

Osäkerheter vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods

Andreas Nilsson

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

**Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5172, Lund 2005

Osäkerheter vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods

Andreas Nilsson

Lund 2005

Osäkerheter vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods

Andreas Nilsson

Report 5172

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5171--SE

Number of pages: 131

Illustrations: Andreas Nilsson if no reference exists.

Key words

Uncertainty, risk analysis, transportation of dangerous goods, model, method, variable, QRA, ADR, Sweden.

Sökord

Osäkerhet, riskanalys, transport av farligt gods, modell, metod, variabel, QRA, ADR, Sverige.

Abstract

Risk analysis in connection with transportation of dangerous goods is associated with great uncertainty. In addition there are a number of specific problems that the risk analyst faces when risks associated with transportation of dangerous goods are to be analysed. In this report those problems and uncertainties are described.

One of the most important conclusions in this report is that uncertainty analysis within risk analysis in connection to transportation of dangerous goods has to be made more effective.

Language

Swedish

© 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

Sammanfattning

Transporter av farligt gods utgör en betydande samhällsrisk som inte helt kan elimineras. På grund av samhällsnyttan av transporterna innebär detta att en viss risk måste accepteras. Genom att utföra riskanalyser kan de risker som transporterna genererar kvantifieras och därefter hanteras på lämpligt vis. För att kunna avgöra om risken är acceptabel eller inte måste analysresultatet vara entydigt och tillförlitligt. Detta innebär att osäkerheterna i analysen måste analyseras och hanteras på ett tillfredställande vis.

Riskanalyser i samband med transport av farligt gods är förknippade med stora osäkerheter. Dessutom finns det en rad specifika problem som riskanalytiker ställs inför då risker i samband med transport av farligt gods ska analyseras. I detta examensarbete beskrivs vilka osäkerheter riskanalyser som utförs i samband med transport av farligt gods är förknippade med samt vilka problem riskanalytikern har att hantera.

I arbetet ingår en litteraturstudie som utförts för att ta reda på vilka olika typer av osäkerheter som finns och hur dessa bör hanteras. En intervjustudie har utförts, dels i syfte att undersöka vilka metoder och modeller som används vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods, och dels för att undersöka hur olika analytiker hanterar osäkerheter. Utsläppsförsök med ammoniak har utförts för att ta reda på om, och i så fall hur mycket, beräknade koncentrationer kan skilja sig från observerade värden. I rapporten behandlas även problematiken med presentation och kommunikation av analysresultat. Utifrån detta arbete har slutsatser dragits om analysprocessens utformning och om osäkerhetshandlingens utförande.

En stor del av rapportens resultat består av en jämförelse mellan resultatet från litteraturstudien och resultatet av intervjustudien. Det som undersöks är skillnaden mellan hur riskanalytikerna hanterar osäkerheter och hur den studerade litteraturen anger att osäkerheterna bör hanteras. Denna jämförelse presenteras huvudsakligen i kapitel 6. En jämförelse mellan uppmätta koncentrationer från utsläppsförsök och beräknade koncentrationer presenteras i kapitel 7, medan övriga slutsatser presenteras i kapitel 9.

En av de viktigaste slutsatserna som dras är att osäkerhetshandlingen vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods måste effektiviseras. Vid dessa riskanalyser är osäkerhetskällorna många vilket innebär att osäkerhetshandlingen är nödvändig för att resultatet ska bli användbart. Att ignorera osäkerheterna i analysen på grund av tidsbrist (som de intervjuade gör i olika omfattning) är inget hållbart argument. Den kvantitativa riskanalysens styrka ligger i att ett resultat som är så likt verkligheten som möjligt kan presenteras. Denna styrka går förlorad om analytikern kompromissar med osäkerhetshandlingen.

Vid intervjustudien framkom att samtliga intervjuade använder konservativa värden för att representera vissa ingående värden i analysen. Anledningen till att konservativa värden tillåts representera osäkra variabler uppges vara att analysresultatet på så vis inte underskattar risken som analyseras. Detta medför att större skyddsavstånd används än vad den verkliga risken kräver. Konservativa värden bör därför inte användas i dessa typer av analyser. Istället kan osäkra värdenas resultatpåverkan undersökas med hjälp av exempelvis känslighetsanalys. Om konservativa värden ändå används måste detta tydligt redovisas i analysen. Det ska framgå att det troligtvis inte är den föreliggande risken som beräknas utan en förhöjd risknivå som kan bli aktuell vid extrema förhållanden eller eventuellt vid framtida förändrade förhållanden.

Att med hjälp av kvantitativa riskanalyser (QRA) ta fram generella skyddsavstånd utmed en eller flera transportleder för farligt gods är inte att rekommendera. I rapporten har analyser som ligger till grund för framtagande av sådana skyddsavstånd benämnts kommunala riskanalyser. Flera av de ingående variablerna i en kommunal riskanalys är av sådan karaktär att osäkerheten endast går att hantera på ett tillfredsställande vis om dess uppskattade värden kan baseras på något så när kända förhållanden. Skyddsavståndet utmed en transportled som passerar en skola bör exempelvis inte vara samma som skyddsavståndet utmed samma transportled där den passerar en lagerbyggnad. På samma vis bör skyddsavståndet inte vara samma utmed en transportled som passerar två identiska skolor, om det mellan den ena skolan och transportleden finns något som reducerar konsekvenserna av ett eventuellt läckage av farligt gods. I kommunala riskanalyser bör istället problematiken hanteras med hjälp av utredningsavstånd inom vilket/vilka markanvändning ska föregås av en riskanalys. Konsekvenserna av en olycka på en bestämd plats kan på så vis identifieras och begränsas. Exempelvis kan tekniska lösningar som exempelvis skyddsvallar eller avstängningsbara ventilationssystem användas där det är motiverat.

Analysresultat bör delas upp så att den del av konsekvensberäkningen som utgörs av bedömning av olycksscenariers medicinska effekt på människor skiljs från den övriga delen av analysresultatet. Anledningen till detta är att bedömningen är förknippad med särskilt stora osäkerheter. Detta beror bland annat på osäkerhet i framtagandet av gränsvärden, oenighet om vilka gränsvärden som ska användas, svårigheter att bedöma exponeringstid, med mera. Genom att dela upp analysresultatet och presentera den medicinska effektbedömningen separat kan jämförelser med andra analyser göras utan att osäkerheten i denna del behöver beaktas.

Med stöd av de förslag som presenteras i rapporten kan en effektiv metod för osäkerhetshantering vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods tas fram. Exempelvis borde en standard över vilka gränsvärden som används och vilka riskkriterier som anses vara acceptabla kunna tas fram. Eftersom det idag inte finns någon enhetlig modell för risk- och osäkerhetshantering i samband med transport av farligt gods, kan resultaten från denna rapport ligga till grund för att ta fram en sådan. På detta vis skulle analysmetodiken kunna standardiseras och analysresultat från olika studier kunna jämföras. Som det är idag tillåts variation i olika analytikers antaganden påverka analysresultat i allt för hög utsträckning.

Summary

Transportation of dangerous goods constitutes a considerable societal risk which can not be eliminated completely. Because of the societal benefit generated by the transports a certain risk has to be accepted. By carrying out risk analysis the risk associated with the transportation can be quantified and then handled in an appropriate manner. To be able to decide if the risk is acceptable or not the result of the risk analysis has to be conclusive and reliable. This means that the uncertainties in the risk analysis have to be analyzed and handled in a satisfactory manner.

Risk analysis in connection with transportation of dangerous goods is associated with great uncertainty. In addition there are a number of specific problems that the risk analyst faces when risks associated with transportation of dangerous goods are to be analyzed. In this report those problems and uncertainties are described.

A literature study has been carried out in order to investigate the different types of uncertainties that exists and how they ought to be handled. An interview study has been carried out, partly in order to investigate which methods and models that are used to analyze risks associated with transportation of dangerous goods and partly to find out how different analysts handles uncertainty. Discharge experiments with ammonia have been carried out in order to investigate if, and if so, how much, calculated concentrations can differ from observed values. Problems concerning presentation and communication of results are also treated in this report.

A major part of the results in the report consists of a comparison between the results from the literature study and the interview study. The difference between how the analysts handle uncertainty and how the studied literature states that the uncertainties should be handled is studied, this comparison is mainly presented in chapter six. A comparison between calculated and observed concentrations is presented in chapter seven, while the general conclusions are presented in chapter nine.

One of the most important conclusions in this report is that uncertainty analysis within risk analysis in connection to transportation of dangerous goods has to be made more effective. In these risk analysis there are many sources of uncertainty which leads to the necessity of a complete handling of the uncertainties, if the result shall be of any use. To ignore the uncertainties in the analysis as a consequence of time shortage (as the participants in the interview study do, in different extent) is not a valid argument. The strength of the quantitative risk analysis lies in the ability to achieve a result that is as close to the true value as possible. This strength is lost if the analyst compromises with the handling of the uncertainties.

All of the participants in the interview study stated that conservative values are used to represent some of the variables in the analysis. According to the result of the interview study the reason why conservative values are allowed to represent uncertain variables is because, in that way the result of the analysis doesn't underestimate the analyzed risk. This approach results in larger separation distances than what the actual risk demands. For that reason conservative values ought not to be used in these kinds of risk analysis. The influence on the result by uncertain values can instead be investigated by using sensitivity analysis. If conservative values are used, the analyst has to be very clear about this in the presentation. It

should be made clear that it probably is not the present risk that is calculated but instead an enhanced risk that might be accurate at extreme, or eventually changed future conditions.

It is not recommended to retrieve general separation distances along one or many roads for transportation of dangerous goods, by using quantitative risk analysis (QRA). In this report analyses that underlies the retrieving of such separation distances are called municipal (kommunala) risk analyses. A large amount of the input data in a municipal risk analysis are of such nature that the only way those uncertainties can be handled in a satisfactory manner is if the estimated values can be based on some what known conditions. The separation distance along a road that passes a school ought not to be the same as the separation distance along the same road where it passes by a storage building. In the same way the separation distance ought not to be the same along a road that passes by two identical school buildings if there is something between one of the buildings that reduces the consequences of an eventual accident. Instead the problems in municipal risk analyses ought to be handled by using inquiry distances within witch land utilization shall be preceded by a risk analysis. The consequences of an accident on a determined place can in this way be identified and reduced. Technical solutions as protection walls or ventilation systems that can be turned of can be used where such measures are justified.

Since the part of the result that deals with estimation of medical effects on humans is associated with great uncertainty, this part of the result ought to be separated from the rest of the result. This uncertainty is caused by uncertainty in the retrieving of threshold values, disagreement about which threshold values to use, difficulties in the estimation of times of exposure, amongst other things. By dividing the result of the risk analysis and presenting the estimation of medical effects separately, comparisons can be made with other analysis without considering the uncertainty in this part of the analysis.

A uniform method for treatment of uncertainties in risk analysis connected to transportation of dangerous goods can be retrieved from the suggestions presented in this report. For example, a similar way of dealing with threshold values and acceptable risk criteria ought to be used by risk analysts. Today there is no unified model for dealing with risks and uncertainties in risk analysis associated with transportation of dangerous goods. A standardized method ought to be retrieved in order to compare results from different risk analyses with each other. Variations in assumptions made by different analysts are in the present situation allowed to influence the results in risk analyses in a far too great extent.

Förord

Jag vill tacka följande personer:

Handledarna

Henrik Johansson, brandingenjör och biträdande lektor på avdelningen för brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet och Fredrik Nystedt, Brandingenjör och Tekn. Licentiat, Øresund Safety Advisers AB.

Medverkande vid Ammoniäkförsöken på Revinges övningsfält

Dennis Göransson, SRV
Berit Andersson, LTH
Sven-Erik Magnusson, LTH
Jimmie Ask, Studerande
Veronica Ögren, Studerande
Jesper Jensen, RAE Systems
Stefan Legnesjö, Scantec Lab AB

Utbildningsansvariga

Robert Jönsson, avdelningschef på avdelningen för brandteknik, LTH.
Johan Lundin, universitetsadjunkt på avdelningen för brandteknik, LTH.

Andreas Nilsson
Lund, oktober 2005

Innehållsförteckning

1 Inledning.....	12
1.1 Bakgrund.....	12
1.2 Mål och syfte.....	12
1.3 Metod.....	13
1.4 Avgränsningar.....	13
1.5 Rapportens uppbyggnad.....	13
2. Centrala begrepp.....	15
2.1 Risk.....	15
2.2 Riskhantering.....	15
2.3 Riskanalys.....	17
2.3.1 Riskanalysmetoder.....	17
2.3.1.1 Kvalitativa riskanalysmetoder.....	17
2.3.1.2 Kvantitativa och semi-kvantitativa riskanalysmetoder.....	18
2.4 Kommunal riskanalys.....	18
2.5 Farligt gods.....	18
3. Osäkerheter och osäkerhetshantering.....	20
3.1 Olika typer av osäkerhet.....	20
3.1.1 Sannolikhetslära.....	20
3.1.2 Klarhetstestet.....	21
3.1.3 Olika typer av kvantiteter.....	22
3.1.3.1 Empiriska kvantiteter.....	22
3.1.3.2 Definierade konstanter.....	22
3.1.3.3 Beslutsvariabler.....	23
3.1.3.4 Värdeparametrar.....	23
3.1.3.5 Modelldomänparametrar.....	24
3.1.4 Källor till osäkerhet i empiriska kvantiteter.....	24
3.1.4.1 Slumpartade fel och statistisk variation.....	24
3.1.4.2 Systematiska fel och subjektiva bedömningar.....	24
3.1.4.3 Lingvistisk otydlighet.....	25
3.1.4.4 Förändlighet.....	25
3.1.4.5 Slump och oförutsägbarhet.....	26
3.1.4.6 Oenighet.....	26
3.1.4.7 Approximationer.....	27
3.1.5 Osäkerhet om modellens utformning.....	27
3.1.6 In- och utdata.....	27
3.2 Hantering av osäkerheter.....	28
3.2.1 Metoder för att representera osäkerhet.....	28
3.2.1.1 Sannolikhetsfördelning.....	28
3.2.1.2 Intervall.....	28
3.2.1.3 ”Probability bounds”.....	29
3.2.1.4 ”Fuzzy representation”.....	29
3.2.2 Metoder för osäkerhetsanalys.....	29
3.2.2.1 Känslighetsanalys.....	29
3.2.2.2 Gaussapproximationer och Taylorutveckling.....	30
3.2.2.3 Monte Carlo-analys.....	30
3.2.3 Olika nivåer av osäkerhetshantering.....	31
3.2.3.1 Nivå 0.....	31
3.2.3.2 Nivå 1.....	32
3.2.3.3 Nivå 2.....	32

3.2.3.4 Nivå 3	32
3.2.3.5 Nivå 4	32
3.2.3.6 Nivå 5	33
4. Kvantitativ riskanalys i samband med transport av farligt gods	34
4.1 Kvantitativ riskanalys	34
4.1.1 Uppbyggnad	34
4.1.1.1 Riskidentifiering	35
4.1.1.2 Frekvensberäkning	35
4.1.1.3 Konsekvensbedömning	36
4.1.1.4 Riskberäkning	37
4.2 Kapitelsammanfattning	37
5. Intervjustudie	38
5.1 Metod	38
5.2 Medverkande i undersökningen	38
5.3 Resultat av undersökningen	39
5.3.1 Modeller och metoder som används	39
5.3.2 Hantering av osäkerheter	40
5.3.3 Diskussion	40
6. Osäkerheter i variabler och parametrar	42
6.1 Avgränsningar	42
6.2 Hantering av variabelosäkerheter	42
6.2.1 Variabelosäkerheter i riskidentifieringen	43
6.2.2 Variabelosäkerheter i frekvensberäkningen	44
6.2.3 Variabelosäkerheter i konsekvensbedömningen	46
6.2.3.1 Spridning av giftiga gaser	47
6.2.3.2 Utsläpp av brännbara gaser	53
6.2.3.3 Explosion	54
6.2.3.4 Pölbrand	54
6.2.3.5 Medicinska effekter	56
6.2.4 Variabelosäkerheter i riskberäkningen	60
6.2.4.1 Individrisk	60
6.2.4.2 Samhällsrisk	61
6.2.5 Resultatvärdering	61
6.2.5.1 Riskkriterier	61
6.3 Slutsatser	62
7. Osäkerheter i metoder och modeller	64
7.1 Studerade metoder och modeller	64
7.2 Utsläppsförsök och beräkningar	65
7.2.1 Mål och syfte	65
7.2.2 Försöken	65
7.2.2.1 Material	65
7.2.2.2 Försöksuppställning	66
7.2.2.3 Försök 1	67
7.2.2.4 Försök 2	68
7.2.2.5 Försök 3	68
7.2.2.6 Försök 4	69
7.2.4 Handberäkning	69
7.2.5 Beräkningar i Bfk	69
7.2.6 Jämförelse mellan försök och beräkningar	69
7.2.7 Resultat	71

8. Presentation och kommunikation av analysresultat	73
8.1 Svårigheter vid kommunikation av analysresultat	73
8.2 När krävs tydlig resultatpresentation och kommunikation?	73
8.3 Metoder för presentation av resultat	74
9. Resultat	77
9.1 Generella slutsatser	77
9.1.1 Osäkerhetshanteringen måste effektiviseras	77
9.1.2 Konservativa värden bör inte användas i riskanalyser	78
9.1.3 Användning av generella skyddsavstånd rekommenderas inte	78
9.1.4 Medicinska effekter bör separeras från riskanalysen i övrigt	78
9.1.5 Beräknade koncentrationer ska behandlas med försiktighet	79
10. Diskussion	80
10.1.1 Partiska riskanalytiker	80
10.1.2 Okunniga riskanalytiker	80
10.1.3 Onödiga riskanalyser	81
10.1.4 Relation mellan skadade och döda beaktas inte	81
10.1.5 Inga nationella riskkriterier	81
10.2 Kapitelsammanfattning	81
11. Referenslista	82
Bilaga A – Indata och resultat från beräkningar i Bfk	85
Bilaga B – Uppmätta koncentrationer från utsläppsförsök	92
Bilaga C – Jämförelse mellan uppmätta och beräknade koncentrationer	97
Bilaga D – Handberäkning av koncentration vid försök 1	99
Bilaga E – Handberäkning av strålning från pölbrand	102
Bilaga F – Toxikologiska gränsvärden	104
Bilaga G – Intervjustudie	105
Bilaga H – Revideringsbilaga	111

1 Inledning

Denna rapport är ett examensarbete vid civilingenjörsprogrammet i riskhantering som ges vid Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet.

Då riskanalyser vid transport av farligt gods utförs ingår ett flertal parametrar som är förknippade med stora osäkerheter. Osäkerheter förekommer som en naturlig del i alla riskanalyser, men vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods finns det särskilt många olika osäkerhetskällor och det är inte möjligt att eliminera alla. Osäkerheterna måste istället hanteras på ett tillfredsställande sätt så att resultatet av riskanalysen blir användbart.

I detta kapitel ges en bakgrund till examensarbetet, syfte, mål och metod specificeras och rapportens avgränsningar och uppbyggnad redovisas.

1.1 Bakgrund

Transport av farligt gods är en samhällsviktig verksamhet som samtidigt utgör en betydande risk. Nyttan av transporter samt det faktum att samhället inte kan avsätta obegränsade resurser till riskreducerande åtgärder, innebär att en viss risk måste accepteras. Genom att utföra riskanalyser kan de risker som transporter genererar kvantifieras och därefter hanteras på lämpligt vis. Framkommer det exempelvis i analysen att riskerna överstiger något bestämt acceptanskriterium, bör risken begränsas genom någon lämplig åtgärd. För att kunna avgöra om risken är acceptabel eller inte måste analysresultatet vara entydigt och tillförlitligt. Detta innebär att osäkerheterna i analysen måste analyseras och hanteras på ett tillfredsställande vis så att resultatets validitet kan fastställas.

Om riskanalysen utgör ett beslutsunderlag är det också viktigt att beslutsfattaren förstår vilka osäkerheter som resultatet är förknippat med, resultatpresentation är därför ett viktigt moment i riskanalyser. Vid kvantitativa riskanalyser i samband med transport av farligt gods är det inte enbart de ingående variablerna som är förknippade med osäkerhet, även analysmetodernas och beräkningsmodellernas uppbyggnad bidrar till osäkerhet i resultatet. För att kunna presentera ett resultat med hög validitet måste analytikern vara medveten om att dessa osäkerheter existerar, hur de påverkar resultatet samt hur de ska hanteras.

1.2 Mål och syfte

Det övergripande målet med denna rapport är att visa vilka osäkerheter som riskanalyser i samband med transport av farligt gods är förknippade med samt att ge förslag på hur dessa osäkerheter kan reduceras. För komma fram till detta mål har ett antal delmål satts upp:

- Undersöka vilka metoder och modeller som används för att analysera risker i samband med transport av farligt gods, samt att ta reda på vilka osäkra variabler som ingår i analyskedet.
- Undersöka hur beräknade värden kan skilja sig från uppmätta.
- Undersöka vilka svårigheter analysprocessen är förknippad med.

Syftet är att resultatet ska utgöra ett underlag till framtagande av en enhetlig modell för hantering av risker och osäkerheter i samband med att farligt godsproblematiken hanteras, både i samhällsplaneringen och vid enskilda projekteringsärenden.

1.3 Metod

För att ta reda på vilka analysmetoder som används och hur osäkerheter behandlas vid kvantitativa riskanalyser i samband med transport av farligt gods har 4 personer - som utför riskanalyser i samband med transport av farligt gods - intervjuats.

För att ta fram förslag på hur osäkerheter lämpligast behandlas vid kvantitativa riskanalyser i samband med transport av farligt gods, har litteraturstudier genomförts. Bland annat har Morgan och Henrion (1990) samt Abrahamsson (2002) studerats för att ta reda på hur olika typer av osäkerheter bör behandlas och varför.

För att undersöka hur beräknade värden kan skilja sig från uppmätta har utsläppsförsök med ammoniak genomförts.

En av de svårigheter som analysprocessen är förknippad med är kommunikation av analysresultat. För att ta reda på hur denna del av analysprocessen bör hanteras har litteratur inom området riskkommunikation studerats.

1.4 Avgränsningar

Riskanalyser i samband med transport av farligt gods upprättas av olika anledningar. Det kan vara till följd av myndighetskrav vid bygglovsansökan eller som ett led i samhällsplaneringen för att reducera riskerna i en kommun eller ett län. Hur denna process är uppbyggd behandlas inte i denna rapport.

De modeller för beräkning av olycksfrekvens som presenteras i denna rapport behandlar endast transport av farligt gods på väg.

Metoder och modeller som används i riskhanteringsprocessen behandlas övergripande, svagheter i enskilda modeller eller specifika osäkerheter behandlas inte.

I rapporten identifieras osäkerheter och förslag ges på hur de bör hanteras. De metoder för osäkerhetshantering som presenteras i rapporten beskrivs dock endast övergripande. Exempelvis ges förslag på när det är lämpligt att utföra en känslighetsanalys, men någon ingående förklaring för hur en känslighetsanalys utförs ges inte. Då en metod presenteras i texten hänvisas läsaren istället till litteratur inom området.

1.5 Rapportens uppbyggnad

I rapporten beskrivs först bakgrund, mål och syfte samt vilka avgränsningar som gjorts. Uttryck som farligt gods, risk, riskhantering, osäkerhet och andra centrala begrepp inom området presenteras i det andra kapitlet. Härpå följer ett kapitel som ingående behandlar osäkerhet och osäkerhetshantering. I kapitel fyra presenteras uppbyggnaden av en kvantitativ probabilistisk riskanalys. I det femte kapitlet presenteras intervjustudien och i det sjätte

kapitlet behandlas variabelosäkerheter. De osäkerheter som är förknippade med metoder och modeller behandlas i det sjunde kapitlet, här presenteras även utsläppsförsöken med ammoniak. I kapitel sex och sju beskrivs också specifikt hur de osäkerheter som är förknippade med metoder, modeller och variabler bör behandlas och varför. Resultatkommunikation behandlas i det åttonde kapitlet. I det nionde kapitlet sammanfattas rapportens resultat i fem generella slutsatser. Kapitel tio är ett diskussionskapitel och detta avslutar rapporten. I bilagorna presenteras beräkningar och försöksresultat.

2. Centrala begrepp

Detta kapitel behandlar kortfattat rapportens centrala begrepp. Vissa av begreppen är flertydiga och det är därför viktigt att det framgår vad som menas då begrepp som exempelvis risk används. Det är viktigt att en gemensam begreppsapparat används eftersom osäkerheter till följd av olika tolkningar av begreppens innebörd då kan reduceras.

