 5.1, oxiderande ämnen

Gemensamt för ämnena i denna grupp är att de innehåller stora mängder bundet syre, som lätt kan frigöras vid till exempel upphettning. Syret kan då reagera med andra ämnen, oxidera, och orsaka explosion eller understödja brand. Många av ämnena är därför mycket känsliga för föroreningar, vilka kan reagera med syret. Exempel på ämnen i denna kategori är klorater, kloriter, nitrater och nitriter.

Klass 5.2, organiska peroxider

Organiska peroxider utgör en speciell grupp av oxiderande ämnen som även är brandfarliga. De kan bland annat avge syre så att en brand kan underhållas även i en syrefri miljö. Peroxider ger lätt ifrån sig syre varvid kraftiga reaktioner kan uppstå. Det är därför av största vikt att förhindra inblandning med andra brännbara varor.

Klass 6.1, giftiga ämnen

Ämnen i denna klass kan förekomma både som fasta ämnen och som vätskor. Ämnen som tillhör denna klass kan dessutom ha andra betydelsefulla egenskaper. Bland annat kan de vara brandfarliga eller frätande och orsaken till att de hamnat i denna klass kan vara att den primära risken har ansetts vara dess giftighet. Exempel på ämnen som hänförs till denna kategori är, bekämpningsmedel, arsenikföreningar, cyanider och kvicksilverföreningar.

Klass 6.2, smittsamma ämnen

Ämnen i denna klass utgör tillhåll för mikroorganismer som mögelsvamp, bakterier eller virus. Exempel på produkter som transporteras under denna beteckning är benmjöl, hudar, senor och fett.

Klass 7.1, radioaktiva ämnen

Till radioaktiva ämnen räknas isotoper som används i olika sammanhang inom industrin och sjukvården. Kärnbränsle liksom avfall från kärnkraftsindustrin innehåller radioaktiva ämnen. De radioaktiva ämnena är uppdelade i 13 olika klasser där klasserna 1 till 4 innehåller ämnen med lägst risk och ämnen med nummer 13 de med störst risk. Transportreglerna för radioaktiva ämnen är mycket komplicerade och skiljer sig från övriga regler i ADR/ADR-S.

Klass 8, frätande ämnen

Ämnena i denna kategori har egenskapen att de kan fräta sönder de flesta material t ex tyg, papper och många metaller. Detta medför ofta gas och värmeutveckling. I vissa fall bildas vätgas som i ogynnsamma fall kan antändas. De frätande ämnena delas in i sura, basiska och övriga frätande ämnen. Exempel på sura ämnen är syror exempelvis saltsyra, salpetersyra och ättiksyra. Typiskt basiska ämnen är natriumhydroxid, kaliumhydroxid och natriumkarbonat.

Klass 9, Övriga farliga ämnen och föremål

Denna klass består av ämnen som inte kan hänföras till någon av de övriga åtta klasserna. Exempel på ämnen som återfinns i denna kategori är asbest, PCB, polymerer och litiumbatterier.

Nedan redovisas en tabell med generella fakta om respektive farligtgods klass.

| <i>Klass</i> | <i>Konsekvenser</i> | <i>Kommentarer</i> |
|---|---|--|
| <i>1. Explosiva ämnen</i> | Övertryck som kan skada eller rasera byggnader, splitterskador på människor | Massexplosiva ämnen kan ge effekter på tiotals upp till något hundratal meter. |
| <i>2. Brännbar gas</i> | Jetflamma Gasmolnsexplosion BLEVE | Direkta effekter troligen begränsade till närområdet Små konsekvenser utanför gasmolnet, mkt svåra konsekvenser inuti molnet Värmestrålning påverkar personer inom några hundra meter, splitter kan påverka personer på betydligt längre avstånd |
| <i>2. Giftig gas</i> | Gasmoln – toxiska effekter | Kan ge konsekvenser på mycket stora avstånd från utloppskällan. |
| <i>3. Brandfarlig vätska</i> | Pölbrand | Effekter troligen begränsade till närområdet. |
| <i>4. Brandfarliga fasta ämnen</i> | Brand | Effekter troligen begränsade till närområdet. |
| <i>5. Oxiderande ämnen, organiska peroxider</i> | Brand Explosion – i samband med blandning med andra brännbara ämnen | Effekter troligen begränsade till närområdet. Kan ge effekter på tiotals upp till något hundratal meter. |
| <i>6. Giftiga ämnen</i> | Toxiska effekter | Effekter troligen begränsade till närområdet. |
| <i>7. Radioaktiva ämnen</i> | | Ger normalt ej upphov till akuta effekter, dock kan kroniska effekter uppstå. |
| <i>8. Frätande ämnen</i> | | Effekter troligen begränsade till närområdet. |
| <i>9. Övriga ämnen</i> | | Effekter troligen begränsade till närområdet. |