2.1 Risk

Risk är ett begrepp som kan definieras på olika sätt beroende på vilka värden som läggs i det. Från ett rent tekniskt perspektiv kan risk definieras som en sammanvägning av sannolikheten för att en händelse skall inträffa samt de (negativa) konsekvenser händelsen kan anses leda till. Kaplan (1997) menar att risk rent tekniskt kan definieras som svaret på tre frågor:

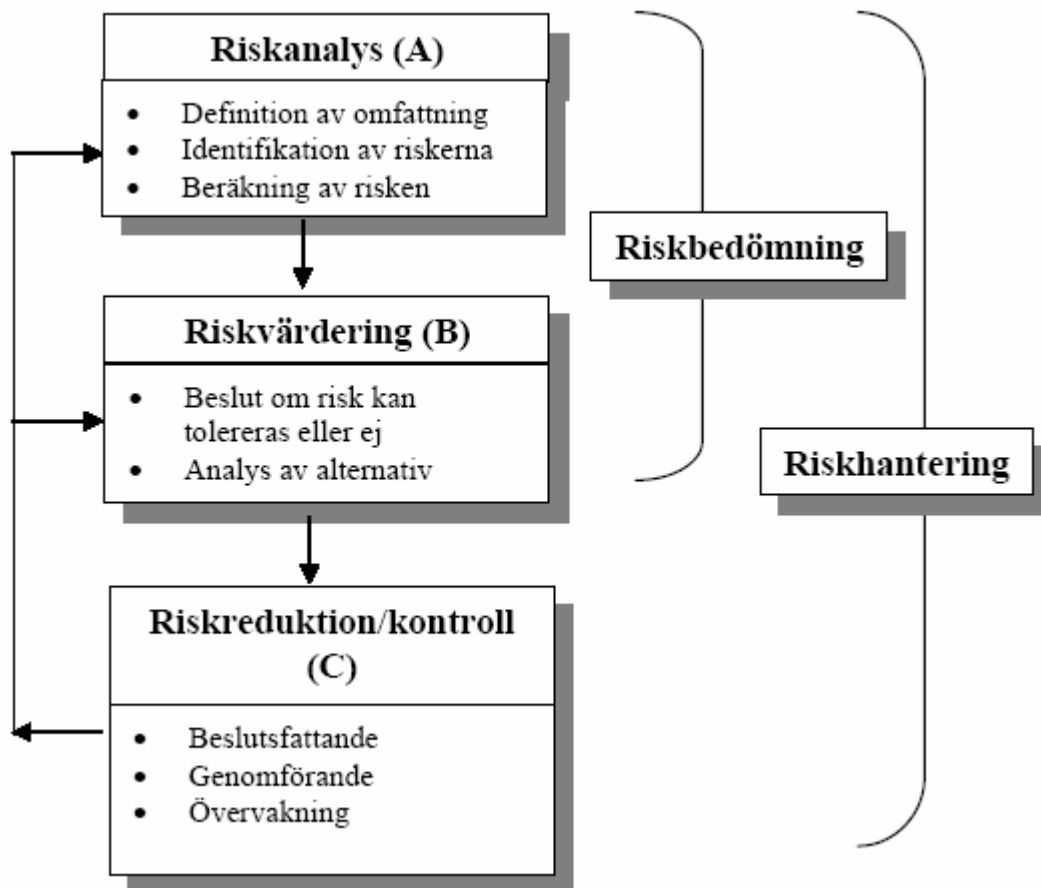
- Vad kan hända, det vill säga vilka olycksscenarier kan uppstå?
- Hur troligt är det att det händer, det vill säga vilken är händelsens sannolikhet?
- Vad anser man kommer att hända vid de olika scenarierna, det vill säga vilka är de möjliga konsekvenserna av händelsen?

Risk är därmed lika med sannolikheten för att de olika scenarierna skall inträffa samt de olika scenariernas möjliga konsekvenser.

Detta synsätt har kritiserats för att utelämna viktiga sociala, psykologiska och kulturella aspekter. Människors värderingar skiljer sig åt beroende på ett flertal faktorer och därför varierar också vad som kan betraktas som en risk samt hur stor denna bedöms vara. Att ”demokratiskt” infoga dessa värderingar och hur olika risker uppfattas (riskperception) i begreppet, samt att inte endast förlita sig på en ”expertsyn” är bland annat utmärkande för det socialkonstruktivistiska synsättet på risk (Nilsson, 2000).

2.2 Riskhantering

Riskhantering är, som visas i Figur 2.1, hela kedjan från analys till värdering och slutligen reduktion av riskerna i systemet.



Figur 2.1

Riskhanteringsprocessen.

Källa: International Electrotechnical Commission, IEC 1995 (Författarens översättning)

Enligt IEC (1995), är riskhantering hela processen, från det att risker och riskkällor identifieras till och med det att beslut tas om att de skall åtgärdas. Riskhantering (risk management) kan delas in i tre steg:

A. Riskanalys (risk analysis)

B. Riskvärdering (risk evaluation)

C. Riskreduktion (risk reduction)

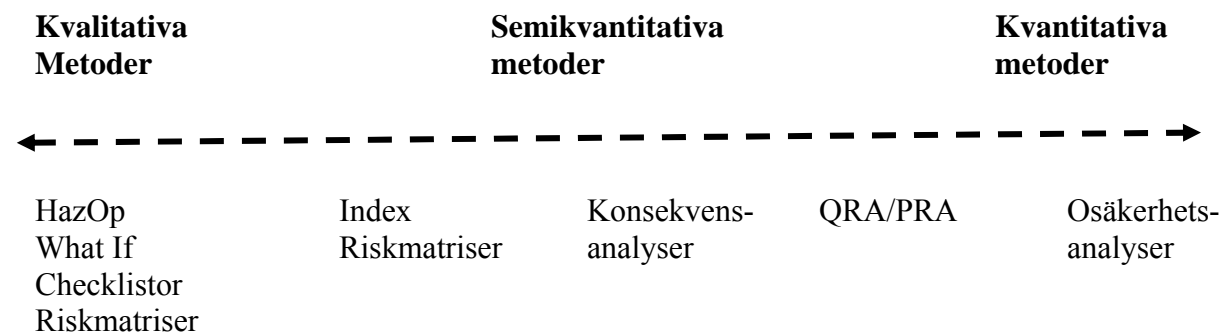
Den översta delen av Figur 2.1 (A) preciserar riskanalysens omfattning. Enligt IEC (1995) kan begreppet riskanalys beskrivas som en strukturerad process för att identifiera sannolikheten och omfattningen av de negativa händelser som en aktivitet, anläggning eller ett system kan ge upphov till. De två översta delarna i Figur 2.1 (A + B) benämns riskbedömning (risk assessment) och innebär att ställning tas till om den identifierade risken kan accepteras och vilka alternativ som eventuellt föreligger. Om riskerna funnits oacceptabla vid riskvärderingen fortsätter riskhanteringen till steg C. I denna del av riskhanteringen fattas beslut om riskreducerande åtgärder (Nilsson, 2000). Vad det gäller transport av farligt gods är det i denna del av riskhanteringsprocessen som beslutsfattare väljer att exempelvis införa skyddsavstånd som ett verktyg i samhällsplaneringen.

2.3 Riskanalys

Begreppet riskanalys används i olika sammanhang med varierande betydelse. Enligt IEC (1995) är riskanalys av ett tekniskt system en systematisk användning av tillgänglig information för att identifiera riskkällor och för att bedöma risken för individer eller en grupp, egendom eller yttre miljön. Enligt Nilsson (2000) kan riskanalys definieras som en strukturerad process för att identifiera sannolikheten och omfattningen av de negativa händelser som en aktivitet, anläggning eller ett system kan ge upphov till.

2.3.1 Riskanalysmetoder

Det finns ett antal olika typer av metoder för att analysera risker. Detta beror på att systemen och riskerna som analyseras är olika och därför kräver olika modellstrukturer. Riskanalysmetoderna har dessutom olika detaljeringsgrad beroende på vilken typ av risk som analyseras och vilken precision som krävs. Ett sätt att dela in riskanalyser är efter grad av kvantifierbarhet, grovt sett kan metoderna kategoriseras som kvalitativa, semikvantitativa eller kvantitativa, se figur 2.2.



Figur 2.2
Olika riskanalysmetoder
Källa: Olsson 1999

2.3.1.1. Kvalitativa riskanalysmetoder

Kvalitativa metoder används främst för att identifiera risker, de är anpassade för olika verksamhetstyper och syftet är främst att ge beskrivningar av skeenden vid olika förutsättningar. De mått som ibland ändå används för att bedöma riskkällans risknivå är oftast ordinala, det vill säga en kvalitativ rangordning av typen stor sannolikhet, liten konsekvens etc. Typiska metoder är grovanalysmetoder, checklistor och riskmatriser med ordinal skala. Andra kvalitativa riskanalysmetoder är HazOp (Hazard and operability studies) och What if – analys (Nilsson, 2000).

Osäkerheter i kvalitativa riskanalysmetoder uppkommer till följd av uppskattningar och antaganden i de grova och enkla metoderna. Otydligheten i begrepp som stor sannolikhet och liten konsekvens leder också till osäkerhet vid tolkningen av resultaten.

2.3.1.2 Kvantitativa och semikvantitativa riskanalysmetoder

Semikvantitativa riskanalysmetoder är mer detaljerade i sin uppbyggnad än kvalitativa och innehåller till viss del numeriska mått på konsekvenser och sannolikheter. Ett exempel på en semikvantitativ riskanalysmetod är riskmatrisen med kardinala mått på axlarna. Istället för att beskriva sannolikheten som ”stor” så anges den som exempelvis ”en gång på 1 – 10 år”.

Kvantitativa riskanalysmetoder eller QRA (*Quantitative Risk Analysis*) är numeriska beräkningsmetoder. Då kvantitativa riskanalysmetoder används fortplantas de ingående variabelernas osäkerheter genom analysen och ger motsvarande osäkerhet i analysresultatet.

Olika typer av riskberäkningar kan användas i kvantitativa riskanalyser, deterministiska och probabilistiska. Vid deterministiska beräkningar väljs representativa värden, t ex 80 % eller 95 % percentil och så vidare, som ingångsvärde och slutresultatet blir en punktuppskattning av skadans storlek. Vid en probabilistisk riskberäkning används istället sannolikhetsfördelningar för att representera osäkra kvantiteter. Detta innebär att osäkerheter fortplantas genom analysen och resultatet representeras av en fördelningsfunktion.

2.4 Kommunal riskanalys

I rapporten används begreppet kommunal riskanalys i meningen; analys som ligger till grund för framtagande av generella skyddsavstånd utmed en eller flera transportleder för farligt gods i en kommun. Anledningen till att denna typ av analys behandlas för sig är att den är förknippad med speciella osäkerheter. I kapitel 6 utvecklas detta resonemang.

2.5 Farligt gods

Enligt lag (1982:821) om transport av farligt gods har begreppet transport av farligt gods följande innebörd:

”Förflyttning av farligt gods med transportmedel samt sådan lastning, lossning, förvaring och annan hantering av det farliga godset som utgör ett led i förflyttningen. Som transport anses dock inte förflyttning som sker endast inom ett område där tillverkning, lagring eller förbrukning av farligt gods äger rum

Med farligt gods förstås gods som består av eller innehåller explosiva ämnen och föremål, gaser, brandfarliga vätskor, brandfarliga fasta ämnen, självantändande ämnen, ämnen som utvecklar 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.”

Klassificering av farligt gods grundar sig på de transporterade ämnens egenskaper där den dominerande egenskapen anger klasstillhörighet. Om ett ämne uppvisar egenskaper som kan hänföras till flera klasser skall ämnet klassas enligt den dominerande faran. Följande klasser av farligt gods enligt ADR-S (SRVFS 2004:14) förekommer:

ADR-Klass	Beskrivning	Exempel
Klass 1	Explosiva ämnen och föremål	Dynamit
Klass 2	Gaser brännbara giftiga	Gasol Svaveldioxid
Klass 3	Brandfarliga vätskor	Bensin
Klass 4	Brandfarliga fasta ämnen eller självantändande ämnen eller ämnen som utvecklar brandfarlig gas vid kontakt med vatten	Cellulosanitrat
Klass 5	Oxiderande ämnen eller organiska peroxider	Natriumperoxid
Klass 6	Giftiga eller smittförande ämnen	Cyanväte
Klass 7	Radioaktiva ämnen	Uranhexafluorid
Klass 8	Frätande ämnen	Svavelsyra
Klass 9	Övriga farliga ämnen och föremål	Asbest

Tabell 2.1

ADR-Klasser, beskrivning och exempel

3. Osäkerheter och osäkerhetshantering

I detta kapitel beskrivs osäkerhetsbegreppets innebörd, olika typer av osäkerhet samt olika typer av kvantiteter. Kapitlet ligger delvis till grund för de förslag som senare ges på hur osäkerheter i riskanalyser i samband med transport av farligt gods bör hanteras.

3.1 Olika typer av osäkerhet

Osäkerhet är ett uttryck som rymmer flera betydelser. Det kan uppstå till följd av olika orsaker så som ofullständig eller motstridig information. Även då fullständig information finns tillgänglig kan osäkerhet uppstå exempelvis vid förenklingar av komplexa system, förenklingar som krävs för att skapa överskådliga modeller. Sannolikhetsbegreppet används ofta för att kvantifiera osäkerheten. Det är viktigt att tydligt skilja på olika typer av osäkerhet, eftersom det krävs att de behandlas olika. Sannolikhetsbegreppet är exempelvis inte applicerbart på alla typer av osäkerhet.

I kvantitativa riskanalyser kan, enligt Abrahamsson (2002), tre olika grupper av osäkerheter särskiljas. Den första gruppen utgörs av parameterosäkerheter, som beror på att de ingående variabelernas värden inte är kända eller att de har en naturlig variation. Den andra gruppen är modellosäkerheter som uppkommer till följd av att modeller är förenklingar av verkligheten. Den tredje gruppen är osäkerhet till följd av ofullständighet (completeness uncertainty) och uppkommer till följd av att alla bidragande riskfaktorer inte kan inkluderas i analysen.

En stor del av följande kapitel bygger på artikeln "Uncertainty – A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis, Cambridge University Press, New York, 1990" av Morgan och Henrion. Andra källor har studerats men dessa hänvisar ofta till Morgan och Henrion, i dessa fall hänvisas därför till ursprungskällan.

3.1.1 Sannolikhetslära

Det finns två skolor inom sannolikhetsläran; den klassiska eller frekventistiska samt den Bayesianiska eller subjektiva. I detta avsnitt presenteras de båda läroarna.

Det klassiska synsättet på sannolikhet ger att frekvensen av utfallet vid ett försök utgör en skattning av sannolikheten. Om klave kommer upp vid 489 av 1000 kast så är sannolikheten - för att klave ska komma upp vid ett kast - 0,489 enligt det frekventistiska synsättet. Precisionen ökar med antalet försök. Med detta synsätt är sannolikheten en egenskap av en teoretisk oändlig sekvens av upprepningar, istället för sannolikheten vid ett enstaka försök. Det ses därför ibland som en benägenhet hos det fysiska system som skapar händelsen, i detta fall krona eller klave. Vid försök av typ krona eller klave är det relativt lätt att känna igen liknande försök och bedöma dem som lika. I de flesta beslutssituationer är så inte fallet. Morgan and Henrion (1990) menar att det frekventistiska synsättet kan leda till problem vid komplexa beslutssituationer. Hur uppskattas exempelvis sannolikheten att en viss kemikalie är cancerogen. Med vad ska en kemikalie med okända hälsoeffekter jämföras, med alla kemikalier, eller med alla misstänkta cancerogener, eller med alla kemikalier med liknande molekylär uppbyggnad. Det finns ytterligare problem. Hur uppskattas exempelvis unika

händelser så som sannolikheten att människan kommer att sätta sin fot på mars inom tio år. Med hjälp av den frekventistiska läran är det svårt att sätta ett värde på en sådan sannolikhet.

Ett traditionellt sätt att svara på frågorna har varit att skilja mellan händelser vars sannolikhet är möjlig att ta reda på, det vill säga sådana som har en uppenbar *parent population* och händelser vars sannolikhet inte går att ta reda på. Detta svar är inte tillfredställande enligt Morgan and Henrion (1990) eftersom det bygger på en teori om sannolikhet som inte är applicerbar på verkliga problem vid beslutssituationer. Författarna anser därför att distinktionen mellan sannolikheter som är möjliga respektive omöjliga att ta reda på inte är till någon hjälp. Istället förespråkar de det bayesianska angreppssättet som beskrivs nedan.

Bayesianerna ser sannolikhet som den trolighet en viss person anser en händelse ha, givet den information personen för tillfället besitter. Sannolikheten är alltså en funktion, inte enbart av händelsen utan även av den tillgängliga informationen kring händelsen. Vanligtvis skrivs uttrycket som en funktion av två argument $P(X|e)$ där X betecknar den ovissa händelsen och e den information personen grundar sin bedömning på. Eftersom olika personer besitter olika information och ny information kan inhämtas så finns enligt bayesianerna ingen definitiv sannolikhet för en viss händelse. Samma händelse kan alltså legitimt ges olika sannolikhet beroende på person och tidpunkt. Enligt detta synsätt är sannolikhetsbegreppet fundamentalt olik andra objektivt mätbara fysiska storheter så som längd eller massa, då det till stor del beror på observatören. En subjektiv sannolikhet kan dock inte vara helt godtycklig eftersom en legitim sannolikhet måste vara underställd sannolikhetslärans elementära regler. Om sannolikheten för en händelse exempelvis är lika med p , så måste komplementet vara lika med $1 - p$. Subjektiv sannolikhet måste lyda under samma lagar som objektiv sannolikhet (Morgan och Henrion, 1990).

Skillnader mellan det frekventistiska och det bayesianska synsättet uppstår då informationsunderlaget är litet. Vid ett stort antal upprepade kast med en krona kommer den frekventistiska sannolikheten och någon persons bayesianska sannolikhet att konvergera. Vid första kastet med en krona som aldrig tidigare kastats har frekventisten inget att luta sig emot medan bayesianen har möjlighet att uppskatta sannolikheten.

3.1.2 Klarhetstestet

Det bayesianska synsättet kräver att en händelse är väl-specificerad för att en meningsfull sannolikhetsdistribution ska kunna fastställas. Med väl-specificerad menas att alla observatörer kan enas om att händelsen har inträffat, givet att dessa besitter fullständig information. På samma sätt har en väl-specificerad kvantitet ett enda sant värde som är empiriskt mätbart. Howard och Matheson (1984) har föreslagit klarhetstestet (The clarity test) som ett konceptuellt sätt att förtydliga begreppet väl-specificerad. Howard och Matheson (1984) menar att för att förstå klarhetstestets innebörd ska man föreställa sig en klärvoajant person som känner alla fakta om universum, förfluten tid, nutid och framtid. Givet en viss beskrivning av en händelse eller en kvantitet, skulle en sådan person med säkerhet kunna säga om händelsen ska inträffa (har inträffat) eller inte, eller kunna ge kvantiteten dess exakta numeriska värde. Om personen skulle klara detta så hade händelsen respektive kvantiteten varit väl-specificerad. Exempelvis skulle uttrycket "bensinpriset" inte klara klarhetstestet, eftersom den klärvoajanta personen skulle behöva veta typ av bensin, försäljningsställe och tidpunkt innan personen skulle kunna ge uttrycket ett värde.

3.1.3 Olika typer av kvantiteter

Det bayesianska angreppssättet lämpar sig endast för empiriska kvantiteter, vilka representerar storheter eller tillstånd. En modell kan emellertid bestå av en variation av olika kvantiteter, så som exempelvis beslutsvariabler eller värdeparametrar. I tabellen nedan karaktäriseras olika typer av kvantiteter. Morgan och Henrion (1990) menar att det generellt sett är olämpligt att förse beslutsvariabler och värdeparametrar med sannolikhetsfördelningar. Istället bör osäkerhet i dessa hanteras med hjälp av känslighetsanalys, på så vis kan de variabler som har stor resultatpåverkan identifieras. I följande stycken behandlas kopplingen mellan typ av kvantitet och hantering av osäkerhet.

Typ av kvantitet	Exempel	Hantering av osäkerhet
Empirisk variabel	Bensinpris	Probabilistisk eller känslighetsanalys
Definierad konstant	Ljusets hastighet	Säker per definition
Beslutsvariabel	Placering av riskkälla	Känslighetsanalys
Värdeparameter	Riskacceptans	Känslighetsanalys
Indexvariabel	Tidsperiod	Säker per definition
Modelldomänparameter	Tankstorlek	Känslighetsanalys
Resultatkriterium	Individrisk	Bestäms av hanteringen av de ingående variabelernas osäkerheter

Tabell 3.1

Exempel på olika typer av kvantiteter samt hur de bör hanteras

3.1.3.1 Empiriska kvantiteter

Empiriska kvantiteter representerar mätbara storheter. De inkluderar kvantiteter inom naturvetenskapen som exempelvis termisk tändpunkt men de representerar även storheter inom samhällsvetenskapen som exempelvis priser. För att klassas som empirisk måste en variabel vara mätbar och väl-specificerad. På grund av detta är det tillåtet att uttrycka osäkerhet i en empirisk kvantitet i form av en sannolikhetsfördelning. Morgan och Henrion menar att den enda typen av kvantitet vars osäkerhet kan uttryckas i sannolikhetsstermer är empiriska kvantiteter. Detta eftersom de är den enda typ av kvantitet som både är osäker och kan sägas ha ett sant värde. I litteraturen kallas generellt osäkra empiriska kvantiteter för chansvariabler. Alla empiriska kvantiteter är i princip osäkra. Det råder aldrig absolut säkerhet kring resultat som är baserade på empiriska data, oavsett precision.

Spridningsmodeller som används vid riskbedömningar i samband med transport av farligt gods är i stor utsträckning baserade på empiriska data och resultaten är följaktligen förknippade med betydande osäkerhet. Då kvantitativa riskanalyser görs för att exempelvis beräkna skyddsavstånd utmed vägar eller järnvägar för transport av farligt gods, är det inte enbart spridningsmodellerna som är baserade på osäkra data. Kemikaliers medicinska effekt på människor och uppskattningen av olycksfrekvenser på väg och järnväg är exempel på några av många osäkerheter i modellerna som kommer att behandlas senare.

3.1.3.2 Definierade konstanter

De fundamentala fysiska konstanterna som exempelvis gravitationskonstanten eller elektronens laddning är empiriska kvantiteter och har därför en inneboende osäkerhet, om än

väldigt liten. Vissa konstanter är däremot säkra per definition, dessa kallas definierade konstanter. Exempel på sådana är antalet dagar i en vecka, antal Joule per kWh eller matematiska konstanter som exempelvis π . De definierade konstanterna är den enda typen av kvantiteter som inte är osäkra.

3.1.3.3 Beslutsvariabler

Detta är variabler över vilka beslutsfattaren har direkt kontroll. I denna rapport ses beslutsfattaren som den som fattar beslut i analyskedet. Det är alltså inte politiker eller någon annan officiell beslutsfattare som inbegrips i begreppet. Ett exempel på en beslutsvariabel i detta sammanhang är lämplig placering av en riskkälla. Enligt Morgan och Henrion ligger osäkerheten i en sådan variabel i valet, alltså om det valda värdet är det bästa. Det går inte att prata om osäkerhet i själva värdet, eftersom det inte finns något sant värde. En beslutsvariabel har per definition inget sant värde eftersom det är upp till beslutsfattaren att välja det värde som denna anser lämpligt.

Morgan och Henrion menar att en sannolikhetsfördelning inte bör ansättas för att kvantifiera en beslutsvariabel eftersom en sannolikhetsfördelning inte underlättar tolkningen av resultatet. Att använda känslighetsanalys är enligt Morgan och Henrion ett bättre alternativ.

3.1.3.4 Värdeparametrar

Värdeparametrar representerar aspekter i beslutsfattarens preferenser. I riskanalyser behandlas värdeparametrar ofta som empiriska kvantiteter, ett förfarande som Morgan och Henrion (1990) anser vara ett allvarligt misstag. De menar att om en kalkylränta från ekonomins område används i exempelvis en kostnad-nytta-analys, så är kalkylräntan en värdeparameter och ska då behandlas som en sådan. Huruvida sannolikhetsfördelningar bör användas för att representera värdeparametrar är enligt författarna diskutabelt. De anser att känslighetsanalys för att kontrollera hur resultatet påverkas är ett lämpligare sätt att handskas med osäkerhet i värdeparametrar. Författarna presenterar två anledningar till detta.

- För det första är värdeparametrar den typ av kvantitet som människor tenderar att vara mest osäkra inför. Ansätts en sannolikhetsfördelning för att representera denna osäkerhet finns risk att osäkerhetens resultatpåverkan blir otydlig. Beslutsfattaren har då ingen möjlighet att se vilken resultatpåverkan olika val av värdeparametrar har. Behandlas osäkerheten istället med hjälp av känslighetsanalys ges beslutsfattaren möjlighet till bättre insyn i situationen.
- För det andra behöver inte valet av värdeparameter nödvändigtvis föregå analysen. Liksom beslutsparametrar är värdeparametrar styrda av i vilken kontext de används. De ska behandlas som värdeparametrar om det är beslutsfattarens preferenser som kvantiteten representerar. Är det någon annan individs eller grupps preferens som kvantiteten representerar så bör denna behandlas som en empirisk kvantitet.

Riskacceptans ska enligt detta resonemang behandlas som en empirisk kvantitet om det är samhällets norm som används. I Sverige finns idag ingen sådan nationell norm vilket tas upp senare i rapporten.

3.1.3.5 Modelldomänparametrar

Modelldomänparametrar definierar modellens avgränsning eller omfattning. Domänparametrar definierar även modellens noggrannhet. Ett exempel är minsta och största tankvolym i programmet Bfk (SRV:s programvara), som används vid modellering av farligt godsolyckor. Enligt Morgan och Henrion ignoreras ofta osäkerheter i dessa parametrar vid osäkerhetsanalyser, trots deras betydande potentiella resultatpåverkan. Det är begränsningar i dessa parametrar som leder till approximationsosäkerheter i resultatet. Det är olämpligt och vanligtvis opraktiskt att representera osäkerhet i en modelldomänparameter med hjälp av en sannolikhetsfördelning. Det är enligt författarna bättre att variera modelldomänparametrarnas värden, för att på så vis undersöka hur resultatet påverkas.

3.1.4 Källor till osäkerhet i empiriska kvantiteter

Många försök har gjorts att skapa en generell taxonomi inom området osäkerhetshantering. De flesta av dessa försök har riktat in sig på empiriska kvantiteter, vilket generellt utgör majoriteten av kvantiteter i modeller för riskanalys. Osäkerhet i empiriska kvantiteter kan härröra från ett flertal olika typer av källor. Vilken metod som är bäst lämpad för att karaktärisera osäkerheten och vilken metod som är bäst för att hantera den, beror på den specifika typen av källa. På grund av detta anser Morgan och Henrion (1990) det vara lämpligt att klassificera osäkerhet i empiriska kvantiteter i grupper av källor från vilka kvantiteterna härrör. De olika källtyperna är:

- statistisk variation
- inneboende slump
- subjektiva bedömningar
- förändlighet
- lingvistisk oprecisitet
- brist på överensstämmelse
- approximation

3.1.4.1 Slumpartade fel och statistisk variation

Den mest välstuderade och bäst förstådda typen av osäkerhet uppstår till följd av slumpartade fel vid mätningar av en kvantitet. Inga mätningar av en empirisk kvantitet kan utföras med absolut exakthet. Brister i mätinstrument och mätteknik leder till variationer i resultatet. Den resulterande osäkerheten beror på antalet genomförda försök och variationernas storlek. Det finns ett antal statistiska hjälpmedel för hantering av denna typ av osäkerhet, exempelvis standardavvikelse och konfidensintervall.

3.1.4.2 Systematiska fel och subjektiva bedömningar

Mätningar medför inte enbart slumpartade utan även systematiska fel. Systematiska fel definieras som skillnaden mellan kvantitetens verkliga värde och det medelvärde som mätningarna ger upphov till. Systematiska fel uppstår till följd av felinställda mätinstrument och/eller till följd av fel i den experimentella proceduren. Detta kan bero på oprecis kalibrering av instrument, felaktiga avläsningar eller felaktiga antaganden vid avläsning av mätresultaten. Målet vid mätningar är att minimera de systematiska felen. Detta görs genom systematisering av den experimentella proceduren samt genom noggrannhet vid utförandet.

Alla kända systematiska fel kan på så vis undvikas, det finns emellertid okända fel som ofta inte går att undvika. Att uppskatta dessa okända fels inverkan på resultatet är väldigt svårt och kräver subjektiva bedömningar. Enligt Morgan och Henrion (1990) är det typiskt för riskanalysmodellering att de systematiska felen är stora vilket medför att de subjektiva bedömningarna är speciellt kritiska. Detta är ett faktum som ofta ignoreras vid osäkerhetsanalyser i samband med riskanalyser. Författarna anser inte att det är användandet av subjektiva bedömningar som är ett misstag, eftersom det generellt är oundvikligt att göra sådana. Det är att ignorera osäkerheten som dessa bedömningar bidrar till som är misstaget. På så vis förbises införandet av stora ytterligare källor till osäkerheter i analysen.

Osäkerhet till följd av subjektiva bedömningar kan även tillföras analyser då resultat från regressionsanalyser används till att förutse framtida händelser. Då extrapolering från gjorda observationer används till framtida förutsägelser är det inte bara osäkerheterna från de gjorda observationerna som byggs in i analysen, utan även osäkerheten i överensstämmelsen mellan förfluten tid och framtid. Det är exempelvis inte säkert att ett mönster är linjärt bara för att det initialt har ett linjärt utseende. Även om expertbedömningar används till att förutse hur framtida händelser skiljer sig från trendlinjen så är ofta dessa bedömningar förknippade med stora osäkerheter.

Vid diskussioner om osäkerhet är det vanligt att skilja på uppskattningar baserade på empiriska mätningar och uppskattningar baserade enbart på subjektiva bedömningar. Denna distinktion bör inte vara absolut, eftersom undersökningar om hur mätningar görs visar att en hög grad av subjektivitet ofta gör sig gällande. På samma vis är subjektiva bedömningar i varierade omfattning baserade på empiriska data (Morgan och Henrion, 1990).

3.1.4.3 Lingvistisk otydlighet

Osäkerhet till följd av lingvistisk otydlighet undviks enligt Morgan och Henrion (1990) genom att formulera påståenden så att de passerar det tidigare nämnda klarhetstestet. Det är till exempel olämpligt att beskriva ord med siffror. Om en person ger en film betyget ”mycket bra” så är det svårt att omvandla detta till en siffra på en numerisk betygs skala eftersom olika individer lägger olika betydelse i ord som mycket, väldigt, ganska etc.

3.1.4.4 Förändlighet

Många kvantiteter varierar över tid och rum. Ett exempel är vattenhastigheten i en flod på olika platser och vid olika tidpunkter. I en smal passage kan hastigheten exempelvis vara betydligt högre än snittflödet i floden. Om kvantiteten ”flodens hastighet” inte är närmare preciserad kan den presenteras som en frekvensdistribution. Frekvensdistributioner kallas ofta för sannolikhetsfördelningar, det underlättar dock att hålla dessa två begrepp isär. Osäkerheten i en frekvensdistribution är möjlig att hålla väldigt begränsad. Flera mätpunkter som läses av ofta under en lång period kan ge en mycket hög tillförlitlighet. Osäkerhet i frekvensdistributioner kan representeras av sannolikhetsfördelningar. Hantering av osäkerhet i sannolikhetsfördelningar kräver att avancerade statistiska metoder används.

Ett vanligt misstag vid osäkerhetsanalys är att inte skilja mellan förändlighet som uppkommer då prov tas från en frekvensdistribution och empirisk osäkerhet till följd av ofullständig vetenskaplig eller teknisk kunskap. Morgan och Henrion (1990) använder ett exempel om effekt på fiskar i försurade sjöar för att förklara vad de menar.

Det kan finnas variation i känslighet för pH mellan fiskarter och det kan finnas vetenskaplig osäkerhet kring känslighet hos arter. Osäkerhet till följd av förändlighet kan reduceras genom uppdelning, det vill säga de specifika arterna behandlas separat. Den vetenskapliga osäkerheten kan endast reduceras genom ytterligare forskning inom området. Analys av osäkerhet orsakad av variation mellan arter kan ge svar på hur grov indelning som är nödvändig att göra. Undersökning av osäkerheten kring den vetenskapliga osäkerheten kan ge svar på den relativa vikten av att utföra ytterligare forskning. Det som är viktigt att tänka på är att denna typ av osäkerhetsanalys är omöjlig att utföra om de två olika typerna av osäkerhet inte särskiljs.

3.1.4.5 Slump och oförutsägbarhet

Inneboende slump särskils ibland ifrån andra typer av osäkerhet eftersom det är en typ av osäkerhet som inte går att reducera. Slump är enligt detta synsätt en term som tas till då ofullständig kunskap om systemet råder. Oavsett åsikt måste det vid praktisk osäkerhetshantering tas ställning till om osäkra kvantiteter är förutsägbara eller ej. Även om det i princip existerar väldefinierade mönster som möjliggör förutsägelse av kvantiteter så krävs kunskap om mönstret för att sådana förutsägelser ska kunna göras i praktiken. En kvantitet kan ses som slumpmässig om observatören inte känner till något mönster eller någon modell som kan ge upphov till variationen. Med detta synsätt är slump, liksom sannolikhet, en funktion av observatörens tillgängliga information. En kvantitet kan enligt detta synsätt legitimt vara slumpmässig för en person och deterministisk för en annan person som känner till den bakomliggande processen (Morgan och Henrion, 1990).

Även om de fysiska lagar som styr ett system är välkända så kan systemets uppträdande vara svårt att förutse på grund av begränsningar i modellen. Det har visat sig att många ickelinjära system uppvisar extrem känslighet för initialvärden. Detta har exempelvis upptäckts i meteorologiska modeller. Fenomenet är känt som "the butterfly effect" (en fjärils vingslag i Kina kan ge upphov till en storm i USA en månad senare). Morgan och Henrion (1990) anser dock inte att slump och oförutsägbarhet utgör ett praktiskt problem vid osäkerhetsanalys i samband med riskanalyser. Det viktiga är att skilja mellan osäkerhet som går att reducera genom fortsatta undersökningar eller mer detaljerad modellering, från osäkerheter som inte går att reducera, oavsett om den beror på inneboende slump eller oförutsägbarhet.

3.1.4.6 Oenighet

Inom de flesta av naturvetenskapens områden brukar det råda samstämmighet mellan forskare då det gäller mätbara kvantiteters värden. Då datainsamlingen är problematisk och underlaget begränsat kan emellertid oenighet uppstå.

Oenighet uppstår ofta till följd av olika tolkningar av samma tillgängliga material. Det kompliceras ofta ytterligare av att olika grupper har olika perspektiv vid analysen. En lungfysiolog ser exempelvis inte problemet med luftföroreningar ur samma synvinkel som en epidemiolog. Ett sätt att handskas med den osäkerhet som uppstår till följd av sådana olika tolkningar är att använda experternas olika utlåtande och med hjälp av dessa göra en bayesiansk uppdatering. Riskanalytikern får då göra den subjektiva bedömningen om vilka sannolikheter som ska tillskrivas de olika kvantiteterna. Det värde som uppdateringen resulterar i representerar på så vis analytikerns bästa möjliga bedömning, baserad på experternas utlåtande. Om de olika experternas utlåtande varierar kraftigt är det viktigt att utföra en känslighetsanalys för att ta reda på hur den osäkra kvantiteten påverkar

analysresultatet. Påverkas resultatet signifikant kan det vara bättre att presentera ett resultat för varje bedömning.

3.1.4.7 Approximationer

Approximationsosäkerheter uppstår till följd av att modeller endast är förenklade versioner av de verkliga system som de beskriver. Som tidigare nämnts är det modelldomänparametrarna som styr modellens approximationer. Det är ofta svårt att uppskatta storleksordningen på de osäkerheter som uppkommer till följd av approximationer. En metod för att undersöka osäkerheternas storleksgrad är att öka modellens upplösning eller minska ramarna, för att på så vis kontrollera hur mycket resultatet förändras. Är skillnaden marginell så är approximationsosäkerheten liten. Osäkerhetsanalys av denna typ är nyttig eftersom den hjälper analytikern att bestämma nödvändig detaljgrad. Det är emellertid väldigt sällan som det är genomförbart att utföra sådan osäkerhetsanalys, eftersom den i de flesta fall kräver att mjukvaran omprogrammeras (Morgan och Henrion, 1990).

3.1.5 Osäkerhet om modellens utformning

Det är inte bara parametrar och kvantiteter i en modell som ger upphov till osäkerhet utan även modellens struktur. Morgan och Henrion (1990) hävdar att osäkerhet kring modellstrukturen ofta är viktigare och har större effekt på resultatet än andra osäkerheter. Forskning om dessa osäkerheter har dock hitintills varit begränsad. Finns det flera modeller med skild strukturell uppbyggnad att tillgå, kan valet av modell vara en källa till osäkerhet. Ett sätt att handskas med detta är att skapa en så kallad metamodell i vilken de olika modellerna ingår. Osäkerheten ligger då inte i valet av modell utan i den struktur som skiljer modellerna åt. Är det exempelvis ett vetenskapligt faktum, så som utseendet på en *dos-respons-kurva*, som skiljer modellerna åt, kan denna osäkerhet hanteras med hjälp av en subjektiv sannolikhetsdistribution. På så vis underlättas analysen och resultatpåverkan till följd av osäkerhet i modellstruktur kan jämföras med påverkan från andra osäkerheter. Ofta speglar dock skillnader i modellstrukturer oenighet mellan experter angående de bakomliggande mekanismerna som styr systemet. I dessa fall kan det, som tidigare diskuterats, vara mindre lämpligt att behandla osäkerheten med hjälp av sannolikhetsdistributioner. Istället bör de olika modellernas resultat studeras individuellt så att användaren ges möjlighet att studera vad som orsakar skillnaderna. Detta kan dock innebära att analysresultatet blir svårtolkat, analytikern måste därför vara tydlig i resultatpresentationen. Detta behandlas mer ingående i kapitel 8.

3.1.6 In- och utdata

I riskanalyser gäller vanligtvis att osäkra empiriska kvantiteter, beslutsvariabler, värdeparametrar och domänparametrar utgör indata. Utdata presenteras ofta i någon form av kriteriekvantitet. Resultatkriterier är variabler som används till att mäta eller ranka önskvärdheten av möjliga resultat eller till att jämföra med något förutbestämt värde. Dessa kvantiteter är deterministiska eller probabilistiska beroende på vilka ingångsvärden de baseras på.

3.2 Hantering av osäkerheter

Analys av osäkerheterna i en riskanalys har enligt Abrahamsson (2002) olika syften. Ett av dem är att klargöra för beslutsfattarna, eller för dem som ska använda sig av analysresultatet, vilka osäkerheter som resultatet är förknippat med. Ett annat syfte är att redogöra för hur osäkert resultatet är och om nuvarande grad av osäkerhet i beslutsunderlaget är acceptabel. Är osäkerheterna inte acceptabla måste de reduceras till en nivå som kan accepteras. Enligt Abrahamsson finns det på grundläggande nivå två huvudsakliga typer av osäkerhet. Dessa är osäkerhet i form av naturlig variation och osäkerhet till följd av kunskapsbrist. Den viktigaste skillnaden mellan dessa två är att osäkerheten till följd av bristfällig kunskap är möjlig att reducera genom att samla in ytterligare information, medan osäkerhet till följd av naturlig variation inte går att reducera.

3.2.1 Metoder för att representera osäkerhet

Det finns olika metoder för att representera osäkra kvantiteter i en riskanalys. Som tidigare beskrivits måste valet av metod baseras på osäkerhetens källa. Nedan presenteras de olika angreppssätt som föreslås av Abrahamsson (2002).

3.2.1.1 Sannolikhetsfördelning

Enligt Abrahamsson är sannolikhetsfördelning det absolut vanligaste angreppssättet för att representera både epistemisk (kunskapsbaserad) och stokastisk (slumpbaserad) osäkerhet. På grund av att variablerna i kvantitativa riskanalyser, i samband med transport av farligt gods, bygger på både fakta och subjektiva bedömningar, krävs det att ett bayesianskt angreppssätt används. Detta eftersom det i den frekventistiska läran inte finns något verktyg för att uppskatta en händelses sannolikhet, om denna händelse inte har observerats tidigare.

Metoder för att skapa sannolikhetsfördelningar som bygger på både subjektiva bedömningar och historiska data behandlas inte i denna rapport. Dessa metoder beskrivs närmre av Abrahamsson (2002).

3.2.1.2 Intervall

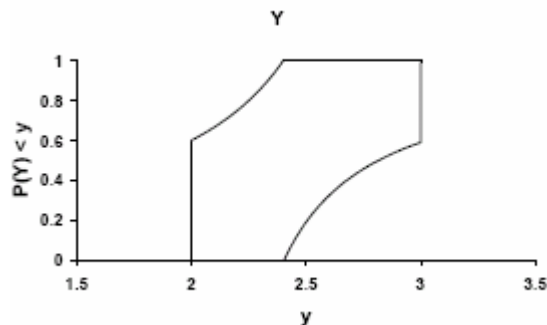
Intervallrepresentation kan användas då en variabels gränser är kända, men inget annat. Abrahamsson (2002) använder ett exempel för att beskriva innebörden:

En golfare gör två birdies på de tre första hålen på en 18-hålsrunda. Hur många birdies kommer han att göra under hela rundan?

Finns det ingen annan tillgänglig information är det rimligt att representera denna osäkerhet med hjälp av ett intervall mellan 2 och 17. Detta är en form av diskret fördelning som kan användas i en riskanalys då endast information om variabelns yttervärden finns tillgänglig. Vindriktning vid en eventuell olycka med farligt gods kan vara ett exempel på en sådan variabel om ingen detaljerad information om vindförhållanden på den aktuella platsen finns. Det enda som kan sägas är att vindriktningen kommer att ligga i intervallet 0-360 grader. Spridningsvinkeln antas då vanligen vara 15 grader och variabeln kan representeras med kvoten $15/360$.

3.2.1.3 ”Probability bounds”

Metoden ”probability bounds” representerar inom vilka gränser alla tänkbara sannolikhetsfördelningar, som motsvarar den aktuella informationen, måste ligga. Säg exempelvis att en osäker kvantitet representeras av parametern Y . Det enda som är känt om Y är att dess minimum är 2, dess maximum är 3 och dess medelvärde är 2,4. Ingen annan information finns om funktionens utseende. Metoden ”probability bounds” kan då användas för att representera den osäkra parametern, se figur 3.1.



Figur 3.1
Exempel på hur metoden ”probability bounds” kan användas.
Källa: Abrahamsson (2002)

3.2.1.4 ”Fuzzy representation”

Fuzzy kan översättas med flummig, luddig eller vag. Fuzzy representation är en metod som används för att kvantifiera osäkerhet till följd av lingvistisk otydlighet. Ett exempel kan vara osäkerhet i innebörden av uttryck som ”hård vind” eller ”stort utsläpp”. Osäkerheter av denna typ förekommer sällan vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods och behandlas inte mer ingående.

3.2.2 Metoder för osäkerhetsanalys

Det finns olika grundläggande metoder för hantering av osäkerheter. Beroende på vad som ska analyseras är det lämpligt att använda olika metoder. Är det exempelvis viktigt att veta vilken variabel som påverkar resultatet mest kan känslighetsanalys vara en lämplig metod. Är det istället den enskilda variabel som är mest osäker som ska bestämmas kan Gaussapproximation vara en lämpligare metod.

3.2.2.1 Känslighetsanalys

Avsikten vid användning av känslighetsanalys är att identifiera de viktigaste variablerna i modellen, det vill säga de variabler vars värdevariation har störst inverkan på resultatet. Känslighetsanalys är en av de grövre metoderna för osäkerhetshantering. Metoden går ut på att en parameter i taget varieras medan övriga parametrars ursprungsvärde behålls konstant. En känslighetsanalys säger ingenting om hur osäker en variabel är, utan endast hur resultatet påverkas då dess värde varieras. En variabel kan exempelvis vara väldigt osäker men ha en liten inverkan på resultatet. Detta syns inte i känslighetsanalysens resultat. Är syftet med osäkerhetsanalysen att göra en grundlig inventering av de osäkra parametrarna, samt att ta

reda på hur mycket de varierar, bör en grundligare och mer noggrann osäkerhetsanalys genomföras. Ett angreppssätt som Frantzych (1998) förespråkar vid analyser i samband med brandteknisk dimensionering är att ansätta konservativa värden på de variabler som identifieras i känslighetsanalysen. Om detta angreppssätt ska användas måste analytikern vara tydlig med att beskriva varför och vad det innebär för resultatet. Detta eftersom konservativa värden medför att den beräknade risknivån överskattar den verkliga. Vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods bör inte detta angreppssätt användas. Senare i denna rapport berörs varför det är så.

3.2.2.2 Gaussapproximationer och Taylorutveckling

Gaussapproximation eller Taylorutveckling är användbara metoder då osäkerheten i en variabel ska undersökas. Första ordningens approximation eller Gaussapproximation är den enklaste metoden, den hanterar både känslighet och osäkerhet. En fördel är att variablernas medelvärde och standardavvikelse används för att beräkna medelvärdet och standardavvikelsen för utdata. Detta innebär att inga specifika fördelningar behöver ansättas för de olika variablerna (Morgan och Henrion, 1990).

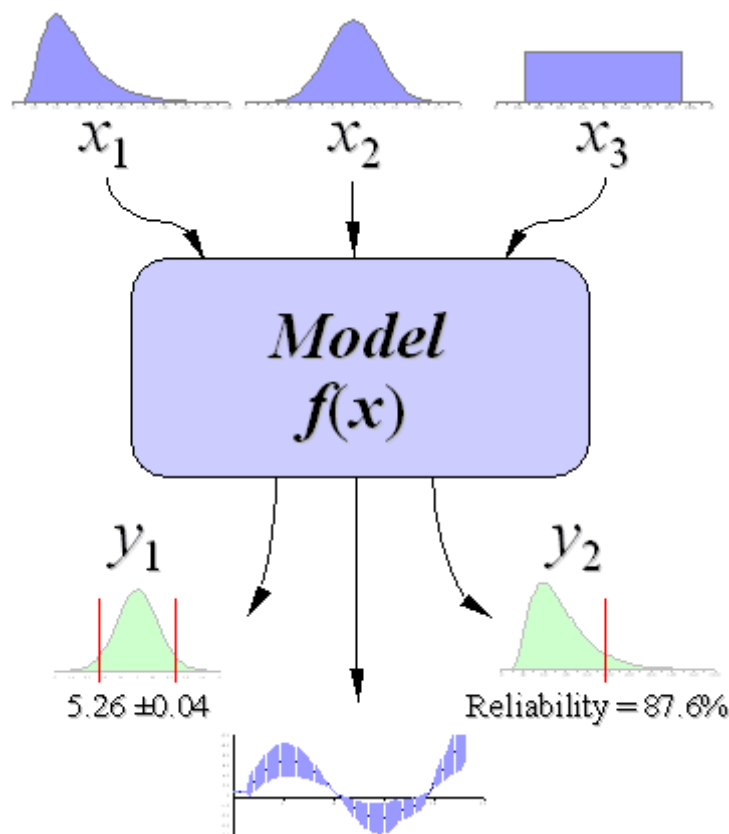
Vid osäkerhetshantering av uttrycket $Y = y(X_1, X_2)$ anger variansen hos utdata, $\text{Var}(y)$, den totala osäkerheten och beräknas med hjälp av Gaussapproximation. Derivatans beräknas för värden som ligger nära medelvärdet.

$$\text{Var}[y] \approx \left(\left[\frac{\partial y}{\partial x_1} \right]_{x^0}^2 \text{Var}[x_1] \right) + \left(\left[\frac{\partial y}{\partial x_2} \right]_{x^0}^2 \text{Var}[x_2] \right) \quad \text{Ekvation 3.1}$$

Metoden kan användas om uttrycket Y är linjärt och x_1 och x_2 är okorrelerade. Metoden är användbar då osäkerheterna är små. Är osäkerheterna stora krävs mer noggranna metoder.

3.2.2.3 Monte Carlo-analys

Monte Carlo-analys är en numerisk metod för hantering av osäkerheter. Sannolikhetsfördelningar används för att representera de ingående variablerna i en modell. Vid en simulering tillskrivs varje variabel ett enstaka värde (baserat på sannolikhetsfördelningen) och ett stort antal beräkningar utförs. Varje simulering kan ses som en observation och därför kan resultatet av en Monte Carlo-analys behandlas med hjälp av statistiska verktyg. För varje simulering används ett värde från varje parameters fördelning och för att dra ett slumpmässigt värde används olika samplingsmetoder (Frantzych, 1998).



Figur 3.2
Principskiss av Monte Carlo-analys.
Källa: Vertex42.com, 2005

Eftersom resultatet av beräkningarna ges i form av en sannolikhetsfördelning (istället för ett enstaka värde) visas på ett tydligt sätt osäkerheten i resultatet.

3.2.3 Olika nivåer av osäkerhetshantering

Det är inte bara osäkerhetens källa som har betydelse vid val av metod för osäkerhetshantering. Beroende på vilken situation det handlar om så krävs det att osäkerheterna behandlas och presenteras med olika grad av precision. Enligt Nystedt (2000) ska osäkerheter hanteras olika beroende på hur väl definierat ett problem eller en kvantitet är. Dessutom bör osäkerhetshandlingen styras av hur konservativ analytikern tillåts att vara. Ju mer precist ett svar ska vara desto större möda med att hantera osäkerheter bör läggas ner. Är det en verklig risknivå som ska fastställas så ska konservativa värden alltså undvikas.

Enligt Paté-Cornell (1996) kan det i vissa situationer vara tillräckligt att använda en grov metod för osäkerhetshantering, medan det i andra fall krävs mer sofistikerade metoder. Paté-Cornell föreslår en indelning av osäkerhetshandlingens omfattning i sex nivåer. Nivå 0 är den minst avancerade och nivå 5 är den mest omfattande formen av osäkerhetsanalys.