Bilaga C, Bakgrundshändelser

Det har på senare år förekommit ett antal händelser inom järnvägsfrakt av farligt gods som hade kunnat utvecklas till mycket allvarliga händelser. Nedan presenteras några av dem för att belysa vikten av att planera för denna typ av händelse. I några av fallen var det turen som avgjorde att det endast blev en incident och inte en mycket allvarlig olycka.

Tågolyckan i Borlänge

Lördagen den 8 april 2000 klockan 02.30 spårade ett godståg lastat med 450 ton LPG (liquified petroleum gas, svenskt handelsnamn gasol) ur på bangården i Borlänge. Olyckståget var lastat med enbart gasol och skulle till SSAB i Borlänge.

Tåget bestod av nio vagnar med ca 50 ton gasol i varje vagn. Tåget kom in på stationen med en hastighet på 70 km/h, trots att högsta tillåtna hastighet på stationen var 40 km/h.

Sex av de totalt nio vagnarna spårade ur och av dessa välte fem. Det uppkom inget läckage trots att urspårningen var våldsam. Räddningstjänsten larmas till platsen kl. 02.30.

Beslut tas att endast utrymma området närmast olycksplatsen och inte utrymma byggnader i området. Under natten informeras kommunstyrelsens ordförande. Efter en första analys prioriterar kommunledningen att upprätta samband med räddningsledningen och polisledningen, informationsinsatser till invånarna i Borlänge, trafikplanering och planering för ett evakueringsscenario.

Under natten till söndagen besiktigas samtliga vagnar och det konstateras att flera av dem har skador eller förstörda rör och ventilsystem. Man diskuterar två metoder för bärgning av vagnarna, lyft av vagnarna eller håltagning i tankarna genom så kallad Hot-tapping. Ett beslut tas för att borring skall genomföras. Denna skall genomföras av personal från Gasakuten. Vidare beslutas om utrymning, inre avspärning, begäran om militärt bistånd och att uppföra värmestrålningsbarriärer i form av containers. Man begär även bistånd från SMC-resursen i Stockholm. (SMC = släckmedelscentralen)

Under måndagen och tisdagen förbereds håltagningsoperationen. Dessutom upprättas en bakre stab, med stöd från Södertörns brandförsvarsförbund och Gästrikere räddningstjänstförbund.

Räddningsledningen och kommunledningen enades om att evakuera 635 personer under måndagskvällen. Kontakterna med bostadsområdena hade etablerats redan under lördagen genom ordföranden i respektive bostadsrättsförening. Det kunde därvid konstateras att ca 60 personer behövde kommunens hjälp med evakueringen och ca 30 var i behov av alternativa vårdplatser till följd av att ett vårdhem var tvunget att evakueras.

Vid lunchtid på tisdagen påbörjades Hot-tappingskedet med att ventiler för tömning av vätskefas svetsades på det praktiskt lägsta stället på de fem liggande vagnarna. Torsdag lunch var samtliga vagnar borrarade och godkända.

Första liggande vagnen är tömd fredag kl. 04.30, avfackling påbörjades kl. 06.00 och var klar ca kl. 18.00. Med hjälp av åtta ångpannor från vägverket "kokades" vagnarna, vilket gjorde att avfacklingstiden minskade. Lördag kl. 17.00 var sista vagnen tömd på flytande LPG och

söndag morgon, åtta dagar efter incidenten, slocknade sista facklan. Mer än 90 % av den LPG som ursprungligen fanns i tankarna kunde sedermera levereras till SSAB.