3.2.3.1 Nivå 0

Denna, den första av nivåerna, innebär att riskkällor och felfunktioner identifieras utan att någon form av kvantifiering av sannolikhet eller konsekvens genomförs. Situationer då en

sådan typ av hantering kan vara lämplig är när kostnaden för den riskreducerande åtgärden är liten i relation till den risk som reduceras. Exempel på riskanalysmetoder som faller under denna nivå är FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) och HAZOP (Hazard And Operability Studies)

3.2.3.2 Nivå 1

Denna nivå innebär att ett värsta tänkbart scenario väljs ut och analysen grundar sig på konsekvenserna av detta. Detta är en form av deterministisk analys eftersom ingen hänsyn till scenariots sannolikhet tas.

3.2.3.3 Nivå 2

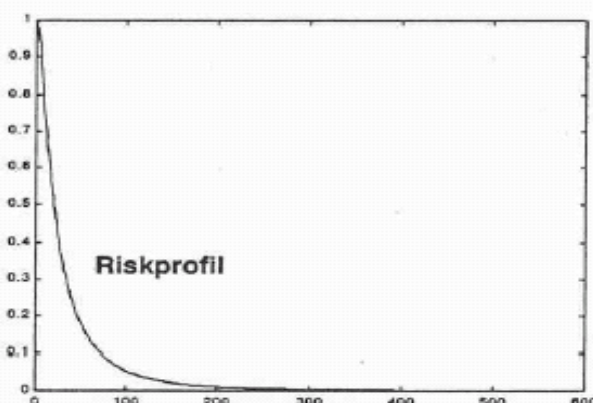
Under denna nivå faller så kallade semideterministiska riskanalysmetoder. Sannolikheten bedöms genom att ett värsta troliga scenario väljs ut och analyseras. Vilket som är det mest troliga scenariot är ofta svårt att förutse. Metoder av denna typ används därför endast då det värsta tänkbara scenariot inte går att definiera eller har en så liten sannolikhet att det inte är rimligt att dimensionera efter. Riskanalysmetoder på denna nivå används exempelvis vid dimensionering av åtgärder mot extrema naturförhållanden så som exempelvis jordbävningar.

3.2.3.4 Nivå 3

På denna nivå finns kvantitativa riskanalysmetoder. Det mest sannolika värdet för respektive variabel används i analysen. Dessa värden får ofta representera osäkra kvantiteters medelvärden, vilket leder till att analysresultatet ges av ett punktvärde. Denna typ av osäkerhetshantering är vanlig vid kvantitativa riskanalyser och går alltså ut på att välja sannolika värden för att skapa en balans mellan yttervärden.

3.2.3.5 Nivå 4

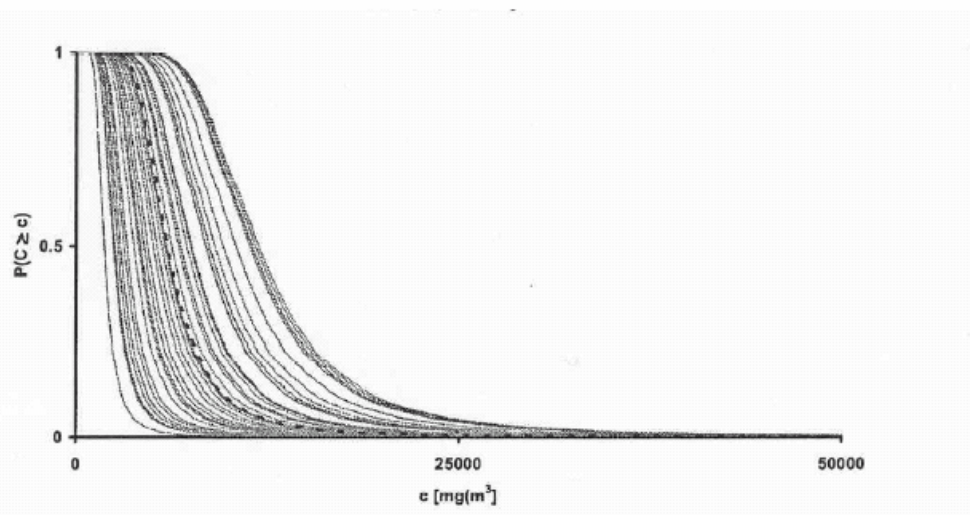
Då riskanalyser utförs på denna nivå används probabilistiska riskvärderingsmetoder för att hantera osäkerheter. Sannolikhetsfördelningar används istället för enstaka värden för att representera osäkra kvantiteter. Riskprofiler används för att presentera sannolikhet för olika konsekvenser. På denna nivå utgörs en sådan riskprofil av en enda kurva vilket innebär att de olika typerna av osäkerhet inte går att särskilja. Monte Carlo-analys är en frekvent använd metod för osäkerhetsanalys på denna nivå.



Figur 3.3
Exempel på riskprofil.
Källa: Johansson (2000)

3.2.3.6 Nivå 5

Skillnaden mellan osäkerhetshandlingen på denna nivå gentemot nivå 4 är att flera riskprofiler används. Detta möjliggör separation av stokastiska och epistemiska osäkerheter i presentationen.



Figur 3.4
Exempel på multipla riskprofiler.
Källa: Abrahamsson (2002)

4. Kvantitativ riskanalys i samband med transport av farligt gods

Syftet med detta kapitel är att beskriva vad en kvantitativ riskanalys är och vilka moment som ingår, speciellt då problematiken med transport av farligt gods hanteras.

4.1 Kvantitativ riskanalys

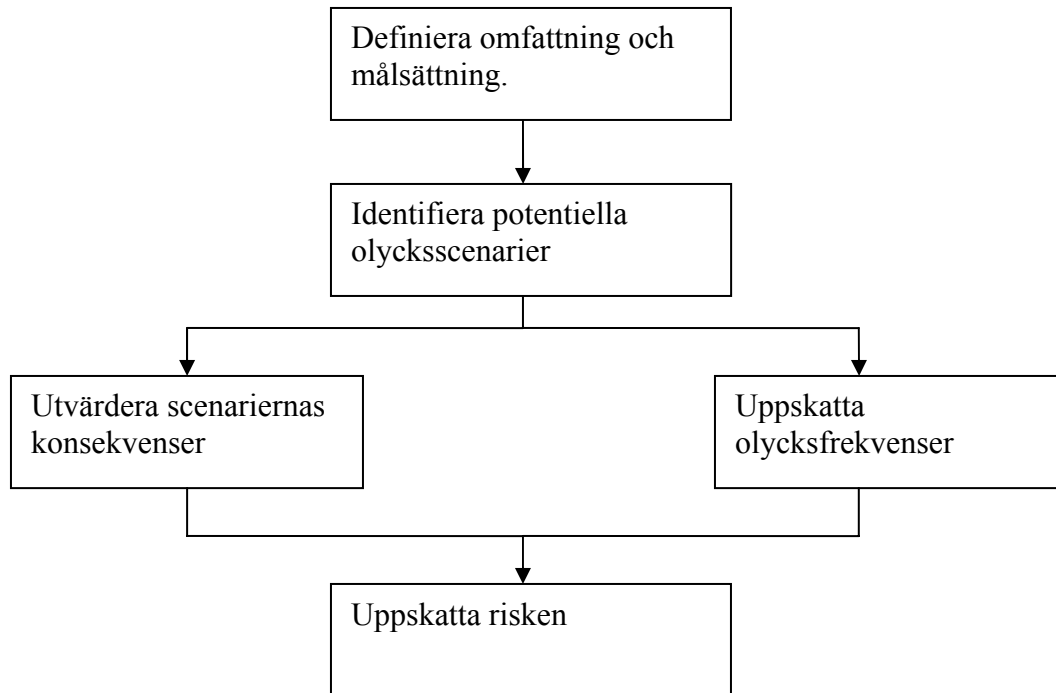
Kvantitativa riskanalyser eller QRA (Quantitative Risk Analysis eller Quantified Risk Assessment) innebär numerisk beräkning, alternativt kvantitativ uppskattning av risker. En QRA kan vara deterministisk eller probabilistisk.

En deterministisk analys utgår från konsekvenserna av definierade olycksscenarier, utan att ta hänsyn till sannolikheten för de olika scenarierna. En probabilistisk riskanalys innefattar även beräkning av sannolikheten för, eller frekvensen av, en viss konsekvens.

4.1.1 Uppbyggnad

I detta stycke beskrivs generellt de ingående delarna i en kvantitativ probabilistisk riskanalys. En mer ingående beskrivning av analysens delar och dess ingående variabler presenteras i kapitlet om variabelosäkerheter.

Enligt Abrahamsson (2002) introduceras olika typer av osäkerheter i olika skeden av riskanalysen. De olika momenten i riskanalysen visas i figur 4.1.



Figur 4.1
 De olika momenten i en kvantitativ riskanalys
 Källa: Abrahamsson (2002), författarens översättning

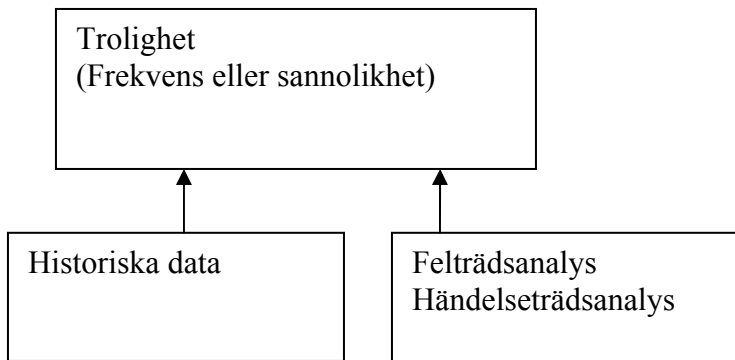
4.1.1.1 Riskidentifiering

I det första skedet av riskanalysen ingår en beskrivning av systemet som ska analyseras. Dessutom beskrivs de scenarier som kan uppstå. I detta sammanhang gäller det att definiera vad som menas med transport av farligt gods samt vilka risker denna verksamhet innebär. De ADR-klasser som ska ingå i analysen väljs ut och dimensionerande scenarier för respektive klass fastställs.

De osäkerheter som tillförs analysen i detta skede uppkommer till följd av identifieringsbrister, det vill säga osäkerhet om huruvida analysunderlaget är fullständigt eller inte. Analytikern har kanske inte inkluderat det analyserade systemets alla risker i analysen.

4.1.1.2 Frekvensberäkning

Som visas i figur 4.2, finns det två huvudskaliga angreppssätt för att uppskatta sannolikhet och frekvens, historiska data samt felträds- eller händelseträdsanalys.



Figur 4.2
 Angreppssätt för att uppskatta en olyckas trolighet.
 Källa: Abrahamsson (2002), författarens översättning

Fördelen med att använda historiska data är enligt Abrahamsson att metoden är relativt enkel. Antalet inträffade incidenter divideras med den tidsperiod under vilken de inträffat. På så vis kan exempelvis olycksfrekvensen på en viss vägsträcka beräknas, exempelvis som dödsolyckor per år och kilometer.

Nackdelarna med metoden är att historiska data inte alltid är aktuella, en vägsträcka kan exempelvis ha blivit ombyggd. De data som analyseras är inte heller alltid relevanta. Är det antalet döda som ska tas fram, räcker det inte att veta hur många olyckor som inträffat på sträckan, antalet dödsfall per olycka måste också framgå. Historiska data kan också vara motstridiga beroende på källan, polisens register överensstämmer inte alltid med vägverkets eller räddningstjänstens.

Felträdsanalys används för att beräkna frekvensen av en farlig incident med hjälp av en logisk modell, bestående av systemets komponenter och dess säkerhetssystem. Felfrekvenser för de ingående komponenterna samt mänsklig tillförlitlighet kvantifieras.

Händelseträdsanalys innebär att en modell upprättas som utifrån en initial händelse visar och kvantifierar alla möjliga sluthändelser.

Osäkerheter som tillförs analysen i detta skede härrör från förenklingar, ofullständig systembeskrivning samt osäkerhet i de ingående variablerna. Dessutom måste analytikern ofta använda sig av historiska data i felträdsanalysen. Detta innebär att samma osäkerheter som beskrivits i stycket om historiska data även introduceras i felträds/händelseträdsanalysen.

4.1.1.3 Konsekvensbedömning

I detta steg introduceras osäkerheter från ett flertal källor. Konsekvensbedömningen innebär att verksamhetens alla möjliga olycksscenariers negativa verkan på människor bedöms. Inom området transport av farligt gods innebär detta att ett flertal olika typer av beräkningar måste utföras. Exempel på sådana beräkningar är; spridning av giftiga gaser, strålning från pölbränder,

tryckverkan från explosioner, giftiga ämnens medicinska effekter på människor, med flera. Dessa beräkningar är förenade med stora osäkerheter, såväl epistemiska som stokastiska. Tyngdpunkten i denna rapport ligger på osäkerhetshantering i detta skede av analysen.

Utsläppsförsök med ammoniak har utförts för att analysera osäkerhet i spridningsberäkningar som är ett av de ingående momenten i konsekvensbedömningen. Osäkerheterna påvisas genom jämförelser mellan resultat från försök och beräkningar.

4.1.1.4 Riskberäkning

Riskberäkningen är det sista steget i analysprocessen och syftar till att väga samman de olika scenariernas sannolikheter och konsekvenser. Det finns två huvudsakliga metoder för att beräkna detta riskmått; individrisk eller samhällsrisk.

Individrisk definieras som risken att omkomma för en hypotetisk person som kontinuerligt befinner sig på en specifik plats, medan samhällsrisk är sambandet mellan frekvensen av en aktivitets olyckor och de konsekvenser som uppstår (Davidsson m.fl., 1997).

Osäkerheter som tillförs analysen i detta skede beror på antaganden och förenklingar. Vid beräkning av samhällsrisk tillförs ytterligare osäkerhet till analysen. Eftersom analytikern måste uppskatta hur många personer som kommer att påverkas av en eventuell olycka måste den påverkade populationen bestämmas. Detta innebär att antaganden om hur många som befinner sig utomhus på den specifika platsen vid dygnets olika tidpunkter måste göras. Dessutom måste deras agerande vid en eventuell olycka bestämmas. En person som känner lukten av ammoniak försöker antagligen undkomma den giftiga gasen. Sådana uppskattningar och antaganden är väldigt svåra att göra och tillför analysen betydande osäkerhet.

4.2 Kapitelsammanfattning

Den typ av kvantitativ riskanalysmetod som används för att beräkna risker i samband med transport av farligt gods – och som beskrivs här - består av olika moment. Vid de olika momenten tillförs analysresultatet osäkerhet från olika typer av källor. I detta kapitel har momenten översiktligt beskrivits. I senare kapitel beskrivs osäkerheterna i detalj och förslag på hur de bör hanteras ges.

5. Intervjustudie

Målet med studien är att ta reda på vilka modeller - handberäkningsmetoder och datorprogram - som används vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods. Målet är dessutom att ta reda på vilken nivå osäkerhetshandlingen ligger samt hur osäkerhet som är förknippad med enskilda variabler hanteras. Syftet med undersökningen var att ta fram underlag till en diskussion om hur osäkerheter i metoder, modeller och variabler bör hanteras.

5.1 Metod

Ett antal personer som utför riskanalyser i samband med transport av farligt gods kontaktades. Frågorna skickades ut via e-post och intervjuerna genomfördes några dagar efteråt. Intervjumetoden som användes var öppen intervju med en intervjumall som diskussionsstöd. Detta innebär att innehållet i de fyra intervjuerna är det samma men att frågorna som ställdes vid de fyra tillfällena inte var identiska. Resultaten från de sammanställda intervju svaren används som referens i diskussionen om hur osäkerheter bör behandlas. De fullständiga frågeformulärens och svaren presenteras i bilaga G.

5.2 Medverkande i undersökningen

Vid valet av personer som skulle medverka i undersökningen fanns några kriterier att utgå ifrån. För det första skulle personen nyligen ha utfört en riskanalys som fokuserade på problematiken med transport av farligt gods. Denna analys skulle vara utförd under verkliga förhållanden, det vill säga i tjänsten och inte enbart som ett utbildningsmoment. Personen skulle ha goda kunskaper om det formella förfarandet vid en kvantitativ probabilistisk riskanalys. Personen skulle dessutom ha goda kunskaper om osäkerhetshandling.

Ovanstående kriterier resulterade i en relativt begränsad urvalsgrupp. Nedan presenteras de fyra som medverkat i undersökningen, alla med erfarenhet av riskanalys och osäkerhetshandling i samband med transport av farligt gods.

Namn	Arbetsgivare
Thomas Carlsson	Räddningstjänsten Dala-Mitt
Johan Ingvarsson	OKQ8
Anders Karmestam	Malmö Brandkår
Fredrik Nystedt	ÖSA

5.3 Resultat av undersökningen

Nedan presenteras en grov sammanställning av resultaten från intervjuerna. Hur enskilda osäkerheter behandlas tas inte upp här utan presenteras istället i de kapitel som behandlar hantering av osäkerheter i metoder och modeller, samt i kapitlet om variabelosäkerhet. I bilaga G presenteras en sammanställning av frågor och svar från studien.

5.3.1 Modeller och metoder som används

De modeller och metoder som presenteras här är en sammanställning av de metoder och modeller som används av de fyra personer som intervjuats.

Vid beräkning av olycksfrekvens används följande metoder och modeller:

- VTI:s riskanalysmetod för transporter av farligt gods på väg och järnväg (VTI, 1994).
- Räddningsverkets handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg (SRV, 1996).

Metoder och modeller för att beräkna olyckskonsekvenser kan delas in i olika undergrupper beroende på vad det är som ska beräknas. De dataprogram och handberäkningsmetoder som används presenteras under respektive undergrupp.

Detonation av massexplosiva ämnen:

- Handberäkningsmetod från kompendium i explosivämneskunskap (Carlsson, 1998)
- Riskavstånd presenterade av Lamnevik och Palme (1998)

Spridning av giftiga gaser:

- Handberäkningsmetod presenterad av Fischer m.fl. (1997)
- Programmet Bfk (SRV:s programvara)
- Programmet CHEMS PLUS (Enhanced Chemical Hazard Evaluation Methodologies)

Utsläpp av brännbara gaser:

- Programmet GASOL (SRV:s programvara)
- Programmet CHEMS PLUS
-

Utsläpp av mycket brandfarliga vätskor:

- Handberäkningsmetod presenterad av Fischer m.fl. (1997)
- Handberäkningsmetod presenterad av Drysdale (1997)

I kapitel 6 har två av dessa modeller/metoder valts ut och dess ingående variabler studerats närmare, dessa är programmet Bfk och handberäkningsmetoden för utsläpp av mycket brandfarliga vätskor, presenterad av Fischer m.fl. (1997). Syftet med studien är inte att undersöka osäkerhet i specifika modeller, istället är det osäkerhet i riskanalysens ingående variabler som studeras i detta kapitel. Av denna anledning har de ingående variablerna i två representativa modeller studerats.

5.3.2 Hantering av osäkerheter

Hur de olika analytikerna hanterar osäkerheter behandlas i efterföljande kapitel. Osäkerheter i metoder och modeller behandlas inte alls av de fyra intervjuade, medan variabelosäkerheter behandlas olika från person till person. Tre av de fyra intervjuade gav uttryck för att osäkerhetshanteringen borde ges mer utrymme i riskanalyserna, men att tidsramen ofta förhindrar detta. Osäkerhetshanteringen styrs alltså inte av analysens komplexitet utan av ekonomiska aspekter.

5.3.3 Diskussion

Vid intervjuerna kom ett antal intressanta frågor upp, diskussionerna som fördes presenteras kortfattat här. Vissa av de åsikter som de intervjuade lyfte fram utvecklas i kapitel 10.

Är det rätt att använda metoden probabilistisk kvantitativ riskanalys för att hantera problematiken med transport av farligt gods, med tanke på de omfattande osäkerheterna? Är det rätt att lägga tid och pengar på att förbättra modellerna då resultaten ändå är förknippade med så stora osäkerheter? Nystedt (2004) menar att det istället kan vara bättre att rekommendera lämpliga konsekvensreducerande åtgärder i planeringsstadiet. Bor det ingen inom ett riskområde och det inte finns planer på att exploatera marken så spelar det ingen roll hur stor sannolikheten är att en olycka inträffar.

Då riskanalyser utförs bör osäkerheterna reduceras i så hög grad som möjligt. Olyckor bör utredas mer ingående så att analysunderlaget kan förbättras. Det är exempelvis inte känt hur ofta ett bensinläckage leder till antändning eller hur ofta tanken brister vid en olycka med klass 2-gods. Ingvarsson (2004) menar att sannolikheten för antändning av ett bensinläckage är betydligt lägre än de värden som används, sannolikheten överskattas alltså medvetet. Detta förfarande är tveksamt eftersom konservativa värden leder till att analysresultatet överskattar den föreliggande risken. Om konservativa värden ändå används är det viktigt att det förklaras varför och presenteras tydligt.

Ett stort problem är att det inte finns några nationella riskkriterier i Sverige. Det finns alltså inga egentliga mått att jämföra analysresultaten emot. Detta innebär att det inte går att avgöra om den beräknade risknivån är acceptabel ur ett samhällsperspektiv. Internationella riskkriterier används för att visa att risknivån är acceptabel.

Analytikern är ofta insatt i den formella analysprocessen men sämre insatt i ämnet som analysen behandlar. Detta leder till osäkerheter eftersom analysresultatet i stora drag bygger på analytikerns antaganden om det studerade systemet.

Inaktuella flödesdata leder till osäkra värden. Flödet kan variera kraftigt från år till år, från sommar till vinter och från dag till natt. Sådana förändringar är svåra att ta hänsyn till i analysen. Detta hanteras ofta genom att konservativa värden får representera den osäkra kvantiteten. Det är därför viktigt att analytikern presenterar vilka antaganden som gjorts. Det måste framgå att analysresultatet måste uppdateras om betydande förändringar i systemet sker.

6. Osäkerheter i variabler och parametrar

Vid intervjuerna framkom att osäkerhetshantering i samband med riskanalyser - av den typ som avhandlas i denna rapport – inte utförs i tillräcklig omfattning. Det framkom bland annat att tidsramen för projekten ofta är så pressad att osäkerhetsanalysen måste prioriteras bort. Följande kapitel syftar till att ge riskanalytikern förslag på hur osäkerheter som är förknippade med enskilda variabler och parametrar bör hanteras vid en kvantitativ probabilistisk riskanalys. Med intervjustudien som bakgrund diskuteras olika metoder att hantera variabelosäkerheter vid riskanalyser i samband med transport av farlig gods.

6.1 Avgränsningar

Ingående variabler i en riskanalys behandlas olika i olika riskanalyser. I en del analyser behandlas de ingående variablerna var för sig utan någon korrelation medan variablerna i andra analyser är beroende av varandra. Ett exempel på detta är hantering av variabeln stabilitetsklass. Denna variabel kan anta sex olika värden (A-F) och är beroende av bland annat vindstyrkan och solinstrålningen, som i sin tur är beroende av var i landet man befinner sig. Sannolikheten för att en viss vindstyrka ska råda vid ett olyckstillfälle kan alltså i analysen låtas bero på den rådande stabilitetsklassen. Används sådana samband i analysen så reduceras den epistemiska osäkerheten. Denna typ av osäkerhetshantering behandlas inte närmare i denna rapport. Konstateras kan dock att djupare kunskap om variablerna och förståelse om deras inbördes förhållande kan reducera den totala osäkerheten i resultatet, givet att dessa förhållanden kan representeras på ett korrekt sätt i analysen.

De modeller för beräkning av olycksfrekvens, som presenteras i denna rapport behandlar endast transport av farligt gods på väg. Järnvägstransporter nämns i vissa stycken men ingen analys av modeller eller variabler kopplade till sådan transport behandlas.

Då konsekvenserna av en eventuell olycka med farligt gods ska bedömas är det ett flertal scenarier som analytikern måste ta med i beräkningarna. För att beräkna dessa konsekvenser finns det ett stort antal modeller att tillgå, ett exempel är programmet Bfk. I stycket som behandlar variabelosäkerheter i konsekvensbedömningen har tre modeller för konsekvensberäkningar valts ut och de ingående variablerna studerats. Detta innebär att variabler som ingår i andra modeller utelämnats.

6.2 Hantering av variabelosäkerheter

Tidigare har de olika delarna av en kvantitativ probabilistisk riskanalys beskrivits. Nedan presenteras de ingående variablerna under den del av analysen som de tillhör. De osäkerheter som variablerna är förknippade med beskrivs och en diskussion förs om hur de bör hanteras. Denna diskussion bygger på litteraturen som presenterats i föregående kapitel samt resultaten från intervjustudien som genomförts. Diskussionen utmynnar i förslag på hur jag anser att osäkerheterna bör hanteras.