Torsdagen den 20 april kan delar av persontrafiken återupptas. Söndagen den 30 april är återställningsarbetet helt klart./1/

Tågolyckan i Kälarne

Fredagen den 4 juli kl. 17.31 skedde en tågurspårning några kilometer sydväst om Kälarne samhälle i Bräcke kommun i Jämtland. Av tågets 37 vagnar var sju lastade med farligt gods, tre innehöll svaveldioxid, en frätande organisk syra (UN 3267), en ammoniak, en etylenoxid och en acetaldehyd. Initialt spärrades ett område på 500 meters radie av och evakuerades. Något läckage kunde inledningsvis ej upptäckas. En expertgrupp för varje kemikaliegrupp tillkallades. Riskområdet utökades senare till tre kilometer.

Material som andningsapparater, luftflaskor, kemskyddsdräkter, saneringsutrustning och kommunikationsradioapparater rekvirerades från räddningsverket. Förstärkning för stabsarbete, service och skadeplatsarbete rekvirerades från totalt 12 räddningstjänster. En sjukvårdsorganisation för omhändertagande av egen personal organiserades också.

Ett läckage av den frätande organiska syran upptäcktes under lördagen. Detta samlades upp och transporterades bort.

Storsalig släckutrustning rekvirerades till platsen. För att säkra vattentillgången till densamma byggdes en vägbank från landsvägen över järnvägsspåret och till den intilliggande sjön.

Under söndagen inträffade ytterligare ett läckage, denna gång av etylenoxid. Denna kemikalie är lättantändlig och mycket giftig. Läckaget oskadliggjordes med hjälp av kontinuerlig vattenbegjutning och upphörde efter några timmar av sig självt. Denna tank tömdes sedan med hjälp av överpumpning till en ny järnvägsvagn och kördes sedan bort.

Under insatsens tredje dygn tog länsstyrelsen i Jämtland över ansvaret för olyckan samt för räddningstjänsten i Bräcke och Ragunda kommuner.

Ammoniaktankvagnen lyftes upp på en trailer och fraktades något hundratal meter, till användbart järnvägsspår. Där kunde ammoniak sedan överpumpas till en ny järnvägsvagn. Under denna del av insatsen utrymdes ett område med 5 kilometers radie, därmed även Kälarne samhälle. Totalt evakuerades ca 800 personer. De urspårade svaveldioxidvagnarna lyftes upp på spåret och samtliga kemikalievagnar transporterades bort. Räddningsinsatsen avslutades kl. 10.30 fredagen den 11 juli efter sju dagar och totalt ca 500 personer engagerade i räddningsarbetet./2/

Ammoniakolyckan i Kävlinge

Den 22 april 1996 kl. 16.30 spårade ett tåg ur strax söder om Kävlinge, vid Lackalänga, i Skåne. Tåget bestod av totalt 23 vagnar. Av dessa var sex lastade med farligt gods.

Tåget var på väg söderut från Landskrona mot Malmö. Olyckan resulterade i att nio vagnar spårade ur, bland annat välte två vagnar som var lastade med ammoniak. Dessa vagnar innehöll 45 respektive 40 ton ammoniak. Ytterligare en ammoniakvagn spårade ur men endast med bakboggien. En tom godsvagn lade sig dessutom ovanpå en av ammoniakvagnarna. Denna vagn klassades även som en farligtgodsvagn, ty den var tom, men ingalunda rengjord.

Övriga urspårade vagnar, som innehöll allehanda gods, stod mer eller mindre kvar på banvallen.

Ingen ammoniak läckte ut från någon tankvagn i inledningsskedet och ej heller under det efterföljande bärgningsarbetet och ingen människa skadades vid olyckan. Orsaken till olyckan är ännu okänd (i skrivande stund 1996).

Järnvägsspåret genom Kävlinge delas upp strax söder om staden i två sträckningar, den ena via Lomma till Malmö och den andra via Lund till Malmö. Olyckan inträffade på den sträckning som går mellan Kävlinge och Lomma. All persontrafik går mellan Kävlinge och Lund. Platsen för olyckan var lyckosam ur flera aspekter förutom att persontrafiken ej berördes. Bland annat rinner Kävlingeån bara ett hundratal meter lägre fram. Ytterligare ett hundratal meter längre fram ligger en vattentäkt. Dessutom välte vagnarna på en grusplan vilket medförde att inga vassa föremål som skulle ha kunnat punktera tankarna fanns i närheten av olycksplatsen.

Tre olika handlingsalternativ utkristalliserades under den första dagen. Lyfta tankarna till trailers för vidare transport till Landskrona, läktra 30 % av vätskan för att sedan lyfta och transportera dem till Landskrona eller lyfta tankarna med hjälp av lyftkuddar för att kunna läktra. Efter bedömning av risker, kunskap och övrig information bestämdes att lyfta tankarna i orubbat läge och frakta dessa till Landskrona. Detta framförallt för att riskerna med denna operation ansågs minst. Ändock bedömde man att utrymning var nödvändig vid bärgningsarbetet.

För att bedöma riskavståndet genomfördes konsekvensberäkningar med hjälp av datorprogrammet Chems-Plus.

Under dag två, 23 april, lyftes den ammoniakvagn som endast spårat ur med bakboggien upp på spåret igen och den samt ett antal opåverkade vagnar transporteras från platsen. Dessutom lyfts den tomma farligtgodsvagnen bort.

Under dag tre, 24 april, skärs boggier loss från de båda ammoniakvagnarna som välts. Därefter lyfts de från sandbädden till trailern för transport till Landskrona. Först vid detta sista moment, lyftet, utrymdes de berörda invånarna, ca 9000 personer i nästan ett dygn.

När den sista av de två havererade vagnarna lastats och säkrats avslutades räddningsinsatsen./3/

Utsläpp av fluorvätesyra i Torshälla

Måndagen den 19 februari 1996 vid 11.30 tiden upptäcktes ett läckage på en nyfylld cistern med ca 28 m³ 73-75 procentig fluorvätesyra på Avesta Nybys industriområde i Torshälla. Läckaget kom från en spricka och kunde inte omedelbart tätas med tillgänglig utrustning. På förmiddagen den aktuella dagen hade fluorvätesyra levererats på vanligt sätt och cisternen var enligt uppgift full. Påfyllningen hade gått normalt och ingen i personalen hade märkt något avvikande.

Vid ca 11.30 tiden kände en anställd vid Avesta Nyby en stickande lukt och observerade ett mindre läckage från den nyfyllda tanken. En stråle av syra sprutade från en punkt på mantelytan över invallningens kant och ner på asfaltsplanen framför cisternen. Larm till SOS centralen inkom kl. 11.41.

Fluorvätesyra med farlighetsnummer 886 är en färglös eller brun vätska med stickande lukt. Gaserna är inte brännbara. Gastäthetsförhållandena är 1,8(luft 1,0) vilket innebär att ett moln med förgasad fluorvätesyra inte stiger uppåt utan rinner längs med marken.

Räddningsledaren konstaterade vid framkomsten en millimeterbred och ca 20 cm lång spricka i tanken.

Med detta som grund fattade han ett beslut i stort (BIS): Begränsa skadeutvecklingen genom att läktra vätskan, samla upp vätskan och täta brunnen. Utrymning av riskområdet.

Riskområdet beslutades till att omfatta Nyby industriområde i vindriktningen från cisternen, detta motsvarar ca 600 meter.

För att fastställa faran för gasspridning, personskador etc. behövdes experthjälp, denna erhöles via SOS-centralen. Man beslutade därvid att inga tätningsförsök skulle göras utan istället skulle vätskan läktras över till en intilliggande cistern som innehöll blandsyra. Dock gjordes försök att samla upp den utsprutande vätskan med hjälp av öppna kar.

Under den tid det tog att tömma blandsyratanken tilltog gasutvecklingen kraftigt och ett synligt moln drog sig bort i vindriktningen. Till följd av detta beslutade räddningsledningen att gå ut med ett varningsmeddelande via radion. De boende i vindriktningen uppmanades att stanna inomhus och stänga dörrar, fönster och ventiler. Dessutom spärrade polisen av området för att hindra människor att komma in i området. Att endast använda radiomeddelande och inte VMA grundade sig på att tyfonerna i Torshälla var sammankopplade med de i Eskilstuna och ett meddelande skulle troligen gjort mer skada än nytta.