Det som bör styra hanteringen av de enskilda variabelernas osäkerhet är främst osäkerhetens resultatpåverkan och vilken typ av variabel det är som beaktas. Påverkar variabelns osäkerhet resultatet på ett betydande vis, krävs det att osäkerheten hanteras. För att hanteringen ska ske på ett korrekt sätt krävs det att variabeln kan klassificeras så att källan till osäkerheten kan styra osäkerhetshanteringen. Metoder för att ta reda på vilken variabel som har störst inverkan på resultatet presenteras av bland andra Abrahamsson (2002)

6.2.1 Variabelosäkerheter i riskidentifieringen

I detta skede avgränsar analytikern problemet. Riskerna som ska beaktas väljs ut och vad eller vem som ska skyddas från dessa risker definieras. I detta fall handlar det om att välja ut vilka dimensionerande scenarier som ska användas. Utgångspunkten då de handlar om farligt gods är alltid de nio ADR-klasserna. Nedanstående grundscenarier är frekvent använda vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods.

- *Detonation av massexplosiva ämnen (klass 1)*
- *Utsläpp av kondenserad brännbar gas (klass 2)*
- *Utsläpp av kondenserad giftig gas (klass2)*
- *Utsläpp av mycket brandfarliga vätskor (klass 3)*

Dessa grundscenarier kan leda till olika konsekvenser vilka representeras av ett antal typscenarier. Exempelvis representeras ofta grundscenariot *utsläpp av mycket brandfarliga vätskor* av typscenariot *pölbrand*. Dessa typscenarier behandlas mer ingående i stycket om variabelosäkerheter i konsekvensbedömningen.

Analytikern måste utifrån den specifika platsens flödesbild avgöra vilka scenarier som kan komma att påverka det som ska skyddas. Ofta då det handlar om riskanalyser i samband med transport av farligt gods är det människoliv som ska skyddas. Andra kriterier kan vara svårt skadade, miljö, trafikstopp etc.

Flödesanalysen är en viktig del av riskanalysen som delvis ingår i riskidentifieringen. Genom att ta reda på hur stora mängder av de olika ADR-klasserna som transporteras på den studerade transportleden, kan analytikern välja vilka scenarion som ska användas i analysen. Transporteras exempelvis endast små mängder av klass 1 kan analytikern välja att begränsa analysen genom att inte studera konsekvenserna av en eventuell klass 1-olycka. Vid intervjustudien angav alla fyra att de använder grundscenarierna *utsläpp av kondenserad brännbar gas (klass 2)*, *utsläpp av kondenserad giftig gas (klass2)* och *utsläpp av mycket brandfarliga vätskor (klass 3)*. Tre av de intervjuade angav dessutom *Detonation av massexplosiva ämnen (klass 1)*. Förutom dessa scenarier angav två av de intervjuade dessutom *utsläpp av organiska peroxider (klass 5)*. Utsläpp av organiska peroxider kan leda till explosion vid blandning med bränsle. En av de intervjuade angav också *utsläpp av brandfarliga fasta ämnen (klass 4)*. De specifika osäkerheter som är förknippade med de två sistnämnda scenarierna behandlas inte i denna rapport.

För att komma fram till dessa scenarier har de intervjuade bedömt flödet av farligt gods på den analyserade sträckan. I nästa stycke presenteras hur flödet av farligt gods och fördelningen mellan de olika klasserna bedömts.

Det är viktigt att (om inget annat anges) den verkliga risknivån på platsen som studeras beräknas. I denna del av analysen rekommenderas därför att en flödesanalys utförs. Används standardscenarier som bygger på nationell statistik kan den beräknade risknivån bli väldigt missvisande.

6.2.2 Variabelosäkerheter i frekvensberäkningen

I denna del av analysen gäller det för analytikern att avgöra med vilken frekvens de olika scenarier som definierats i riskidentifieringen inträffar under en specificerad tidsrymd. Flödesanalysen ligger här till grund, dels för att beräkna olycksfrekvensen men också för att beräkna hur stor sannolikheten är att en transport med en viss typ av farligt gods är inblandad i en olycka. Beroende på vilka resultat som flödesanalysen ger kommer olika typer av scenarier att ges olika sannolikheter. Frekvensen av typscenariot pölbrand bestäms av:

- Sannolikheten att en olycka med farligt gods inträffar
- Sannolikheten för att transporten ska innehålla ett klass 3-ämne
- Sannolikheten att tanken skadas så att ett läckage uppstår
- Sannolikheten att utsläppet ska antändas

Det finns ett antal olika metoder och modeller för att beräkna sannolikheten för att en olycka med farligt gods inträffar. En av de mer frekvent använda är Räddningsverkets handbok (SRV, 1996). Denna är en utveckling av Väg- och transportforskningsinstitutets rapportserie (Lindberg m.fl., 1994) som behandlar sannolikhet för väg- och järnvägsolyckor med transport av farligt gods. Tre av fyra i intervjustudien angav att de använder Räddningsverkets modell för att beräkna olycksfrekvens. En av de intervjuade använder VTI:s ursprungliga modell. I detta stycke kommer de ingående variablerna i Räddningsverkets handbok att behandlas, liksom de osäkerheter som dessa variabler är förknippade med.

För att beräkna olycksfrekvensen finns det två alternativ i Räddningsverkets modell. Alternativ 1 innebär att statistik över det årliga antalet singelolyckor och kollisionolyckor för samtliga fordon på den aktuella vägsträckan används. Alternativ 2 används om statistik inte finns att tillgå. Den förväntade olycksfrekvensen bedöms då utifrån en matris för olyckskvot med vilken vägavsnittets standard bedöms. Denna standard bestäms i matrisen av tre parametrar; typ av väg, vägavsnittets hastighetsbegränsning samt om det är ett vägavsnitt i tätort eller på landsbygd. I instruktionen till modellen rekommenderas användaren att använda båda alternativen för att kontrollera skillnaden. Slutligen behövs uppgifter om trafikflödet per årsmedeldygn, samt den andel av trafikflödet som utgörs av fordon skyltade med farligt gods.

Dessa uppgifter sätts in i ekvation 6.1 för att beräkna antalet fordon med farligt gods som årligen är inblandade i trafikolyckor på det studerade vägavsnittet.

$$F = O((Y \times X) + (1 - Y)(2X - X^2))$$

Ekvation 6.1

- F = Antal farligt godsolyckor på vägavsnittet per år
O = Antalet trafikolyckor på vägavsnittet per år
Y = Andelen singelolyckor på vägavsnittet
X = Andelen transporter skyltade med farligt gods

Uppgifter om olycksstatistik finns registrerat hos Vägverket och kan ofta tas fram för den aktuella vägsträckan. Det totala trafikflödet mäts kontinuerligt på de flesta vägar i Sverige och dessa uppgifter finns också hos Vägverket. Två av de intervjuade angav att de hämtar olycksstatistik och trafikflöde från Vägverket, de andra två använder matrisen för olyckskvot. Ingen av de intervjuade följde instruktionen till modellen och kontrollerade resultatet. Vad det gäller flödet av farligt gods på den studerade vägsträckan är det lite mer problematiskt att ta fram rättvisande uppgifter. Räddningsverket gjorde 1998 en kartering av flödet av farligt gods på det svenska vägnätet (SRV, 1998). Denna kartering har dock uppvisat stora brister och underskattar flödet på ett flertal vägsträckor. Resultatet från en flödesanalys utförd av Nilsson och Möller (2003) visar exempelvis att sträckan mellan Trelleborg och Malmö har ett flöde av farligt gods som är ungefär dubbelt så stort som flödet presenterat i SRV:s kartering.

Av de intervjuade använder två Räddningsverkets kartering för att bestämma flödet av farligt gods. En angav att tillgänglig statistik användes eftersom detta fanns på den analyserade sträckan. Den fjärde använde vägsträckans maxbelastning för att bedöma antalet farligt godstransporter på vägsträckan. För att bedöma hur mycket av respektive klass som transporterades på sträckan användes nationell statistik.

Att ta fram ett giltigt flöde på en sträcka är tidskrävande men nödvändigt om ingen statistik finns att tillgå. Sannolikheten för att en olycka ska inträffa är direkt beroende av farligt godsflödet på sträckan. Är det verkliga flödet dubbelt så stort så underskattar analysen sannolikheten med en faktor två. Om tidsramen inte tillåter att en flödesanalys utförs och ingen statistik finns att tillgå så är det lämpligare att använda en annan metod än QRA för att analysera riskerna. Exempelvis kan ett deterministiskt angreppssätt väljas. Att använda nationell statistik för att bedöma vad som transporteras på en enskild sträcka kan bli väldigt missvisande.

Att använda sträckans maxkapacitet som underlag vid bedömningen av vilka mängder som transporteras på en sträcka är ett konservativt angreppssätt. Styrkan med QRA som metod är dess förmåga att utifrån osäkra variabler ge en så rättvisande bild av verkligheten som möjligt. Används konservativa ingångsvärden i riskanalyser är det viktigt att ha detta i åtanke vid tolkningen av resultaten. Användning av konservativa värden är en typ av osäkerhetshantering som leder till att resultatet inte beskriver den föreliggande risknivån. Det är istället en förhöjd risknivå som beräknas, en nivå som eventuellt kan vara giltig vid extrema förhållanden eller vid eventuella förändrade framtida förhållanden. Med tanke på det stora antal osäkerheter som tillförs en riskanalys i samband med transport av farligt gods, bör inte resultatet utgöra ett definitivt riskmått. Resultatet, med tillhörande osäkerhet, bör utgöra ett diskussionsunderlag vid beslut om huruvida riskerna kan anses vara tolerabla eller inte. Resultatet bör därför i möjligaste mån ge en så rättvisande bild av den befintliga risknivån som möjligt. Anser analytikern att framtida

förhållanden kommer att påverka risknivån bör i så fall detta redovisas i analysen och inte bakas in som en del av osäkerhetshanteringen. Tydlighet i resultatpresentationen är en viktig del av osäkerhetshanteringen som behandlas närmare i kapitel 8.

För att beskriva sannolikheten för att ett läckage uppstår vid en olycka använder alla de intervjuade punktvärden presenterade av VTI. Sannolikheten för att läckage uppstår påverkar naturligtvis resultatet i det avseendet att en olycka inte får några konsekvenser om tanken håller. Genom att använda VTI:s värden och ständigt uppdatera dessa allt eftersom ny statistik tas fram kan bättre värden erhållas. Det är viktigt att inte använda inaktuell statistik eller konservativa värden om målet med analysen är att beräkna den föreliggande risken. Sannolikheten för att en nyare tank brister vid en olycka är enligt Björn Lindén (2003) på Malmöpolisens, betydligt lägre än vad VTI:s siffror anger. Sannolikheten för att läckage ska uppstå är enligt Vägverket (1997) beroende av hastigheten och utformningen av vägen och dess omgivning. Det är därför viktigt att känna till den analyserade vägsträckans utseende, för att kunna reducera osäkerheten i denna variabel.

Sannolikheten för att utsläppet ska antändas bedöms med hjälp av punktvärden av alla fyra medverkande i intervjustudien, de har dock använt olika källor. Två hänvisar till Purdy (1993), en till Lamnevik och Palme (1998) och en till Fischer m.fl. (1997).

Enligt Johan Ingvarsson (2004) har tester som genomförts av OKQ8 visat att sannolikheten för antändning är betydligt lägre än de värden som vanligtvis används i riskanalyser. Detta skulle exempelvis innebära att sannolikheten för scenariot pölbrand är överskattat i många riskanalyser. Detta scenarios sannolikhet är ofta väldigt hög eftersom klass 3-transporterna är dominerande i antal på det svenska vägnätet. Används punktvärde för att representera variabeln så bör dess resultatpåverkan undersökas med hjälp av känslighetsanalys. Detta eftersom det sanna värdet inte är känt, men kan antas vara lägre än det använda. Eftersom osäkerheten i variabeln beror på att det sanna värdet inte är känt så bör ytterligare undersökningar utföras för att ta reda på differensens storleksordning.

Följande förslag ges i denna del av analysen:

- Ta fram ett giltigt flöde om en QRA ska användas
- Kontrollera frekvensberäkningen med hjälp av metoden som anges i modellens instruktion
- Använd så rättvisande värden på de ingående variablerna som möjligt och undvik konservativa antaganden.

6.2.3 Variabelosäkerheter i konsekvensbedömningen

Då de olika scenarierna definierats och deras sannolikheter fastställts, ska konsekvenserna bedömas. I denna del av analysen måste analytikern göra en rad antaganden eftersom många av de faktorer som styr hur människor kommer att påverkas av en viss typ av olycka är osäkra eller okända. Exempelvis är det svårt att ta reda på hur människor påverkas vid exponering för giftiga ämnen eftersom experimentella data inte går att ta fram. Extrapolering från dos-respons-kurvor

framtagna med hjälp av djurförsök är ofta det bästa underlaget. Denna metod är väldigt osäker och väldigt konservativa angreppssätt är vanligt förekommande.

I detta stycke behandlas osäkerheter som tillförs analysen vid bedömning av de konsekvenser som utsläpp av farligt gods kan medföra. Konsekvensbedömningen består i beräkning av; tryck från explosioner, spridning av giftiga eller brandfarliga gaser samt strålning från pölbränder. De modeller vars ingående variabler behandlas i detta stycke är; Bfk och handberäkningsmetoder för beräkning av strålning från pölbränder och spridning av giftiga gaser, presenterade av Fischer m.fl. (1997). Dessa modeller har valts ut med stöd av resultatet från intervjustudien.

6.2.3.1 Spridning av giftiga gaser

Hur ett gasmoln vid ett läckage kommer att sprida sig vertikalt och horisontellt från källan påverkas bland annat av de meteorologiska förhållandena. Enligt Fischer m.fl. (1997) är det främst den vertikala temperaturskiktningen eller stabilitetsklassen och vindhastigheten som påverkar spridningen. Vid labil skiktning är luften turbulent och utspädningen sker relativt snabbt. Vid stabil skiktning (inversion) är luften mindre turbulent och utspädningen sker långsammare. Vid neutral skiktning blir utspädningen måttlig. Utspädningen ökar även med vindhastigheten. Utsläppshastigheten och den utsläppta gasens temperatur påverkar tillsammans med vindhastigheten och skiktningen det så kallade plymlyftet. Andra faktorer som påverkar spridningen är topografin, byggnader och vegetation skapar lävindar som sänker plymnivån.

Vid intervjuerna framkom att tre av de fyra tillfrågade använde sig av Bfk för att utföra spridningsberäkningar av giftiga gaser. Tre av fyra använde sig dessutom av handberäkningar presenterade av Fischer m.fl. (1997). Andra metoder som angavs var programmen GASOL och CHEMS PLUS samt en holländsk metod som populärt kallas Yellow book (CPR, 1992). De variabler som behandlas nedan är de som används i handberäkningsmetoderna som presenteras av Fischer m.fl. (1997) samt de variabler som utgör indata i Bfk.

6.2.3.1.1 Variabler i Bfk

Ett grundscenario har använts för att visa hur de olika variablerna påverkar resultatet då deras värde varieras. Grundscenariot innebär punktering på en lastbilstank med svaveldioxid. Hålet är 5 cm² stort och tanken rymmer 24500 kg. Utsläppet sker på en meters höjd över mark i bebyggt område, en klar höstdag i Svealand. Temperaturen är 10°C och vindstyrkan 5 m/s. Mätpunkten som används är belägen på 1,5 meters höjd, 500 meter rakt framför källan. I grundscenariot är koncentrationen i mätpunkten ca 30 ppm då alla variabler hålls konstanta.

Detta scenario används för att på ett enkelt sätt visa hur variationer i variablernas värde påverkar resultatet. Eftersom det är svårt att variera alla variabler jämförelsevis lika mycket så kan valet av varierat variabelvärde tyckas godtyckligt. Målet har varit att använda rimliga men samtidig betydande variationer. Det ska påpekas att det inte är dessa variationer som styr förslagen. Variationerna utförs endast för att visa läsaren ungefär i vilken omfattning resultatet påverkas av variationen.

Endast de osäkerheter som tillförs analysen till följd av osäkra värden på variabler som utgör indata i Bfk behandlas i detta stycke. Metodiken går ut på att de ingående variablerna identifieras,

deras resultatpåverkan kommenteras och visas genom att värdet varieras i Bfk. Därefter presenteras hur osäkerheten bör hanteras enligt litteraturen (görs endast i de fall som förslagen bygger på litteraturen). En jämförelse med hur de intervjuade har hanterat osäkerheten görs. Slutligen ges ett förslag på hur osäkerheten bör hanteras utifrån detta.

Vid inmatning av indata måste användaren göra följande val:

1. typämne
2. transporterad mängd/tankstorlek
3. hålstorlek
4. utsläppets höjd över mark
5. omgivning
6. årstid
7. tid på dygnet
8. geografisk plats
9. vindstyrka
10. temperatur

Dessutom finns det en funktion i programmet som utifrån det definierade scenariot beskriver hur människor på olika avstånd från läckaget kommer att påverkas av utsläppet. Denna funktion används inte av de intervjuade och behandlas inte heller här.

Vid val av **typämne** (1) går det i programmet att välja mellan fem olika alternativ; ammoniak, klor, svaveldioxid, RIB-kemikalie eller egendefinierad kemikalie. Av de tre personer som enligt intervjusvaren använt sig av Bfk använder en sig av både ammoniak och svaveldioxid medan de andra två enbart använder svaveldioxid. Den fjärde medverkande (använder inte Bfk) använder även han endast svaveldioxid. Förklaringen till att klor inte används är att denna kemikalie endast transporteras i begränsade mängder. Att tre av de intervjuade endast använder svaveldioxid motiveras med att det är ett konservativt angreppssätt eftersom ämnet är giftigare än ammoniak. Detta antagande är inte lika självklart som det verkar. Svaveldioxid är i och för sig giftigare än ammoniak, men då variabeln typämne varieras från svaveldioxid till ammoniak i Bfk visar det sig att koncentrationen i mätpunkten blir drygt fyra gånger högre. Används konservativa värden i analysen bör detta dessutom redovisas i analysen.

Vilket eller vilka ämnen som används påverkar alltså analysresultatet dels eftersom olika ämnen har olika giftighet men också genom att ämnesegenskaperna i sig påverkar spridningen. Ett förslag är att ta reda på vilka ämnen som transporteras i vilka mängder på det studerade vägvägnittet och därefter använda denna fördelning vid val av typämne. Fördelningen av de ämnen som transporteras på en sträcka kan sägas vara en empirisk kvantitet eftersom dess värde går att ta reda på genom empiriska observationer. Enligt Morgan och Henrion (1990) kan

empiriska kvantiteter uttryckas i sannolikhetsstermer eftersom de är osäkra samtidigt som de har ett sant värde. Fördelningen bör därför representeras av en sannolikhetsfördelning.

Tankstorleken används ofta som mått på hur stor mängd av den studerade kemikalien som transporteras. Problemet är att flödesanalysen ofta inte ger ett fullständigt svar på hur stor del av transporterarna som är fullastade. Vissa av transporterarna går tomma eller halvfulla vilket medför att konsekvenserna av en eventuell olycka inte blir desamma som om tanken vore full. Vid val av **transporterad mängd** (2) av den analyserade kemikalien svarade alla fyra att de använder standardmått för tankvolym. Alla angav dessutom att dessa mått inte varierar utan behandlas som punktvärden.

Detta är också en empirisk variabel eftersom det går att ta reda på fördelningen av tomma, halvfulla och fulla tankar på den aktuella sträckan. I Bfk styr den transporterade mängden främst läckagets varaktighet. Vid variation av transporterad mängd från 24500 kg till 15000 kg förändras inte koncentrationen i mätpunkten alls. Det kan därför anses vara berättigat att representera denna variabel med punktvärden, om andelen tomma tankar kan beräknas och dras bort.

Sannolikheten för att det ska gå håll i tanken vid en eventuell olycka, liksom sannolikheten att detta håll är stort eller litet, är faktorer som berör ett särskilt scenarios frekvens och behandlas inte i konsekvensberäkningen. I detta moment gäller det istället att bestämma vilka **hålstorlekar** (3) som ska användas. I Bfk kan användaren välja mellan fem olika typer av läckage; packningsläckage, brott på anslutningsrör, stor punktering på tank eller egendefinierat utsläpp. Det sistnämnda är i sin tur indelat i två typer; punktering på tank eller packningsläckage samt brott på anslutningsrör. Väljer användaren att definiera läckagets dimension själv anges hålets area eller rörets diameter och längd vid brott på anslutningsrör. Av de medverkande i intervjustudien använder alla fyra tre hålstorlekar, tre av de intervjuade använder standardmått från Bfk medan en använder standardmått från VTI. Alla fyra har representerat denna variation med en sannolikhetsfördelning. En av de intervjuade har dessutom modellerat fördelningen med hjälp av triangelfördelning i programmet @risk (programvara från Palisade Corporation).

Då det går håll på en tank kan storleken på hålet variera från väldigt litet till totalt havererad tank. Det är inte så att storleken på hålet antar ett av tre möjliga värden. För att representera hålstorlek använder de intervjuade personerna därför en dimensionerande hålstorlek för att representera tre typer av hål, litet, medelstort och stort. Eftersom osäkerheten i denna variabel beror på att ett sant värde inte finns (och inte går att ta fram med ytterligare studier) så kan osäkerheten betraktas som stokastisk. Hålstorleken påverkar i hög grad källstyrkan som i sin tur är en av de parametrar som påverkar spridningen mest. Koncentrationen i mätpunkten fördubblas om hålstorleken sätts till 10 cm² istället för 5 cm². Denna typ av kvantitet bör enligt Abrahamsson (2002) representeras med en sannolikhetsfördelning som bygger på både subjektiva bedömningar och historiska data, metoder för att skapa sådana fördelningar beskrivs närmre av Abrahamsson (2002).

Utsläppets **höjd över mark** (4) är en variabel som i Bfk endast påverkar spridningen marginellt. Variabeln bestämmer endast den höjd som plymen sprids utifrån. Ändras värdet på variabeln från 1 meter till 0 meter så påverkas koncentrationen i mätpunkten inte alls. Variabeln påverkar inte höjden i relation till tankens vätskenivå och därför inte heller den fas som utsläppet sker i. De

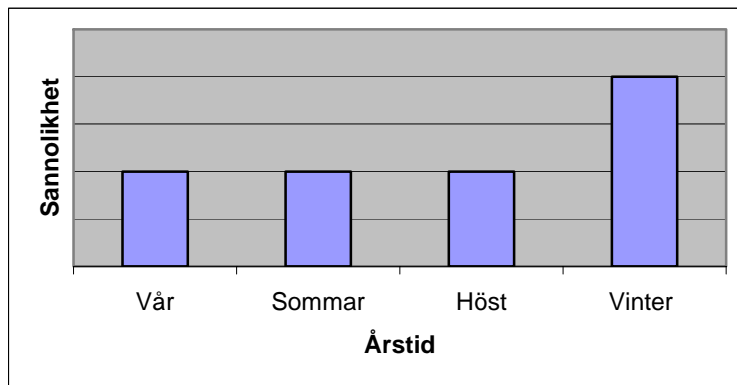
fyra intervjuade har alla använt sig av punktvärde för att representera denna variabel. Detta kan anses berättigat med tanke på variabelns begränsade resultatpåverkan.

Vid val av *omgivning* (5) är det yråheten som ska definieras. I programmet finns tre alternativ; *bebyggt*, *obebyggt* eller *obebyggt med egendefinierad yråhet*. Yråhet är en variabel som representerar underlagets skrovlighet och bestäms av den omgivande terrängen, i Bfk påverkar variabeln gasens spridning markant. Används den förinställda yråheten för obebyggt område så fås en koncentration som är cirka sex gånger högre i kontrollpunkten än om yråheten för bebyggt område används. Av de intervjuade svarade en att han använder den yråhet som bäst beskriver det studerade området, de andra tre svarade att yråheten för bebyggt område används.

Eftersom det vid nyprojektering är känt hur närområdet ser ut så bör den yråhet väljas som bäst representerar omgivningen. Är det ny bebyggelse som projekteras i bebyggt område, men ingen befintlig bebyggelse finns i området mellan vägen och den nya bebyggelsen, så bör yråheten för obebyggt område användas. Denna möjlighet ges inte vid kommunala riskanalyser.

Vilken *årstid* (6) det är påverkar i programmet solinstrålningen. Solinstrålningen påverkar stabilitetsklassen som i sin tur påverkar gasens spridning. Då årstiderna varieras i programmet blir koncentrationen i kontrollpunkten som lägst då sommar eller vår väljs, dubbelt så hög koncentration fås då höst väljs och sex gånger så hög koncentration fås om vinter väljs. Vilken årstid det är har alltså en betydande inverkan på resultatet varför det är viktigt att beakta osäkerheten i denna variabel. En av de intervjuade använder en handberäkningsmodell som inte tar hänsyn till årstiden utan istället vilken stabilitetsklass som råder. Två svarade att de använt höst som ett punktvärde. En svarade att årstid valts till höst, men att osäkerheten i variabeln stabilitetsklass (som styrs av årstiden) hanterats med hjälp av känslighetsanalys.