Strax efter kl. 14 började arbetet med läktringen ge resultat. Trycket på läckagestrålen blev allt mindre. Klockan 14.50 hade läckaget helt upphört. Kemdykare kunde då läktra över den vätska som samlats i uppsamlingskärnen. Cirka 16 m³ vätska hade samlats här.

Räddningsinsatsen avslutades kl. 17.45./4/

Sammanfattning

Dessa bakgrundshändelser visar att en olycka med farligt gods inte bara är en angelägenhet för räddningstjänsten. Många funktioner i samhället engageras vilket ställer stora krav på organisation och planläggning.

Bilaga D, Teori

Toxikologi

De effekter som behandlas i detta kapitel är akuta effekter av giftiga ämnen. Med akuta effekter menas effekter av exponering under kortare tid, från minuter till maximalt någon timme.

Vid bedömning av effekterna efter att ha exponerats av ett ämne måste hänsyn tas till faktorer som ämnets giftighet, exponeringsväg för ämnet, exponeringstid och dos, det vill säga den mängd ämne som man blivit utsatt för./9/

Exponeringsväg

Med begreppet exponeringsväg menas det sätt på vilket en individ kommer i kontakt med ämnet. Möjliga exponeringsvägar är andningsvägarna, genom huden, ögon eller intag genom munnen. Ämnets fysikaliska egenskaper avgör vilken exponeringsväg som utgör största faran.

Gaser och flyktiga ämnen som lätt förångas exponeras lättast genom andningsvägarna (inhalation). Även fasta ämnen och aerosoler kan tas upp av kroppen genom andningsvägarna. Exponering av gaser kan även ske genom ögon och hud. Detta gäller framförallt retande ämnen som exempelvis klor./9/

Exponeringstid

Exponeringstiden är den tid under vilken man utsätts för ett visst ämne. Vid inhalation av ett ämne är exponeringstiden den tid under vilken inandning sker. Vid exponering via hud eller ögon är det tidsperioden under vilken ämnet är i direktkontakt med huden. En insats med vatten, saneringsmedel eller andra sätt att avlägsna ämnet minskar således exponeringstiden.

Vid inhalation och exponering via hud/ögon kan ett ämne utöva sin effekt efter att den direkta exponeringen upphört genom att det absorberats i andningsvägarna, huden eller ögonen./9/

Dos

Toxikologiska effekter anges normalt som en funktion av dosen. Ett värde som ofta används för att beskriva den akuta giftigheten hos ett ämne är den dos som förväntas leda till 50 % -ig dödlighet i en exponerad population, denna kallas LD₅₀ (Lethal Dose, 50 %). Även dos för andra effekter som ögonirritation eller behov av vård, kan bestämmas för ett speciellt ämne. Denna dos brukar betecknas som ED₅₀ (Effective Dose, 50 %). Naturligtvis kan andra frekvensnivåer användas, 10 % påverkade betecknas ED₁₀./9/

Koncentration

Vid exponering för gaser och/eller aerosoler uttrycks den toxiska effekten som en funktion av koncentrationen av ämnet i luften, mg/m³ eller ppm (Parts Per Million). Ett värde analogt med LD₅₀ ovan är därför LC₅₀ (Lethal Concentration, 50 %). På samma sätt är ED₅₀ analogt med EC₅₀.

Upptagen dos är även en funktion av tiden och exponeringsväg. För att vara entydigt måste därför även exponeringstiden och exponeringsvägen anges. Detta för att de toxiska effekterna är bestämda efter diverse försök som utsatt försöksdjuren för exponering på olika sätt./9/

Värmestrålning

Brännbara ämnen som blandas med luft avger, om de antänds, kemiskt bunden energi som till stor del utgörs av värme. Värmen strålar ut från reaktionsområdet och påverkar människor och materiel. I samband med olyckor med farligt gods utvecklas värmestrålning på fyra olika sätt, pölbrand, jetflamma, flamfront eller BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)./9/

Pölbrand

Om det brandfarliga ämnet som släppts ut avdunstar relativt långsamt bildas vid utsläppsplatsen en pöl varur det kommer att avdunsta brandfarlig gas. Om denna gas antänds talar man om en pölbrand. Konsekvensen av en pölbrand i samband med ett utsläpp på banvallen blir troligen ringa. Dock måste risken för sekundära händelser som brandspridning till närliggande bebyggelse och infrastruktur beaktas./9/

Jetflamma

Om det brandfarliga ämnet strömmar ut i luften under tryck och förångas alternativt strömmar ut i form av gas, och antänds talar man om en jetflamma. En jetflamma skulle troligen få ansevärd konsekvenser för bebyggelse i direkt anslutning till banvallen. En jetflammans påverkan på människor är troligen mindre eftersom människor endast tillfälligt uppehåller sig utomhus i anslutning till spårområdet då miljön vid spårområdet inte inbjuder till någon längre uppehållstid.

Gasexplosion

Om ett utsläpp av brännbart ämne blandar sig med luften och därefter antänds uppstår en förbränning med en flamfront som breder ut sig. Detta kallas en gasexplosion. Styrkan hos en gasexplosion beror på flamfrontens utbredningshastighet. Om flamfrontens hastighet är lägre än ljudets hastighet talar man om en deflagration. Om hastigheten är högre än ljudets hastighet är det fråga om en detonation. Många experiment pekar på att flamhastigheten ökar med ökad turbulens. Detta innebär att det endast är den gas som befinner sig i område med mycket hinder, som skapar turbulens, som har förutsättningar att utvecklas till en detonation.

Personer som befinner sig inne i det brinnande molnet kommer med största sannolikhet få mycket allvarliga eller dödliga skador. Människor som befinner sig utanför molnet kommer troligen också få skador. Omfattningen av dessa är dock svåra att avgöra då det kan förväntas att de endast kommer påverkas av värmestrålning under en mycket kort period. Dessa skador kan därför anses så små att de i jämförelse med de i molnet kan försummas.

BLEVE

En BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) blir följden av att en tryckkondenserad brännbar gas upphetas och förångas vilket medför att trycket i tanken ökar tills tanken rämman. Om en trycksatt brännbar substans i vätskeform, plötsligt (momentant) strömmar ut i luften och antänds bildas ett eldklot. Utströmningen kan bero på att tryckbehållaren utsatts för brand på utsidan. Värmestrålningen från ett eldklot av brinnande gas utgörs av den brinnande gas som, på grund av sin låga densitet jämfört med omgivande luft, snabbt stiger uppåt. Det brännbara ämnet blandas med luften på grund av turbulens som uppstår vid stigningen och förbränns snabbt. Konsekvenserna av en BLEVE torde kunna bli ganska omfattande. En orsak till detta är, förutom värmestrålningen, att fragment från den havererade tankvagnen kommer att sprida sig långt från haveriplatsen.

Teori om konsekvensberäkningar

Vid konsekvensberäkningarna har ett antal av de ingående parametrarna tilldelats fördelningar. Dessa fördelningar har behandlats i datorprogrammet @RISK och dimensionerande avstånd och massflödet har beräknats. När dimensionerande avstånd och massflöde beräknas används en mängd parametrar som hålstorlek, hålgeometri och väderförhållande. Eftersom det är svårt att bestämma vilka värden på dessa parametrar som råder vid ett eventuellt utsläpp har dessa tilldelats fördelningar istället för diskreta variabler. Resultatet av beräkningarna presenteras som fördelningar vilka speglar inom vilket intervall som konsekvensen för en eventuell olycka kan förväntas.

Efter beräkningarna kan man bestämma vilken nivå som skall anses vara dimensionerande. Exempelvis kan 95 % percentilen anses vara dimensionerande värde, då det endast är 5 % av värdena som ligger över denna gräns.

Dimensionerande koncentrationer

Tryckkondenserade giftiga gaser

Ett vanligt sätt att ange dosen är att uttrycka den som produkten av koncentrationen och tiden.

$$D = C \cdot t \quad (\text{mg min/m}^3) / 9$$

Där D betecknar doseringen (mg min/m^3), C betecknar koncentrationen (mg/m^3) och t tiden (min).

Denna beskrivning av verkligheten har dock sin begränsning. Denna begränsning beror till stor del på det faktum att det inte råder ett linjärt samband mellan de två faktorerna. Detta inses lätt eftersom det intuitivt kan sägas att en liten koncentration under lång tid inte ger samma effekt som en stor koncentration under kort tid (jämför alkoholintag).