Eftersom årstiderna delar in året i fyra lika delar kan det tyckas klart att osäkerheten i variabeln ska hanteras med hjälp av en diskret sannolikhetsfördelning. Sannolikheten att det är en viss årstid då en olycka inträffar skulle i så fall vara lika stor oberoende av årstid. Men eftersom olycksfrekvensen kan antas vara beroende av väglaget som i sin tur styrs av årstiden, är det inte säkert att detta angreppssätt är riktigt. Ett förslag är därför att använda en sannolikhetsfördelning som baseras på olycksfrekvens per årstid (givet att andra faktorer så som flödet inte styrs av årstiden, vilket i så fall också bör beaktas). Är exempelvis det förväntade antalet olyckor dubbelt så stort vintertid som under någon annan månad bör en frekvensfördelning enligt figur 6.1 användas.



Figur 6.1 Frekvensfördelning

Vilken *tid på dygnet* (7) som utsläppet sker är också en variabel som påverkar den rådande stabilitetsklassen. I Bfk kan användaren välja på tre alternativ, *dag*, *morgon/kväll* eller *natt*. Då tidpunkterna varierar i programmet fås den lägsta koncentrationen i kontrollpunkten då alternativet *dag* väljs. Koncentrationen blir cirka tre gånger så hög om något av de andra alternativen väljs. Av de tre som använder Bfk svarade två att de använt dag som ett punktvärde. En svarade att dag valts som punktvärde, men att osäkerheten i variabeln stabilitetsklass (som styrs av tid på dygnet) hanterats med hjälp av känslighetsanalys. Liksom för årstid bör en undersökning göras om den förväntade olycksfrekvensen styrs av vilken tid på dygnet det är. Det kan exempelvis visa sig att transporter på den studerade sträckan endast sker nattetid vilket i sin tur medför att den förväntade olycksfrekvensen dagtid är 0. Kan olycksfrekvensen antas vara oberoende av tiden på dygnet så bör osäkerheten i variabeln representeras av en frekvensfördelning eftersom skillnaden i resultat mellan alternativet *dag* och de andra två alternativen är betydande.

Geografisk plats (8) för en eventuell olycka påverkar spridningen på så vis att solinstrålningen varierar från norr till söder. Även detta är en faktor som påverkar stabilitetsklassen. I programmet går det att välja mellan fyra klimatzoner; norra Norrland, södra Norrland, Svealand och Götaland. Denna variabel är inte förknippad med någon osäkerhet eftersom det är känt vilken del av landet som analysen avser.

Vindstyrkan (9) är enligt Fischer m.fl. (1997) en av de parametrar som påverkar spridningen av den utsläppta gasen mest. I programmet kan vindhastigheten varieras mellan 0,5 och 15 m/s. För att undersöka hur vindhastigheten påverkar spridningen i programmet har tre olika vindhastigheter använts; 0,5, 7 och 15 m/s. Skillnaden är dramatisk. Vid vindhastigheten 0,5 m/s är koncentrationen i kontrollpunkten ca 350 ppm, vid 7 m/s är koncentrationen 20 ppm och vid 15 m/s är koncentrationen 10 ppm. Av de intervjuade har två valt att representera vindstyrkan med ett punktvärde på 2,5 m/s (2,5 m/s ger koncentrationen 30 ppm i kontrollpunkten). De två andra har använt en frekvensfördelning som baseras på statistik från SMHI för den aktuella platsen.

Vid en olycka med farligt gods är vindens riktning och hastighet kritiska faktorer för bedömningen av spridningsområdet. Det bästa sättet att hantera denna osäkerhet är att använda en frekvensdistribution som bygger på empiriska meteorologiska data. Eftersom vindhastigheten är en empirisk variabel är detta, enligt Morgan och Henrion (1990), ett lämpligt angreppssätt. Osäkerheten i variabeln är slumpmässig eftersom vindhastigheten är

oförutsägbar även om den exakta tiden för olyckan skulle vara känd i förväg. Det går alltså inte att reducera variabelns osäkerhet ytterligare.

Temperaturen (10) är en variabel som påverkar trycket i tanken och därmed källstyrkan och utsläppets varaktighet. Alla fyra i intervjustudien angav att de anger temperaturen som ett punktvärde, alla använder dessutom samma värde nämligen 10 C. Tre olika temperaturer har varierats i programmet för att kontrollera hur koncentrationen i kontrollpunkten påverkas, -5, 5 och 15 C. Koncentrationen i kontrollpunkten är ca 10 ppm vid -5 C, ca 20 ppm vid 5 C och ca 30 ppm vid 15 C. Variationer i temperatur har alltså en betydande resultatpåverkan och bör i likhet med vindhastigheten representeras av en frekvensdistribution som bygger på meteorologiska data.

6.2.3.1.2 Variabler i handberäkningsmodell

I den handberäkningsmodell som redovisas nedan är det koncentrationen av ett farligt ämne som beräknas i en punkt på ett bestämt avstånd från källan. Detta är en typ av spridningsberäkning som förekommer i riskanalyser i samband med transport av farligt gods. I intervjustudien angav en av de fyra tillfrågade att han använder denna modell. I detta stycke studeras endast osäkerhet i de variabler som utgör indata. Många av de ingående variablerna är desamma som redan behandlats i föregående stycke, vissa skillnader finns dock.

I modellen bestäms koncentrationen i en viss punkt av källstyrkan, vindhastigheten, utsläppets höjd över mark, omgivningen (det vill säga ytråheten) och stabilitetsklassen. Källstyrkan bestäms i sin tur av vilket ämne som analyseras, i vilken fas utsläppet sker, hålstorleken samt trycket och temperaturen i tanken. De variabler som inte behandlats direkt i föregående stycke är källstyrka, stabilitetsklass, utsläppets fas och tryck i tanken.

Spridningsmodellen som används är ekvation [8:22] i Fischer m.fl. (1997).

$$X(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y(x)\sigma_z(x)U} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \left[e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}} \right] \quad \text{Ekvation 6.1}$$

- $X(x, y, z)$ = Koncentrationen på avståndet x, y och z [kg/m³]
- Q = Utsläppets källstyrka [kg/s]
- σ_y, σ_z = Dispersionskoefficienter i sid- och höjddled
- U = Vindhastigheten [m/s]
- H = Utsläppets höjd [m]

Vindhastigheten behandlades i föregående stycke, utsläppets höjd över mark likaså. Dispersionskoefficienterna som styr spridning i sid- och höjddled beräknas med hjälp av nedanstående ekvationer som finns återgivna i Fischer m.fl. (1997) som ekvation [8:41].

$$\sigma_y = \frac{a_y(x + x_{y0})}{(1 + b_y(x + x_{y0}))^{y_y}} K_{rp} K_{yt} \quad \text{Ekvation 6.2}$$

$$\sigma_z = \frac{a_z(x + x_{z0})}{(1 + b_z(x + x_{z0}))^{y_z}} K_{rp} \quad \text{Ekvation 6.3}$$

I dessa ekvationer är a , b och γ parametrar vars värde styrs av stabilitetsklassen, x_{y0} och x_{z0} är avstånden till så kallade virtuella källor. K_{rp} anger en korrigering för underlagets skrovlighet och K_{yt} anger den så kallade medelvärdesbildningstidens påverkan på den horisontella spridningen. För bebyggt område är både K_{rp} och K_{yt} lika med 1. Avstånden till de virtuella källorna beräknas med hjälp av ekvationer som finns presenterade i Fischer m.fl. (1997)

Källstyrkan (Q) styrs av de val och antaganden som analytikern måste göra då de dimensionerande scenarierna bestäms. Vilket eller vilka ämnen som ska analyseras är ett av de val som måste göras. Beroende på om utsläppet sker som vätskeutströmning eller som gasfasutströmning används olika ekvationer. Hur utsläppet sker från tanken har också betydelse, olika ekvationer används för att beräkna läckage genom hål och läckage genom kanaler eller rör. Vid riskanalyser antas ofta att det rör sig om ett utsläpp i vätskefas genom ett hål i tanken. Nedanstående ekvation finns presenterad som ekvation [5:12] i Fischer m.fl. (1997) och används för att beräkna källstyrkan vid ett sådant utsläpp.

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2(P_0 - P_a)}{\nu_f}} \quad \text{Ekvation 6.4}$$

- C_d = Flödeskoefficient som beror på hålets utseende
- A = Hålarea [m^2]
- P_0 = Trycket i tanken [Pa]
- P_a = Atmosfärstrycket [Pa]
- ν_f = Specifik volym i vätskefas [m^3/kg]

Källstyrkan styrs alltså av vilket ämne som studeras, trycket i tanken och hålarean. Osäkerhet i val av ämne har diskuterats i föregående stycke liksom hålstorlek. Atmosfärstrycket behandlas inte eftersom variationerna i denna variabel är små i jämförelse med trycket i tanken. Återstår gör alltså att behandla trycket i tanken. Detta är en variabel som styrs av tankens fyllnadsgrad. Resonemanget i föregående stycke om transporterad mängd gav att punktvärden kan användas för att representera denna variabel om de transporter som går tomma dras bort från det totala antalet transporter. Osäkerhet i variabeln källstyrka har därmed också avhandlats. Osäkerhet i variabeln stabilitetsklass uppstår till följd av osäkerhet i ett flertal variabler som tidigare diskuterats. Det finns två alternativa metoder för att hantera denna osäkerhet. Dels kan osäkerheten i de enskilda variabler som styr stabilitetsklassen (temperatur, vindhastighet med flera) behandlas separat. Eller så kan statistik från exempelvis SMHI användas till att ta fram frekvensdistributioner för möjliga stabilitetsklasser på den aktuella platsen. Används det första alternativet så kompliceras osäkerhetshandlingen. Används det andra alternativet så går analytikern miste om möjligheten att ta hänsyn till den eventuella kopplingen mellan olycksfrekvens och tidpunkt som diskuterades i föregående stycke. I denna rapport föreslås att det alternativ som utifrån den använda modellen underlättar osäkerhetshandlingen mest används.

6.2.3.2 Utsläpp av brännbara gaser

Ämnena i ADR klass 2 är som tidigare nämnts indelade i giftiga och brännbara gaser. Hur ett olycksscenario utvecklas vid utsläpp av en brännbar gas beror på hur läckaget sker samt om, och i så fall när, antändning sker. Sker utsläpp i gasfas med direkt antändning bildas en jetflamma. Antänds inte gasen direkt så bildas ett moln. Fördröjd antändning av gasmolnet

kan ske då koncentrationen ligger inom brännbarhetsområdet. Utsläpp i vätskefasen leder till samma scenarier med den skillnaden att trycket är högre och jetflamman följaktligen blir längre. Dessutom kan en pöl bildas och en pölbrand uppstå. Om en tank med en tryckkondenserad, brännbar gas, som exempelvis gasol, värms upp till en tillräckligt hög temperatur kan en så kallad BLEVE (Boiling Liquide Expanding Vapour Explosion) inträffa.

Två av de intervjuade angav att programmet GASOL används för att beräkna konsekvenserna av utsläpp av brännbara gaser. De andra två svarade att konsekvensberäkningar utförs med hjälp av handberäkningar.

6.2.3.3 Explosion

Vid beräkningar av tryckverkan från explosioner är det främst ADR-klass 1 som avses (eg. klass 1.1, massexplosiva varor). De fyra medverkande i intervjustudien har använt olika angreppssätt för att uppskatta konsekvenserna vid explosioner. En av de intervjuade använde inte något klass 1-scenario på grund av ett lågt antal klass 1-transporter på den studerade sträckan. De övriga tre svarade att konsekvenserna av en explosion uppskattas genom att använda punktvärden, presenterade av Fischer m.fl. (1997), för allvarliga respektive dödliga skador. Detta innebär att en absolut gräns används, exempelvis 60 meter. Detta angreppssätt medför att en fiktiv person som befinner sig närmare än 60 meter från en eventuell explosion antas omkomma. Inga beräkningar utförs. Ingen av de intervjuade tar någon hänsyn till hur stor del av klass 1-transporterna som utgörs av klass 1.1 produkter, det vill säga massexplosiva ämnen. Det är endast denna delklass som kan medföra konsekvenser för människor som befinner sig på ett större avstånd än 10 meter från olyckan. Genom att bortse från detta faktum överskattas de risker som klass 1-transporterna medför i analysresultaten.

Förslaget som ges är att ta reda på hur stor del av den transporterade mängden klass 1-produkter som utgörs av massexplosiva ämnen på den aktuella sträckan. Finns inget underlag så kan en uppskattning av delmängden göras utifrån exempelvis nationella data.

6.2.3.4 Pölbrand

Utsläpp av ämnen som tillhör klass 3 ger upphov till likartade scenarion och dessa representeras ofta i riskanalyser med ett scenario som kallas pölbrand. Klass 3 är den dominerande ADR-klassen på det svenska vägnätet. Enligt SRV (1998) utgör klass 3 ca 80 % av den transporterade mängden farligt gods. Av de fyra intervjuade har samtliga använt pölbrand som dimensionerande scenario för beräkna konsekvenserna av en klass 3-olycka. De har dessutom alla angett att ekvationerna som de använder är hämtade från Fischer m.fl. (1997).

Nedan beskrivs beräkningsgången då en pöl med bensin antänds med strålning mot omgivningen som följd. Inom parentes anges ekvationens beteckning i litteraturen.

Strålningen vid olika utsläppsmängder beror bl.a. på flammhöjden som beräknas med nedanstående ekvation (11:4).

$$h_f = d_p * 42 \left[\frac{b'}{\rho \sqrt{g * d_p}} \right]^{0.61} \quad \text{Ekvation 6.5}$$

- b' = förbränningshastigheten per ytenhet [$\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$]
- ρ = luftens densitet [kg m^{-3}]
- g = tyngdaccelerationen [ms^{-2}]
- d_p = pöldiameter [m^2]

Ett förslag är att använda vägbreddens värde som mått på pöldiameter eftersom flamhöjden reduceras väsentligt om den brännbara vätskan rinner utanför den hårdgjorda ytan (Andersson 2003).

Strålningen per ytenhet flamma ges av ekvation 6.5 (11:7):

$$P = \frac{0,35 \times b' \times h_c}{1 + 4 \frac{h_f}{d_f}} \quad \text{Ekvation 6.6}$$

- h_c = energivärde [J kg^{-1}]
- d_f = flammans diameter (antas vara samma som pölens diameter) [m^2]

För att beräkna strålning per ytenhet på ett givet avstånd från flammen används ekvation 6.6 (11:3).

$$P_{12} = P_1 \times \tau_a \times F_{12} \quad \text{Ekvation 6.7}$$

- P_{12} = strålningen mot beräkningsytan [Wm^{-2}]
 - P_1 = strålningen från källan [Wm^{-2}]
 - τ_a = transmissionsförmågan i luft
 - F_{12} = F_{max} (Vinkelkoefficienten mellan källa och mottagare)
- (P i ekvation 6.5 representeras av P_1 i ekvation 6.6.)

Transmissionsförmågan är en faktor som kompenserar för den strålning som absorberas av luften mellan källan och beräkningsytan, medan vinkelkoefficienten beskriver hur stor del av den utsända strålningen som träffar beräkningsytan. Denna variabel styrs av lufttemperaturen. Vinkelkoefficienten är en rent geometrisk faktor som bestäms av den strålande källans ytkonfiguration. Vid en pölbrand antas flammen ha formen av en cylinder och ytan antas vara vertikal.

Samtliga medverkande i intervjustudien har representerat variabeln temperatur med ett punktvärde. Tre olika temperaturer, -5, 5 och 15°C, har varierats för att kontrollera hur strålningen mot beräkningsytan påverkas av variation i temperatur. Flammans diameter sätts till 10 meter och avståndet mellan flammen och beräkningsytan sätts till 50 meter. Beräkningarna, som finns presenterade i bilaga A, visar att temperaturvariationerna endast påverkar resultatet marginellt. Vid temperaturen -5°C blir P_{12} lika med 1,99 kW/m², vid temperaturen 5°C blir P_{12} lika med 1,87 kW/m² och vid temperaturen 15°C blir P_{12} lika med 1,82 kW/m². Det är därför rimligt att vid dessa beräkningar representera variabeln temperatur med ett punktvärde.

6.2.3.5 Medicinska effekter

Osäkerhetshantering som rör beräkning och kvantifiering av ett antal olycksscenariers konsekvenser behandlades i föregående stycke. I detta stycke är det osäkerhet vid omvandling av olika konsekvensers kvantifierade värden till skadeeffekt på människor som behandlas. Denna omvandling utförs genom att ta reda på hur beräknade tryck, koncentrationer eller strålningsintensiteter påverkar människor. Detta görs genom att använda gränsvärden som exempelvis IDLH eller LC50. Osäkerheter som tillförs analysen i detta moment beror bland annat på att människor inte är lika känsliga för samma exponering. Två olika människor kan exempelvis av samma dos ammoniak få skador av olika allvarlighetsgrad.

De medicinska effekter som behandlas i detta stycke följer de scenarier som behandlats tidigare, det vill säga tryckskador till följd av explosion av massexplosiva ämnen (klass 1.1), förgiftningsskador till följd av exponering för giftiga gaser (klass 2) samt strålningsskador till följd av brand i brännbara vätskor (klass 3).

6.2.3.5.1 Tryckskador

Det är endast tryckskador som uppkommer till följd av explosioner av massexplosiva ämnen (klass 1.1) som behandlas i detta stycke. Skador till följd av sådana explosioner kan indelas i direkta och indirekta. Direkta skador innebär att tryckvågen i sig orsakar skadan medan indirekta skador är sådana som uppkommer till följd av någon annan effekt av explosionen, exempelvis en kollapsad byggnad (Fischer m.fl., 1997). Vid individriskberäkningar är det ofta risken för en oskyddad fiktiv person, på en specifik plats utomhus, som beräknas. Detta innebär att det endast är direkta skador som beaktas.

Fischer m. fl. (1997) anger att en explosion med 15 ton massexplosiva ämnen leder till 180 kPa övertryck på 60 meters avstånd från explosionen. 180 kPa övertryck anges som gräns för dödliga skador (1 % döda). Två av de tre intervjuade (som använt typscenariot explosion av massexplosiva ämnen) har använt sig av detta resonemang. Det vill säga att de antagit att gränsen för dödliga skador går vid 60 meter. En av de intervjuade har använt en beräkningsmodell presenterad av Carlsson (1998) för beräkning av tryckskador. Denna modell beskriver dock en annan typ av scenario (gasmolnsexplosion) och är därför inte relevant i sammanhanget.

Att anta att en människa som utsätts för ett övertryck på 180 kPa omkommer, utifrån ett gränsvärde som representerar 1 % dödliga skador i en population, är ett väldigt konservativt antagande. Som tidigare nämnts innebär ett sådant angreppssätt att den beräknade risken inte stämmer överens med den verkliga. Angreppssättet är därför inte att rekommendera. I tabellen nedan visas tabellen ifrån vilken gränsvärdet på 180 kPa är hämtat.

Dödliga skador (andel drabbade i %)	Tryck (kPa)
1	180
10	210
50	260
99	350

Tabell 6.1

Andel som erhåller dödliga skador vid olika tryckpåverkan.

Källa: Fischer m.fl., 1997

Förslagsvis används detta tillgängliga material. Osäkerheten kan då representeras med hjälp av en sannolikhetsfördelning, är trycket 180 kPa så bör detta representeras av sannolikheten 0,01 och så vidare.

6.2.3.5.2 Toxikologiska effekter

Vid bedömning av toxikologisk effekt på människor - vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods - är det endast akuta skadeeffekter som behandlas. Akuta skadeeffekter är sådana som uppkommer till följd av en kortare tids exponering. Det är ett flertal faktorer som styr vilken skadeeffekt som exponering för ett toxiskt ämne kan leda till, dessa faktorer är bland andra ämnets giftighet och koncentration samt exponeringstiden (Fischer m.fl., 1997). Då utgångspunkten är att beräkna skadeeffekten på ett bestämt avstånd från ett utsläpp så är det flera moment i bedömningen som är förknippade med osäkerhet, exempelvis bedömning av ämnets giftighet och exponeringstiden.

I intervjustudien svarade en av de medverkande att metoden presenterad av CPR (1992) används för att bedöma skadeeffekter. Övriga tre svarade att probitfunktionen presenterad som ekvation [9:3] i Fischer m.fl. (1997) används. Den senare metoden behandlas här eftersom den är mer frekvent förekommande.

$$Pr = \alpha + \beta_2 \ln(C^n t) \quad \text{Ekvation 6.8}$$

Pr är ett mått på toxikologisk effekt. Ämnets giftighet representeras av konstanterna α och β_2 samt exponenten n . C anger ämnets koncentration och t anger exponeringstiden.

Toxikologiska effekter till följd av exponering för gaser och aerosoler uttrycks som en funktion av ett ämnes koncentration i luft, milligram/kilogram eller ppm (parts per million). LC₅₀ (Lethal Concentration 50 %) är ett vanligt förekommande värde i riskanalyser och innebär den koncentration i luft som medför att hälften av en exponerad population dör (Fischer m.fl., 1997). Av de tre som i intervjustudien angivit att probitfunktionen används har samtliga svarat att LC₅₀ används som gränsvärde.

Förutom LC₅₀ finns det ett flertal andra gränsvärden som används i riskanalyser, några av dessa presenteras i bilaga F. IDLH (Immediate Dangerous to Life and Health) är ett gränsvärde som innebär; den maximala koncentration för vilken en person inom 30 minuter kan undkomma utan att erhålla irreversibla symtom och/eller livshotande skador (handbok till SRV:s handbok). Beroende på vilka informationskällor som används kan alltså olika gränsvärden erhållas. Dessutom kan samma typ av gränsvärden ha olika värden beroende på vilken informationskälla som studeras. I RIB anges att gränsvärdet IDLH för klor är 10 ppm medan Braker m.fl. (1970) anger att 30 – 60 minuters exponering för 40 – 60 ppm är ”highly dangerous”. För svaveldioxid anger RIB att IDLH är 100 ppm medan Braker m.fl. anger att exponering för 150 ppm endast kan uthärdas ett fåtal minuter. För ammoniak är IDLH enligt RIB 300 ppm medan samma koncentration enligt Braker m.fl. endast ger upphov till irritation i ögon, hals och näsa.

Det kan alltså vara svårt att avgöra vilka värden som ska användas då skadeeffekter ska bedömas. Detta är ett problem eftersom olika val av gränsvärde i olika rapporter kan ge skiftande resultat även om koncentrationen som analyseras är densamma. Anledningen till att publicerade uppgifter om värden på olika ämnens toxicitet varierar är bland annat att humanstudier inte kan användas för att ta fram data. Vanligt är att toxikologiska studier på

djur ligger till grund för framtagande av ämnens medicinska effekt på människor. Eftersom det inte finns någon djurart som alltid reagerar på samma sätt som människor vid exponering för olika toxiska substanser måste resultat från djurstudier tolkas för att kunna användas i riskanalyser. Metoderna för att omvandla toxisk effekt från djur till människa präglas ofta av konservatism eftersom det inte är känt hur sambandet mellan effekt på djur och effekt på människa ser ut.

Den dos som tas upp av en exponerad människa är förutom en funktion av koncentrationen i luften även en funktion av exponeringstiden. Används LC_{50} måste alltså även en exponeringstid anges. Av de tre intervjuade som använt probitfunktionen har två använt 15 minuter som punktvärde och en 10 minuter som punktvärde för att representera exponeringstid. Även exponeringsväg och fysisk aktivitet måste anges vid beräkningarna eftersom den toxikologiska effekten också beror på om exponering skett genom hud, ögon eller genom inhalation samt om den fysiska aktiviteten varit låg eller hög. De tre som använt probitfunktionen har samtliga angivit att inhalation och låg aktivitet använts för att representera exponeringsväg och fysisk aktivitet.

Tiden som en människa exponeras för en toxisk substans vid ett utsläpp beror på var denne befinner sig. Ett antagande som måste göras vid individriskberäkningar är hur stor del av dygnet som den fiktiva personen kan väntas finna sig utomhus. Detta antagande grundas på att människor som befinner sig inomhus inte exponeras. Befinner sig människan utomhus så styrs exponeringstiden av hennes möjlighet att dels uppfatta att hon är exponerad och dels av hennes möjligheter att sätta sig i skydd.

Osäkerhetshandlingen i denna del av analysen är alltså väldigt komplex, många osäkra antaganden måste göras och de framtagna gränsvärdena är dessutom förknippade med stor osäkerhet. Det är därför väldigt viktigt att alla antaganden som görs och alla osäkra indata som används presenteras så att det på ett tydligt sätt framgår vad resultaten baseras på. Eftersom denna del av analysen är förknippad med särskilt stor osäkerhet kan det dessutom vara lämpligt att presentera den separat. På så vis kan jämförelser med andra analyser göras utan att osäkerheten i denna del behöver beaktas.