För att kompensera för detta och bland annat ta hänsyn till kroppens metabolism används därför i stället en probitfunktion. Denna består av ett antal ämnesspecifika parametrar samt de redan nämnda parametrarna C och t. Dessutom innehåller funktionen Pr, som är ett mått på toxisk effekt (motsvarar 50 i LC_{50}).

$$Pr = \alpha + \beta_2 \ln(C^n t) \quad /9/$$

Efter att C lösts ut ur formeln ovan fås följande funktion.

$$C = \sqrt[n]{\frac{e^{(-\alpha/\beta_2)}}{t}} \quad (\text{kg/m}^3)$$

Denna formel används härnäst för att beräkna dimensionerande koncentrationer för toxiska gaser.

Tryckkondenserade brandfarliga gaser

Jetflamma

Vid beräkning av en jetflammas längd används nedanstående samband som hämtats ur "Introduktion till konsekvensberäkning, några förenklade typfall"./11/

$$L = 9,1 \cdot Q^{0,5} \quad (\text{m})$$

Gasexplosion

Vid beräkning av dimensionerande koncentration av en brandfarlig gas används vanligen en fjärdedel av undre brännbarhetsgränsen (LFL = Lower Flammability Limit) som dimensionerande koncentration. Detta är en allmänt vedertagen metod som ger ett konservativt resultat. För att utföra beräkningar av dimensionerande koncentration av gasol används undre brännbarhetsgränsen för propan, detta för att gasol huvudsakligen består av propan. Formeln för att beräkna dimensionerande brännbar koncentration är samma som för att beräkna koncentration för giftiga tryckkondenserade gaser.

Massflöden

Tryckkondenserade giftiga eller brandfarliga gaser

Flöde från en havererad tank som innehåller tryckkondenserad gas kan ske på olika sätt beroende på var på tanken hålet är beläget. Om hålet är i den del av tanken där innehållet befinner sig i gasfas kommer utsläppet att vara i gasfas. Om hålet sker i den del av tanken som befinner sig i under vätskeytan kommer det på samma sätt strömma ut vätska. Denna kommer sedan förångas när vätskan kommer ut och trycket minskar. Ett tredje alternativ är en kombination av de båda övriga sätten. Man brukar säga att utsläppet "flashar", vilket betyder att utsläppet består av både gas- och vätskefas.

I denna rapport beaktas endast utsläpp i vätskefas. Detta för att det ger det största massflödet och på så vis kan sägas vara "worst case". För att beräkna massflödet ur en tank måste en hel del faktorer beaktas. Det är svårt att anta vilket värde på exempelvis hålstorlek som kommer att råda vid en eventuell olycka. Av denna anledning beräknas massflödet i datorprogrammet @Risk. Detta gör det möjligt att anta fördelningar av hålstorlekar och kontraktionsfaktorer som kan vara aktuella vid en eventuell olycka. De olika ingångsvärdena kan sedan kombineras och skapa tusentals olika kombinationer. Dessa kombinationer resulterar i en fördelning ur vilken man kan utläsa resultatet av beräkningen.

Formeln för att beräkna massflödet är följande:

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2(P_0 - P_a)}{\nu_f}} \quad (\text{kg/s})$$

Vid simuleringarna har C_d och A tilldelats fördelningar medan övriga parametrar tilldelats diskreta värden.

Spridningsberäkningar

Tryckkondenserade giftiga eller brandfarliga gaser

En viktig del av en konsekvensanalys består av att beräkna koncentrationer och doser på olika avstånd från utloppskällan. För att göra detta måste någon form av spridningsmodell användas. I denna rapport används Gaussisk spridningsmodell för passiv spridning som modell. Metoden finns beskriven i Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor./9/ Denna metod kompletteras med fördelningsberäkningar i @Risk för att täcka upp de olika kombinationer av indatavärden som kan råda vid en eventuell olycka. I Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor/9/ finns följande formel för att beräkna koncentrationen vid ett visst avstånd(x).

$$C = \frac{Q}{\pi\sigma_y(x)\sigma_z(x)u} \quad (\text{kg/m}^3)$$

Med hjälp av sambandet $\sigma_y = ax^b$ och $\sigma_z = cx^d$ som tagits ur rapporten "Methods for the calculation of the physical effects of the escape of dangerous materials (liquid and gases)" /10/ kan avståndet (x) lösas ut och formeln får följande utseende:

$$x = e^{\left(\frac{\ln\left(\frac{Q}{acuC\pi}\right)}{b+d}\right)} \quad (\text{m})$$

Vid simuleringarna har massflödet (Q) och vindhastigheten (u) tilldelats fördelningar medan övriga faktorer tilldelats diskreta värden. Faktorena a, b, c och d är värden som beror på stabilitetsklass.