Enligt Morgan och Henrion (1990) bör osäkerhet som uppstår till följd av oenighet hanteras genom att använda de olika tillgängliga källorna och med hjälp av dessa göra en bayesiansk uppdatering. Riskanalytikern får då göra den subjektiva bedömningen om vilka sannolikheter som ska tillskrivas de olika kvantiteterna. Det värde som uppdateringen resulterar i representerar på så vis analytikerns bästa möjliga bedömning, baserad på de olika källornas värden. Om de olika värdena varierar kraftigt är det enligt Morgan och Henrion viktigt att utföra en känslighetsanalys för att ta reda på hur denna variabel påverkar resultatet. Påverkas resultatet signifikant kan det vara bättre att presentera ett resultat för varje gränsvärde.

För att resultat från olika riskanalyser ska kunna jämföras är det viktigt att samma gränsvärden används. Två identiska koncentrationsberäkningar i två olika riskanalyser ska inte ge olika resultat vid konsekvensberäkningen beroende på att olika gränsvärden använts eller olika informationskällor studerats. För att undvika detta problem skulle en standard för vilka gränsvärden som ska användas vid riskanalyser kunna tas fram. På så vis skulle denna osäkerhet delvis kunna reduceras. En metod som kan användas för att ta fram en sådan standard är bayesiansk uppdatering så som beskrivits i föregående stycke.

Då antagande om exponeringstid och fysisk aktivitet ska göras är det viktigt att analytikern tydligt presenterar vad antagandet bygger på. Vid exponering för en toxisk substans är det ett flertal faktorer som måste beaktas. Den toxiska substansens förnimbarhetsgräns är en av dessa. Är förnimbarhetsgränsen låg (exempelvis en toxisk substans med en väldigt skarp lukt) kan en exponerad människa upptäcka substansen tidigt och om möjligt sätta sig i säkerhet. Är förnimbarhetsgränsen hög är det inte säkert att en exponerad människa hinner uppfatta att hon är exponerad förr än det är för sent. Det är rimligt att anta att en människas fysiska aktivitet kommer att öka om hon försöker fly eller känner panikkänslor, men om hon istället svimmar kommer den fysiska aktiviteten att minska. Det går därför inte att säga något generellt om en människas fysiska aktivitet vid exponering för en toxisk substans.

6.2.3.5.3 Strålningspåverkan

Vid bedömning av vilka skador som kan uppkomma till följd av strålning är det den uppskattade strålningsintensiteten från ekvation 6.6 som jämförs med något gränsvärde. Skador till följd av värmestrålning delas in i första, andra och tredje gradens brännskador. Sannolikheten för att en person ska avlida till följd av strålningskadorna beror på följande parametrar:

- Graden av brännskada
- Hur stor del av huden som blivit utsatt
- Personens ålder

Vilken grad av brännskada som en person erhåller vid strålningspåverkan beror i sin tur på strålningsintensiteten och tiden som personen utsätts för strålningen. Det har visat sig att just exponeringstiden är en viktig parameter. Om huden är skyddad eller ej påverkar också vilka skador som uppstår. Det är endast oskyddad hud som skadas vid kortvarig bestrålning. Även om en människa är påklädd så kan 20 % av huden antas vara oskyddad. Enligt Fischer m.fl. (1997) kan 20-procentiga brännskador antas leda till dödliga skador för 15 % av en population.

Gränsvärden som används vid riskberäkningar har dels tagits fram med hjälp av beräkningsmodeller som bestämmer värmefördelningen i huden och på så vis skadorna vid bestrålning. Experimentella data från försök med grisar har också använts för att ta fram gränsvärden. Enligt Forsén (2002) är ett lämpligt gränsvärde för dödliga skador vid kortvarig exponering 25 kW/m^2 . Vid utrymningsberäkningar används 10 kW/m^2 som gräns för vad en människa antas tåla under en kortare tids exponering (Bengtsson m.fl., 2002).

De intervjuade har använt olika gränsvärden och exponeringstider vid beräkning av strålningspåverkan. Två av de intervjuade har använt strålningsintensiteten 15 kW/m^2 och exponeringstiden 30 sekunder, en har använt strålningsintensiteten 15 kW/m^2 och exponeringstiden 10 sekunder och en har använt strålningsintensiteten 25 kW/m^2 och exponeringstiden 10 sekunder. Samtliga av de intervjuade har tagit fram strålningsintensiteter utifrån antagandet att det är oskyddad hud som exponeras.

Variationer i gränsvärden och exponeringstider leder till att pölbränder med samma strålningsintensitet ger olika skadeutfall beroende på vem som utför riskanalysen. Eftersom underlaget inte är entydigt så kan en bayesiansk uppdatering utföras. Värdet som uppdateringen resulterar i representerar på så vis analytikerns bästa möjliga bedömning, baserad på de olika källornas värden. Om de olika värdena varierar kraftigt är det enligt Morgan och Henrion (1990) viktigt att utföra en känslighetsanalys för att ta reda på hur

variabeln påverkar resultatet. Påverkas resultatet signifikant är det bättre att presentera ett resultat för respektive gränsvärde. Det är önskvärt att samma gränsvärden används i alla riskanalyser eftersom resultaten annars blir svåra att jämföra.

6.2.3.5.4 Gemensamma osäkerhetsfaktorer

Förutom de osäkerheter som är specifika för de olika scenarierna finns det antal osäkerhetskällor som är gemensamma för samtliga scenarier, dessa behandlas i detta stycke.

För att en människa ska påverkas av ett utsläpp av farligt gods krävs det i samtliga ovanstående typscenarier att denne befinner sig utomhus. Detta är ett antagande som inte är helt korrekt eftersom byggnader ofta är mer tryckkänsliga än människokroppen. Detta innebär att raserade byggnadsdelar kan komma att skada människor som befinner sig på större avstånd än det som analysen visar. Detta är något som ofta bortses ifrån vid riskanalyser.

Vid individriskberäkningar måste analytikern göra ett antagande om hur stor del av dygnet som en fiktiv människa befinner sig utomhus inom det exponerade området. Vid kommunala riskanalyser är detta värde särskilt osäkert eftersom ett större område med flera olika typer av bebyggelse studeras. Vid enskilda riskanalyser finns ett säkrare underlag att basera detta antagande på. Exempelvis vet analytikern exakt vilka olika typer av verksamheter som finns i området. Detta är ytterligare en anledning till tveksamheten i att använda QRA som metod vid kommunala riskanalyser.

6.2.4 Variabelosäkerheter i riskberäkningen

I den avslutande delen av analysen ska den totala risken beräknas, det vill säga en sammanvägning av de olika scenariernas sannolikheter och konsekvenser. Alla osäkerheter som tillkommit under de tidigare momenten i riskanalysen fortplantas till denna del och resultaten kommer att representeras olika beroende på hur variablerna representerats i analysen. Den totala osäkerheten i resultatet kommer alltså att ges olika uttryck beroende på hur olika osäkra kvantiteter representerats i analysen.

6.2.4.1 Individrisk

Individrisk är en riskberäkningsmetod som vanligen används för att beräkna sannolikheten för en individ att omkomma per år (Davidsson m.fl., 1997). Då individrisken ska beräknas utmed en vägsträcka kan nedanstående ekvation användas.

$$IR = f * \frac{2 \times \sqrt{r^2 - a^2}}{L} * \frac{15}{360} \quad \text{Ekvation 6.9}$$

f är frekvensen för respektive scenario.

r är riskavståndet.

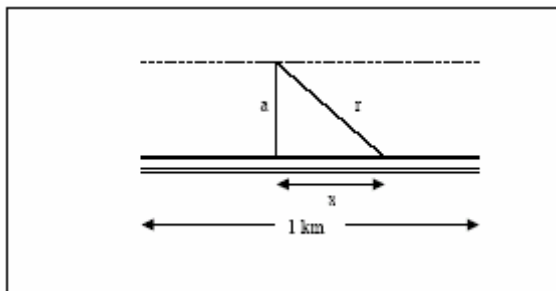
a är avståndet från utsläppskällan.

L är sträckan för vilken frekvensen beräknats, exempelvis 1000 meter.

Kvoten $\frac{15}{360}$ representerar en spridningsvinkel på 15° och kompenserar för att spridningen endast sker i en riktning. För exempelvis explosion och pölbrand sker påverkan i samtliga riktningar och individrisken ges i dessa fall av nedanstående ekvation.

$$IR = f * \frac{\sqrt{r^2 - a^2}}{L} \quad \text{Ekvation 6.10}$$

Om f beräknas per kilometer kommer en person som befinner sig på avståndet a från väggkanten inte att påverkas av ett utsläpp längs hela denna kilometer.



$2 * \sqrt{r^2 - a^2}$ representerar den sträcka som påverkar en individ på avståndet a från transportleden.

6.2.4.2 Samhällsrisk

Samhällsrisk kallas även för kollektiv risk och kan definieras som sambandet mellan frekvensen av en aktivitets olyckor och de konsekvenser som uppstår. Begreppet inkluderar risker för alla personer som utsätts för en risk även om detta bara sker vid enstaka tillfällen. Vanligtvis avses risk för omkomna under ett år. Endast en av de tre intervjuade angav att samhällsrisk används vid riskberäkningen.

6.2.5 Resultatvärdering

Då risken beräknats återstår det att värdera resultatet, alltså att avgöra om den beräknade risken är tolerabel eller ej. Detta kan göras genom att jämföra den beräknade risken med ett värde som samhället anser vara tolerabelt.

6.2.5.1 Riskkriterier

Vid kvantitativa, probabilistiska riskanalyser tas hänsyn både till sannolikheten för att en oönskad händelse ska inträffa, samt de negativa konsekvenserna av den. Därför är probabilistiska riskkriterier numeriska värden vilka representerar sannolikheten för en händelse med dödlig utgång. Vid riskvärderingen jämförs den beräknade risken med uppsatta riskkriterier för att ta reda på om risken kan anses vara tolerabel eller ej. Riskkriterier kan användas till att tolka numeriska riskuppskattningar genom att omvandla värden så som 10^{-2} eller 10^{-7} till värdebedömningar som exempelvis "hög risk" eller "låg risk" (Davidsson m.fl., 1997). Individriskkriteriet kan utgöras av ett värde, exempelvis 10^{-6} per år. Detta innebär en riskkälla som ger upphov till en risk vilken leder till att en individ dör med frekvensen en

gång på en miljon år. Om det tolerabla värdet (riskkriteriet) är 10^{-6} innebär detta alltså att en sådan händelse inte får ske oftare än en gång på 1 miljon år för att risken ska anses vara tolerabel.

Samhällsriskkriteriet utgörs av en F/N-kurva med en lutning som speglar den syn som exempelvis samhället har på vilka risker som anses tolerabla. En brant lutning innebär stor aversion mot sällsynta händelser med allvarliga konsekvenser medan en flack lutning innebär stor aversion mot frekventa händelser med mindre konsekvenser (Kylefors 2004)

De riskkriterier som används vid riskanalyser är olika från land till land. Används endast en övre gräns som skiljer tolerabla från icketolerabla risker, så representerar denna gräns inte de osäkerheter som bedömningen av vad som kan anses vara tolerabelt innebär. Strävar ett samhälle efter en sådan gräns måste denna därför sättas med försiktighet.

I vissa länder används två kriterier, ett övre och ett undre. Ligger analysresultatets värde ovanför det övre riskkriteriet så anses risken helt oacceptabel, oavsett vilken nytta som verksamheten medför. Ligger värdet mellan det övre och det undre kriteriet så bör riskreducerande åtgärder vidtas, om dessa inte för med sig kostnader som är relativt höga i relation till nyttan. Ligger värdet under det lägre kriteriet behöver inga åtgärder vidtas. För att kunna sätta upp sådana kriterier krävs det först att nyttan av transporterna av farligt gods i Sverige värderas.

I Holland har individriskkriteriet satts till 10^{-6} . Värdet valdes utifrån ett ganska vagt resonemang. Man använde den genomsnittliga totala dödsfallsfrekvensen (alla orsaker) för den del av befolkningen som löper minst risk för att dö, det vill säga personer som är mellan 10 och 15 år gamla. Denna frekvens är ca 10^{-4} . Man tog sedan 1 % av denna frekvens och fick på så vis fram värdet 10^{-6} (Kylefors 2004)

Riskkriterier är en parameter som är osäker på så vis att det är väldigt svårt att uppskatta variabelns optimala värde. Enligt Morgan och Henrion (1990) ska de behandlas som värdeparametrar om det är beslutfattarens referenser som kvantiteten representerar. Är det någon annan individs eller grupps referens som kvantiteten representerar så bör denna behandlas som en empirisk kvantitet. Riskkriterier ska enligt detta resonemang behandlas som en empirisk kvantitet om det är samhällets norm som används. I Sverige finns enligt Abrahamsson (2002) inget riskkriterium utfärdat på nationell nivå. Lokala myndigheter har dock börjat använda sig av egna kriterier, exempelvis vid planändringen. Eftersom inga nationella standarder existerar för hur riskanalyser ska se ut, eller vilka metoder och ingångsvärden som ska användas så uppstår det problem. För att resultatet av en riskanalys ska vara av användbart värde krävs det att det finns något att sätta det i relation till. Detta kräver att nationella riskkriterier tas fram vilka speglar samhällets syn på nyttan som transporter av farligt gods genererar i relation till risken som de utgör.

6.3 Slutsatser

En av de viktigaste slutsatserna som dras i detta kapitel är att QRA inte är en lämplig metod att använda vid kommunala riskanalyser. Flera av de ingående variablerna i en kommunal riskanalys är av sådan karaktär att osäkerheten endast går att hantera på ett tillfredsställande sätt om dess uppskattade värde kan baseras på något så när kända förhållanden. Detta kräver exempelvis att analytikern har en specifik plats att utgå ifrån då risken beräknas. Längs olika

transportleder för farligt gods kan närområdet kring vägen ha vitt skilda karaktäristika. Olika typer av bebyggelse innebär också att det inom vissa områden kan vara en betydligt större folktäthet än inom andra områden. Dessutom kan transporterade mängder av farligt gods och typ av transporterat ämne skilja sig betydligt. Allt detta innebär att riskerna längs vägsträckorna skiljer sig allt för mycket åt för att generella skyddsavstånd ska kunna tas fram med hjälp av en QRA. Ett alternativ kan vara att tillämpa utredningsavstånd som baseras på "värsta troliga" scenarier längs transportlederna. Enskilda bygg- eller planprojekt kan då bedömas från fall till fall. Förutsättningar ges på så vis att öka säkerheten i analysresultatet eftersom analytikern tillåts basera viktiga antaganden på platsspecifika förhållanden. Detta förslag gavs också till Länsstyrelsen i Stockholms län vid revideringen av deras rapport "Riskhänsyn vid ny bebyggelse – intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer" (Olsson och Wasting m.fl., 2000) hösten 2004.

En annan slutsats som dras är att resultatet med fördel delas upp så att den del av konsekvensberäkningen som utgörs av bedömning av olycksscenariers medicinska effekt på människor skiljs från den övriga analysen. Anledningen till detta är att denna del av analysen är förknippad med särskilt stora osäkerheter. Detta beror bland annat på osäkerhet i framtagandet av gränsvärden, oenighet om vilka gränsvärden som ska användas, svårigheter att bedöma exponeringstid, med mera. Genom att dela upp analysresultatet och presentera den medicinska effektbedömningen separat kan jämförelser med andra analyser göras utan att osäkerheten i denna del behöver beaktas.

7. Osäkerheter i metoder och modeller

I följande kapitel behandlas övergripande de osäkerheter som tillförs analysen till följd av osäkerheter i metoder och modeller som används i analyskedet. För att undersöka hur mycket resultat från beräkningsprogram kan skilja sig från uppmätta koncentrationer har fullskaleförsök med ammoniak utförts. Resultaten från dessa försök jämförs med resultat från den databaserade spridningsmodellen Bfk. För kontroll har även en koncentrationsberäkning gjorts för hand.

Kapitlet syftar till att visa vilka osäkerheter som är förknippade med beräkningsmetoder, dataprogram och andra verktyg som används vid kvantitativa probabilistiska riskanalyser som behandlar problematiken med farligt gods. Målet är dessutom att ge riskanalytikern förslag på hur osäkerheter som är förknippade med metoder och modeller bör hanteras i sådana riskanalyser.

7.1 Studerade metoder och modeller

Vid riskanalyser i samband med transport av farlig gods är det, som tidigare nämnts, typiskt fyra steg som går igenom; riskidentifiering, frekvensberäkning, konsekvensbedömning samt riskberäkning. I dessa steg används olika metoder och modeller för att beräkna de resultat som krävs för att gå vidare i analysen. Vid frekvensberäkningen handlar det exempelvis om modeller för att beräkna frekvensen för olika olyckstyper för specifika transportsträckor under en bestämd tidsperiod. Vid konsekvensbedömningen används ett flertal olika metoder och modeller för att beräkna bland annat spridning av giftiga gaser och strålning från pölbränder. De ingående variablerna i några av dessa modeller har behandlats i föregående kapitel. I detta kapitel diskuteras istället osäkerheter som modellerna eller metoderna bidrar till. Enligt Abrahamsson (2002) har det i ett flertal utvärderingsstudier av tillförlitligheten hos spridningsmodellens förutsägelser, visats på en markant brist i överensstämmelse mellan observerade och kalkylerade koncentrationer.

Vid intervjustudien framkom att tre av de fyra medverkande använder sig av programmet Bfk för att utföra spridningsberäkningar i riskanalyser. Bfk är en beräkningsmodell som ingår i RIB (Integrerat beslutsstöd för skydd mot olyckor, SRV:s programvara) Programmet simulerar kemikalieolyckor (och kemikalieangrepp) och beskriver hur gasmoln sprider sig i atmosfären, givet de indata som användaren matar in. Osäkerheter i indata till denna modell har behandlats i kapitel 6.

För att validera att beräkningarna i Bfk är förknippade med osäkerhet samt för att undersöka hur stora resultatvariationer som kan uppstå då beräkningsmodeller används, har ett antal empiriska försök genomförts. Resultaten från spridningsförsöken har jämförts med beräkningsresultat från Bfk. De variationer som redovisas gäller endast för beräkningsprogrammet Bfk och jämförelsen ligger till grund för en diskussion för hur modellosäkerheter kan hanteras.

7.2 Utsläppsförsök och beräkningar

7.2.1 Mål och syfte

Utsläppsförsöken med ammoniak genomfördes på Räddningsverkets övningsfält i Revinge 2004-06-30. Målet var att avgöra hur ett ammoniakutsläpp uppför sig vid specifika yttre förutsättningar. Genom att mäta och dokumentera ammoniakkoncentrationen vid olika mätpunkter har resultatet kunnat jämföras med beräkningar utförda i Bfk. För ytterligare kontroll har även koncentrationen i position 1 i försök 1 beräknats med hjälp av en handberäkningsmetod som finns presenterad av Fischer m.fl. (1997). Syftet var att ta reda på hur mycket beräknade koncentrationer kan skilja sig från uppmätta.

7.2.2 Försöken

X-, Y- och Z-koordinater beskriver mätpunkternas position och utsläppens spridning. X-led representerar spridningen i sidled. Y-led representerar längdriktningen, framåt från utsläppskällan och Z-led representerar spridningen i höjdlid.

Brandingenjörstudenterna Jimmie Ask och Veronika Ögren assisterade vid försöken. Berit Andersson och Sven Ingvar Granemark på avdelningen för Brandteknik på LTH, var observatörer. Dennis Göransson, kemilärare på Räddningsverkets Centrum för risk- och säkerhetsutbildning i Revinge, var säkerhetsansvarig vid försöken. Stefan Legnesjö från Scantec Lab AB samt Jesper Jensen från RAE-Systems Europe i Köpenhamn stod för mätutrustningen som användes vid försöken.

Väderförhållanden 2004-06-30 var klart till halvklart med vindhastigheten 6 meter per sekund och temperaturen 18°C.

7.2.2.1 Material

- En 50 liters och två 20 liters ammoniakflaskor
- Regulator med tryckmätare och två löstagbara munstycken med hålstorlekarna 2 respektive 5 millimeter
- Våg
- Vindmätare
- Termometer
- Två MultiRAE gasmonitorer som kombinerar en fotojoniserande detektor (PID) med en elektrokemisk detektor (LEL).
- Fyra AreaRAE monitorer, trådlösa gasdetektorer med PID och LEL, kopplade till en bärbar dator. Detektorerna registrerar kontinuerligt gaskoncentrationen i luften under försökets gång.
- Två MiniRAE PID-detektorer.
- En bärbar dator.

7.2.2.2 Försöksuppställning

Vid försöken var grunduppställningen av mätinstrumenten den som presenteras i bild 7.1. Källan är placerad i origo (X 0, Y 0, Z 1.7) i koordinatsystemet. Vid försök 3 och 4 byttes 50-litersflaskan mot 20-litersflaskor och källan placeras därför på 1.0 istället för 1.7 meters höjd. Vid försöken stod flaskan i ett vattenbad med utsläppet orienterat i vindriktningen. Vattenbadet användes för att motverka den adiabatiska nedkylningen som Bfk inte tar hänsyn till.

Vid försöken fallerade dataöverföringen från de automatiska koncentrationsmätarna (AreaRae) till datautrustningen. Därför saknas data från försök 1, 2 och 3 för position 4 och 6 samt data från försök 1 och 2 för position 3.

Position 1 (X 0, Y 5, Z 1.7)

MiniRae, manuell avläsning.

Position 2 (X -5, Y 25, Z 1)

AreaRae, automatisk avläsning.

Position 3 (X 5, Y 25, Z 1)

AreaRae, automatisk avläsning.

Position 4 (X -10, Y 50, Z 1)

AreaRae, automatisk avläsning.

Position 5 (X 0, Y 50, Z 1)

MiniRae, manuell avläsning. (Endast vid försök 3 och 4)

Position 6 (X 10, Y 50, Z 1)

AreaRae, automatisk avläsning.

Position 7 (X -5, Y 75, Z 1)

MultiRAE, manuell avläsning. (Inte vid försök 4)

Position 8 (X 5, Y 75, Z 1)

MultiRAE, manuell avläsning.

Position 9 (X 0, Y 100, Z 1)

MiniRae, manuell avläsning. (Endast vid försök 1)



Bild 7.1

Från vänster mätinstrumenten AreaRae, MiniRae och MultiRae

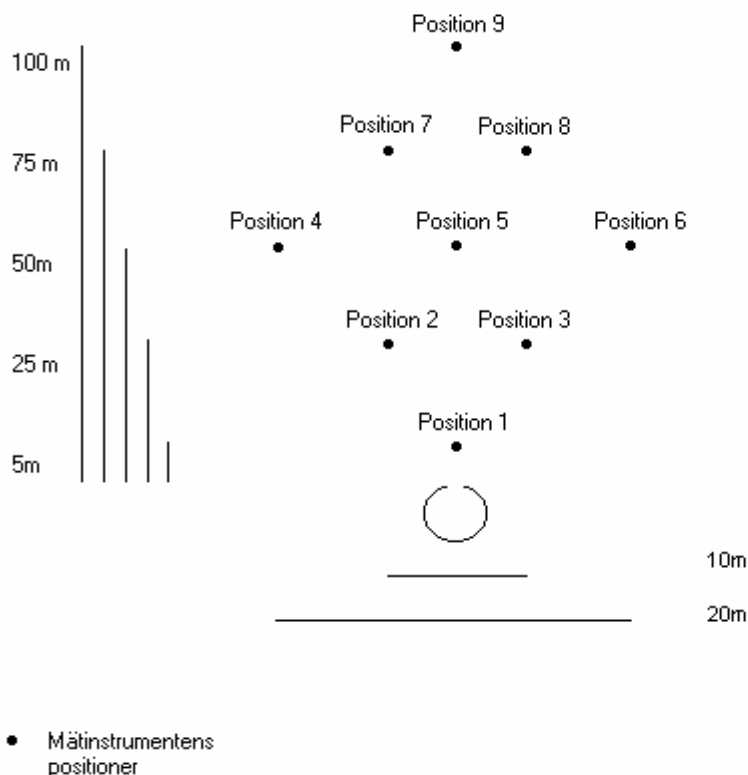


Bild 7.2 Försöksupställning

7.2.2.3 Försök 1

En ammoniakflaska med volymen 50 liter monterades med regulator på vågen med en öppning på två millimeter orienterad i vindriktningen. Försöket startades då ventilen på flaskan öppnades. Initialvärden på tryck, temperatur och vikt registrerades. Källstyrkan kunde senare beräknas med hjälp av de värden som gavs då massförlust, tryck och temperatur lästes av.

Försöket pågick under 12 minuter, vid tiden noll öppnades ventilen och koncentrationerna registrerades. Tryck, temperatur och vikt lästes av kontinuerligt. Koncentrationen vid de olika positionerna lästes av var femtonde sekund under de fyra första minuterna. Under de sex följande minuterna lästes koncentrationerna av var trettionde sekund. De två sista minuterna lästes koncentrationerna av var sextionde sekund. Flaskventilen stängdes efter 10 minuter. Koncentrationer i de olika mätpunkterna fortsatte att registreras under ytterligare två minuter för att fastställa utsläppets förflyttning. Fullständiga försöksresultat presenteras i bilaga B. Nedan presenteras de uppmätta koncentrationerna i de olika mätpunkterna.