Bedömning av stabilitetsklass

För att kunna beräkna avståndet till en bestämd koncentration krävs statistik över frekvensen för olika stabilitetsklasser. Denna statistik har tagits från "Riskhänsyn vid fysisk planering" /12/ och visar förhållandena i Malmö. Enligt jourhavande klimatolog vid SMHI är skillnaden mellan Halmstad och Malmö vad gäller stabilitetsklass försumbar. Vid beräkning av stabilitetsklass har antagits att det råder stabilitetsklass D. Detta beror på att denna stabilitetsklass är den avgjort mest förekommande. Över 60 procent av tiden råder denna stabilitetsklass.

| Stabilitetsklass | A | B | C | D | E | F | Summa |
|------------------|-----|-----|------|------|-----|------|-------|
| Frekvens, % | 0,3 | 2,1 | 13,7 | 62,9 | 8,7 | 12,3 | 100 |

Bedömning av vindhastighet

För att beräkna avståndet från utloppskällan till en viss koncentration måste relevanta statistikuppgifter om vindhastigheter tas fram. Känslighetsanalyser visar att vindhastighet är den parameter som påverkar resultatet mest. Detta innebär att det är viktigt att dessa uppgifter är korrekta. Från SMHI har följande statistik erhållits.

| Hastighet, (m/s) | Frekvens, % |
|------------------|-------------|
| 17,25 - | 0 |
| 12,75 - 17,25 | 0 |
| 8,25 - 12,75 | 0,23 |

| | |
|--------------|--------|
| 3,75 - 8,25 | 18,57 |
| 0,75 - 3,75 | 54,50 |
| 0 - 0,75 | 26,69 |
| <i>Summa</i> | 100,00 |

Vid simuleringarna antas att vindhastigheterna är triangulärt fördelade med 0,1 m/s som minimivärde, 3 m/s som mest sannolika värde och 12,5 som maximalt värde. En jämförelse mellan faktisk fördelning och simulerad fördelning visar att dessa stämmer väl överens.

Bilaga E, Teori om sannolikhetsberäkningar

Järnvägsolyckor i Sverige är ovanliga och de olyckor som inträffar påverkar oftast inte omgivningen. De fall som har potential att påverka omgivningen är de fall då olyckan innebär att järnvägsfordon hamnar långt från banvallen eller då farligt gods är inblandat i olyckan. Det har under senare år förekommit ett antal incidenter som hade kunnat utvecklas till mycket allvarliga olyckor.

Olyckor där omgivande miljö, människor eller bebyggelse utanför spårområdet påverkas har historiskt sett förekommit i Sverige ungefär en gång vart tionde år. Enligt ”Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen”/14/ förefaller en olycka i Alby 1964 vara det enda fall i Sverige då personer som varken var resenärer eller järnvägsanställda skadats i en järnvägsolycka. De allvarligaste olyckorna och tillbudena har varit ett antal olyckor där farligt gods i form av tryckkondenserade gaser har varit inblandade men där tankvagnarna stått emot påkänningarna och inget betydande läckage har uppkommit./14/

För att kunna bedöma sannolikheten för olyckor som drabbar omgivningen skattas förväntat antal olyckor med godståg på den aktuella järnvägssträckan. Skattningen av antalet olyckor baseras på kunskap om sambandet mellan antal olyckor av olika slag och järnvägens egenskaper. Dessa egenskaper inkluderar parametrar som påverkar olyckornas antal och typ.

Sannolikhetsberäkningarna i denna rapport görs enligt VTI-modellen./14/17/18/

Sannolikhetsberäkningarna har delats in i två delar. Den första delen behandlar sannolikheten för att en tågolycka inträffar på den aktuella sträckan genom Halmstad. Den andra delen behandlar sannolikheten för att omgivningen påverkas av en sådan olycka.