Position	Uppmätt koncentration (ppm)
1	Ingen mätning
2	8,7
3	Ingen mätning
4	Ingen mätning
5	2,2
6	Ingen mätning
7	0
8	0
9	0

Tabell 7.1 Uppmätta koncentrationer vid försök 1

7.2.2.4 Försök 2

Vid detta försök rådde samma förutsättningar som vid försök 1, med skillnaden att detektorn i mätpunkt 9 kopplades bort. Detta gjordes eftersom inga koncentrationer uppmättes i denna mätpunkt, och inte heller i position 7 eller 8, vid försök 1. Eftersom samma flaska användes var initialtrycket 2,0 bar lägre och vikten 1,6 kg mindre i detta försök än vid försök 1. Nedan presenteras de uppmätta koncentrationerna i de olika mätpunkterna.

Position	Uppmätt koncentration (ppm)
1	15,3
2	8,2
3	Ingen mätning
4	Ingen mätning
5	0,7
6	Ingen mätning
7	0,4
8	0,4
9	Ingen mätning

Tabell 7.2 Uppmätta koncentrationer vid försök 2

7.2.2.5 Försök 3

Vid detta försök användes en 20 liters ammoniakflaska med en öppning på fem millimeter istället. Nedan presenteras de uppmätta koncentrationerna i de olika mätpunkterna.

Position	Uppmätt koncentration (ppm)
1	328
2	10,6
3	10,1
4	Ingen mätning
5	5,5
6	Ingen mätning
7	0,4
8	0,4
9	Ingen mätning

Tabell 7.3 Uppmätta koncentrationer vid försök 3

7.2.2.6 Försök 4

Vid detta försök rådde samma förutsättningar som vid försök 3, förutom att flaskan orienterades med öppningen i riktning mot vindriktningen. Initialtrycket var 0,2 bar lägre och vikten var 3 kg mindre. Försök 4 utfördes för att kontrollera hur utsläppsriktningen styr spridningen och jämförelser görs därför inte mot Bfk. Det går dessutom inte att simulera utsläpp mot vindriktningen i programmet. Det som intressant är istället att jämföra hur koncentrationerna skiljer sig från försök 3. Nära utsläppskällan är skillnaden störst, 328 ppm i försök 3 och 53 ppm i försök 4, medan skillnaderna är små eller försumbara på längre avstånd. Nedan presenteras en jämförelse mellan uppmätta koncentrationer i försök 3 och 4.

Position	Uppmätt koncentration (ppm), försök 4	Uppmätt koncentration (ppm), försök 3
1	52,6	328
2	10,2	10,6
3	4,3	10,1
4	0	Ingen mätning
5	5,6	5,5
6	<0,1	Ingen mätning
7	Ingen mätning	0,4
8	0,4	0,4
9	Ingen mätning	Ingen mätning

Tabell 7.4 Jämförelse mellan uppmätta koncentrationer vid försök 3 och 4

7.2.4 Handberäkning

För att kontrollera koncentrationsberäkningarna som gjorts i Bfk har en koncentrationsberäkning utförts för försök 1 i mätpunkt 1. Beräkningsgången och ekvationerna som använts presenteras i bilaga D. Beräkningen ger källstyrkan 0,003 kg/s och koncentrationen 500 ppm.

7.2.5 Beräkningar i Bfk

Programmet Bfk har en rad begränsningar som gör att förenklingar måste göras då indata matas in. För det första tar programmet inte hänsyn till den adiabatiska nedkylningen som uppstår då gasen strömmar ut genom det artificiella läckaget på flaskan. Då gasen strömmar ut ur flaskan sjunker trycket, detta fortgår under hela förloppet.

I Bfk har ”brott på anslutningsrör” använts för att beskriva läckaget, rörlängden har satts till en meter och brottets diameter till 2 respektive 5 millimeter. Fullständiga beräkningsdata presenteras i bilaga A.

7.2.6 Jämförelse mellan försök och beräkningar

För att jämföra funktionen ”kontinuerligt utsläpp” i Bfk med utsläppsförsöken har intervall i försöken valts då koncentrationerna varit jämna. Intervallen är individuella från position till position och från försök till försök. Första tiden i intervallet är satt till den första tid då

mätaren inte visade 0 ppm. Intervallen sträcker över tiden till dess att koncentrationernas trendlinje avtar. Anledningen till att medelvärden presenteras är att koncentrationerna varierar väldigt kraftigt vid varje mättillfälle. Enskilda koncentrationsmätningar kan på grund av detta bli missvisande. Nedan presenteras en jämförelse mellan uppmätta och beräknade koncentrationer.

Försök 1

Position	Försök (ppm)	Bfk (ppm)
1	Ingen mätning	303
2	8,7	2
3	Ingen mätning	2
4	Ingen mätning	1
5	2,2	14
6	Ingen mätning	1
7	0	4
8	0	4
9	0	4

Försök 2

Position	Försök (ppm)	Bfk (ppm)
1	15,3	257
2	8,2	2
3	Ingen mätning	2
4	Ingen mätning	1
5	0,7	11
6	Ingen mätning	1
7	0,4	4
8	0,4	4
9	Ingen mätning	4

Försök 3

Position	Försök (ppm)	Bfk (ppm)
1	328	1200
2	10,6	13
3	10,1	13
4	Ingen mätning	6
5	5,5	93
6	Ingen mätning	6
7	0,4	31
8	0,4	31
9	Ingen mätning	27

Det är svårt att hitta en tydlig trend i skillnaderna mellan försök och beräkningar. Vid jämförelse mellan de intervall som analyserats vid mätningarna och beräknade värden i Bfk, kan dock visa generella skillnader konstateras. Jämförelsen mellan Bfk och försöken visar att programmet generellt överskattar koncentrationer på stora avstånd rakt framför utsläppet. I positionerna 4 till 9 överskattas koncentrationerna kraftigt vid beräkningarna i Bfk vid samtliga jämförelser. I mätpunkten 2 visar jämförelsen olika resultat beroende på vilket försök som studeras. Vid de två första försöken underskattar programmet koncentrationen medan resultaten är relativt lika vid försök 3. I mätpunkt 1 överskattas koncentrationen vid de båda försök som mätdata finns ifrån, skillnaderna mellan försöken är dock stora. Vid försök 2 är den beräknade koncentrationen ca 15 gånger högre än den uppmätta, medan den beräknade koncentrationen vid försök 3 är knappt 4 gånger högre än den uppmätta. Det ska nämnas att momentana koncentrationer uppmättes som var likvärdiga med de beräknade i mätpunkt 1, både vid försök 2 och 3. Dessa momentana toppar återkom dock endast ett par gånger per försök och varade då endast en eller två sekunder i taget.

Handberäkningen visar att koncentrationen i mätpunkt 1 vid försök 1 är 500 ppm medan samma beräkning i Bfk ger koncentrationen 300 ppm. Detta kan förklaras med att handberäkningsmetoden som används grundas på antagandet att utströmningen är adiabatisk.

7.2.7 Resultat

Eftersom koncentrationerna i mätpunkt 1 vid försöken fluktuerade kraftigt är det svårt att beräkna ett medelvärde i denna punkt och det är därför också svårt att dra någon egentlig

slutsats utifrån jämförelsen i denna punkt. En slutsats som kan dras efter att ha jämfört beräknade och uppmätta koncentrationer är att Bfk tycks överskatta koncentrationer då avståndet från källan överstiger 50 meter. Denna osäkerhet i modellen ska användaren vara medveten om då resultatet används. Resultatet av en riskanalys kan på grund av denna osäkerhet överskatta den verkliga risknivån markant. Analytikern bör därför undersöka hur analysresultatet påverkas genom att variera den beräknade koncentrationen. Med hjälp av känslighetsanalys kan de beräknade koncentrationerna varieras och dess resultatpåverkan undersökas.

8. Presentation och kommunikation av analysresultat

Syftet med detta kapitel är att klargöra varför de riskanalyser som avhandlas i denna rapport kräver en tydlig resultatpresentation. I kapitlet beskrivs dessutom olika metoder som kan användas för att presentera resultat.

8.1 Svårigheter vid kommunikation av analysresultat

Resultatkommunikation syftar till att öka mottagarens kunskap om riskfrågor och osäkerhet för att denne på så vis ska förstå innebörden av analysresultatet. Resultatkommunikation bör vara en dialog mellan beställaren av riskanalysen och riskanalytikern. Det föreligger dock vissa svårigheter när det gäller kommunikation av riskanalyser (Persson, 1998):

- Dagens riskanalyser anses av många som ensidigt tekniskt inriktade. En fokusering på kvantitativ/matematisk hantering av riskfrågor anses göra analyserna svårförståeliga.
- Det statistiska underlaget anses ofta som bristfälligt vilket ger osäkra underlag. Det kan vara svårt att förmedla betydelsen av detta.
- Det finns betydande svårigheter i att åskådliggöra risker på ett bra sätt för beslutsfattare. Det anses bland annat svårt att förmedla låga sannolikhetsbegrepp.
- En mer tvärvetenskaplig sammansättning av de grupper som arbetar med riskanalyser än dagens ingenjörsmässiga hantering efterlyses.
- Brist på accepterade metoder och ingångsvärden för riskanalyser gör att olika analytiker kommer till olika resultat. Detta skapar osäkerhet och tvekan hos såväl allmänhet som beslutsfattare.
- Kvaliteten på riskanalyser är av skiftande grad. Det är därför svårt att bedöma om genomförda riskanalyser är av godtagbar kvalitet.
- I vissa fall saknas kompetens att bedöma kvalitet av genomförda riskanalyser.

I detta kapitel ges analytikern förslag på hur vissa av dessa problem kan hanteras.

8.2 När krävs tydlig resultatpresentation och kommunikation?

Tydlig resultatpresentation är nödvändig för att analysens resultat ska vara av värde för beslutsfattaren. Resultatpresentationen är därför en viktig del av osäkerhetshanteringen i de riskanalyser som avses i denna rapport. Syftet med riskanalyser som upprättas i samband med bygg- eller planprojekt är att undersöka placeringens lämplighet med hänsyn till den aktuella risken. Resultatet av riskanalysen ligger till grund för beslutet om placeringen kan anses vara acceptabelt eller inte. Alternativt kan analysen ge förslag på åtgärder som kan vidtas för att placeringen ska kunna anses vara acceptabel. Det är i denna fas som en tydlig presentation och kommunikation av analysresultat är av stor vikt. Den eller de instanser som har i uppgift att granska analysen måste ges ett användbart beslutsunderlag. Detta kräver inte bara tydlighet i resultatpresentationen utan även en transparens genom hela analysprocessen så att alla antaganden och ingångsvärden kan granskas och bedömas. Detta är speciellt viktigt vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods eftersom analysprocessen kännetecknas av stor komplexitet och osäkra ingångsvariabler.

8.3 Metoder för presentation av resultat

Det finns ett antal olika metoder att använda för att på ett tydligt vis presentera analysresultat. Förutom en tydlig skriftlig redovisning som klargör vad resultaten bygger på, vilka antaganden och avgränsningar som gjorts, bör även storleksordningen av den osäkerhet som resultatet är förknippat med, framgå av presentationen. Detta kan göras genom att presentera resultaten från osäkerhetsanalysen i diagram och tabeller. Nedan presenteras ett antal olika typer av diagram som lämpar sig olika väl beroende på vad det är som ska presenteras

Histogram är den typ av diagram som är mest frekvent förekommande vid riskanalyser (PriceWaterhouseCooper, 1999).

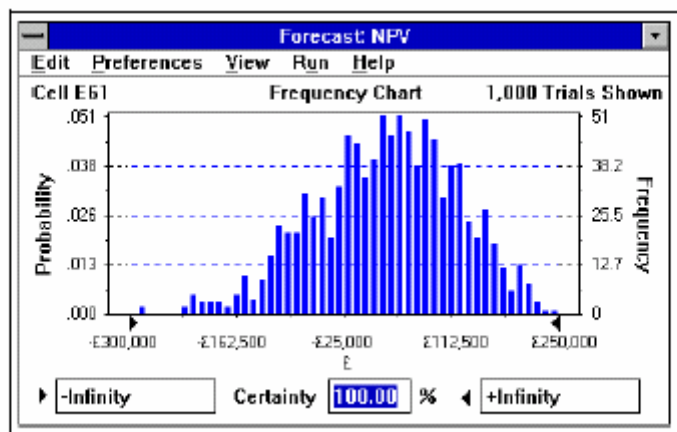


Bild 8.1
Exempel på ett histogram
Källa PriceWaterhouseCooper, 1999.

Det analytikern främst bör tänka på vid presentation av resultat med hjälp av histogram är antalet staplar. För många staplar kan göra resultatet ottydligt medan för få staplar innebär att detaljeringsgraden kan bli för grov. Histogrammet används med fördel för att tydliggöra grad av osäkerhet som en variabel är förknippad med.

Kumulativt frekvensdiagram kan exempelvis användas för att visa ett värdes sannolikhet inom ett givet intervall.

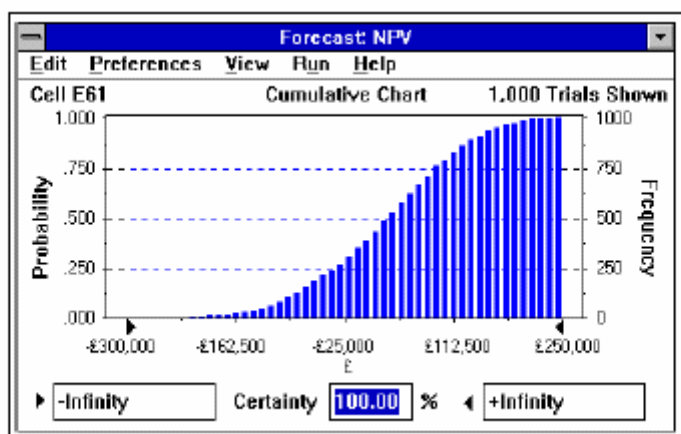


Bild 8.2
Exempel på ett kumulativt frekvensdiagram

Källa: PriceWaterhouseCooper, 1999.

Den här typen av diagram kan användas för att presentera sannolikhets- eller frekvensdistributioner. På y-axeln anges sannolikheten eller frekvensen och på x-axeln den studerade variabelns värde. I bild 8.2 innebär detta att 100 % av den studerade variabelns värden ligger under £ 250 000 och ca 25 % under -£ 25 000.

Andra diagram som kan användas för att förtydliga resultat är tornadodiagram och spridningsdiagram.

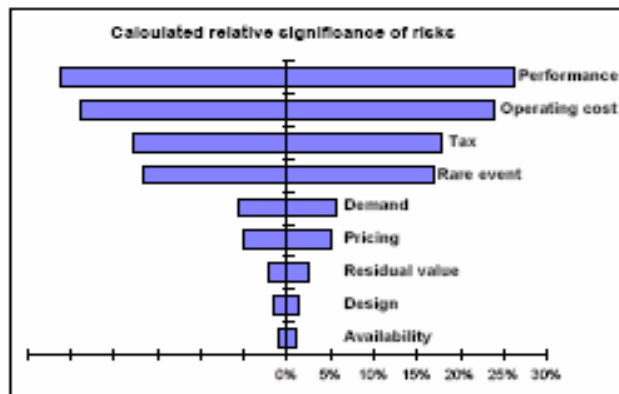


Bild 8.3

Exempel på tornadodiagram

Källa: PriceWaterhouseCooper, 1999.

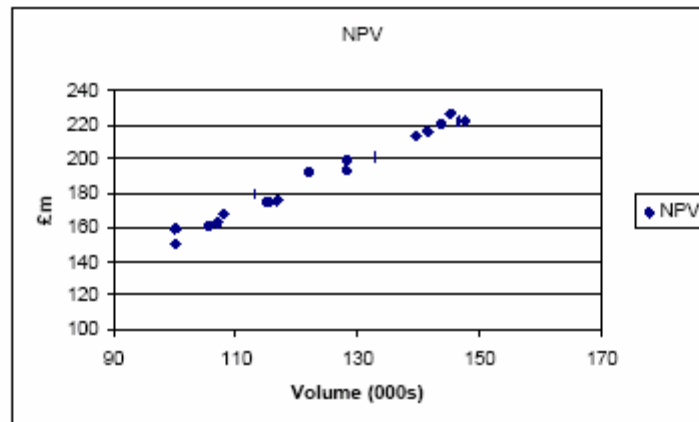


Bild 8.4

Exempel på spridningsdiagram

Källa: PriceWaterhouseCooper, 1999.

Spridningsdiagram används med fördel för att visa två olika variabelers inbördes beroende medan ett tornadodiagram kan användas för att tydligt presentera utfallet av en känslighetsanalys.

För att resultatpresentationen ska vara så tydlig som möjligt är det generellt bättre att endast presentera de viktigaste statistiska resultaten i ett fåtal grafer. Om för många grafer presenteras och för mycket statistiska data staplas upp blir det svårt för mottagaren att tillgodogöra sig resultatets innebörd (PriceWaterhouseCooper, 1999).

Ett problem vid presentation av analysresultat är att språkbruket kan uppfattas som komplicerat. För att förmedla innebörden av resultatet till personer med mindre kunskap om riksanalyser kan det därför vara lämpligt att summariskt presentera resultatet i vardagligt språk. På så vis kan analytikern förmedla grundstommen i resultatet även till politiker och andra beslutsfattare med mindre kännedom om analysprocessen (PriceWaterhouseCooper, 1999).

9. Resultat

Ett av huvudmålen med denna rapport har varit att undersöka hur osäkerheter vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods hanteras av riskanalytiker. Ett annat mål har varit att ta reda på hur osäkerheterna bör hanteras enligt litteratur inom området. Därefter har en jämförelse gjorts mellan hur osäkerheter hanteras och hur de bör hanteras. En stor del av rapportens resultat består av denna jämförelse som i huvudsak presenteras i kapitel 6. I detta kapitel ges en sammanfattning av de viktigaste generella slutsatserna som framkommit vid intervjuer, litteraturstudier, beräkningar och försök.

Genom att jämföra uppmätta koncentrationer från utsläppsförsök med beräknade koncentrationer har dessutom storleksordningen på de osäkerheter som är förknippade med modeller försökt fastställas. Resultaten från denna jämförelse presenteras i kapitel 7 samt i bilaga C.

9.1 Generella slutsatser

9.1.1 Osäkerhetshanteringen måste effektiviseras

En av de viktigaste slutsatserna som dras i denna rapport är att osäkerhetshanteringen vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods måste effektiviseras så att den blir mindre tidskrävande. Ett av målen med denna rapport har varit att ta reda på hur olika riskanalytiker hanterat osäkerheter vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods. Av intervju svaren kan slutsatsen dras att graden av osäkerhetshandling varierar kraftigt. Tre av de fyra medverkande i studien anser att osäkerhetsanalysen borde vara mer omfattande men att tidsramen sällan tillåter detta. Vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods är osäkerhetskällorna många. Detta innebär att osäkerhetshandling är nödvändig för att resultatet ska bli användbart. Att ignorera osäkerheterna i analysen på grund av tidsbrist är inget hållbart argument. Den kvantitativa riskanalysens styrka ligger i att ett resultat som är så likt verkligheten som möjligt kan presenteras. Denna styrka går förlorad om analytikern kompromissar med osäkerhetshandling.

Med stöd av de förslag som presenteras i denna rapport kan en effektiv metod för osäkerhetshandling vid riskanalyser i samband med transport av farligt gods tas fram. Exempelvis borde en standard över vilka gränsvärden som används och vilka riskkriterier som anses vara acceptabla kunna tas fram. Med hjälp av en sådan standard skulle analysmetodiken kunna standardiseras och analysresultat från olika studier kunna jämföras. Som det är idag tillåts variation i olika analytikerns antaganden påverka analysresultat i allt för hög utsträckning.

9.1.2 Konservativa värden bör inte användas i riskanalyser

Vid intervjustudien framkom att samtliga intervjuade använder konservativa värden för att representera vissa ingående värden i analysen. Anledningen till att konservativa värden tillåts representera osäkra variabler uppges vara att analysresultatet på så vis inte underskattar risken som analyseras. I riskanalyser som ligger till grund för att beräkna skyddsavstånd längs transportleder för farligt gods innebär denna metodik att en högre risk än den föreliggande tas fram. Detta medför att större skyddsavstånd används än vad den verkliga risken kräver. Konservativa värden bör därför inte användas i dessa typer av analyser. Istället kan osäkra värdenas resultatpåverkan undersökas med hjälp av exempelvis känslighetsanalys. Om konservativa värden ändå används måste detta tydligt redovisas i analysen. Det ska framgå att det troligtvis inte är den föreliggande risken som beräknas utan en förhöjd risknivå som kan bli aktuell vid extrema förhållanden eller eventuellt vid framtida förändrade förhållanden.

9.1.3 Användning av generella skyddsavstånd rekommenderas inte

Att med hjälp av kvantitativa riskanalyser (QRA) ta fram generella skyddsavstånd utmed en eller flera transportleder för farligt gods är inte att rekommendera. I rapporten har analyser som ligger till grund för framtagande av sådana skyddsavstånd benämnts kommunala riskanalyser. Flera av de ingående variablerna i en kommunal riskanalys är av sådan karaktär att osäkerheten endast går att hantera på ett tillfredsställande vis om dess uppskattade värden kan baseras på något så när kända förhållanden. Detta kräver ofta att verksamhetstyp och specifik plats är kända variabler. Skyddsavståndet utmed en transportled som passerar en skola bör exempelvis inte vara samma som skyddsavståndet utmed samma transportled där den passerar en lagerbyggnad. På samma vis bör skyddsavståndet inte vara samma utmed en transportled som passerar två identiska skolor, om det mellan den ena skolan och transportleden finns något som reducerar konsekvenserna av ett eventuellt läckage av farligt gods.

I kommunala riskanalyser bör istället problematiken hanteras med hjälp av utredningsavstånd inom vilket/vilka markanvändning ska föregås av en riskanalys. Ett eller flera dimensionerande scenarier kan då ligga till grund för framtagande av utredningsavstånd. Konsekvenserna av en olycka på en bestämd plats kan på så vis identifieras och begränsas. Exempelvis kan tekniska lösningar som exempelvis skyddsvallar eller avstängningsbara ventilationssystem användas där det är motiverat. Vid presentationen av den reviderade rapporten "Riskhänsyn vid ny bebyggelse – intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer" (Olsson och Wasting m.fl., 2000) gavs detta förslag till Länsstyrelsen i Stockholms län. Revideringsarbetet utfördes under sommaren och hösten 2004 och ingick som en del i detta examensarbete. Revideringsförslaget presenteras som bilaga H.

9.1.4 Medicinska effekter bör separeras från riskanalysen i övrigt

Analysresultatet bör delas upp så att den del av konsekvensberäkningen som utgörs av bedömning av olycksscenarioers medicinska effekt på människor skiljs från den övriga delen av analysresultatet. Anledningen till detta är att bedömningen är förknippad med särskilt stora osäkerheter. Detta beror bland annat på osäkerhet i framtagandet av gränsvärden, oenighet om vilka gränsvärden som ska användas, svårigheter att bedöma exponeringstid, med mera.

Genom att dela upp analysresultatet och presentera den medicinska effektbedömningen separat kan jämförelser med andra analyser göras utan att osäkerheten i denna del behöver beaktas.

9.1.5 Beräknade koncentrationer ska behandlas med försiktighet

Beräknade koncentrationer kan överskatta verkliga värden markant. De koncentrationer som beräknas ska därför behandlas med försiktighet. Den jämförelse som gjorts mellan beräknade och uppmätta koncentrationer visar att beräknade värden kan vara 20 gånger högre än verkliga. Resultatet av en riskanalys kan på grund av denna osäkerhet kraftigt överskatta den verkliga risknivån. Analytikern bör därför undersöka hur analysresultatet påverkas genom att variera beräknade koncentrationer. För att undersöka hur resultatet påverkas av denna osäkerhet bör en känslighetsanalys utföras.

10. Diskussion

Vid intervjuerna ledde frågeställningarna till att de intervjuade kom med egna synpunkter på problem som de stött på i arbetet med de riskanalyser som de utfört. I de fall problemen tangerade ämnet som studeras i denna rapport fick de utveckla sina resonemang. Delar av dessa resonemang presenteras i detta kapitel. Dessutom diskuteras andra intressanta problem och frågeställningar som uppkommit under arbetets gång. Syftet är att kortfattat och övergripande belysa vissa problem som kan vara av intresse att studera närmare.

10.1.1 Partiska riskanalytiker

Då en riskanalys krävs för att exempelvis analysera lämpligheten av ett byggprojekt på en specifik plats är beställaren av analysen (i många fall) samma part som har för avsikt att bygga på platsen. Riskanalytikern arbetar på så vis för en av parterna i "målet". Eftersom riskanalyser ofta är förknippade med stora osäkerheter finns det utrymme för analytikern att använda osäkra värden på ett sådant sätt att resultatet blir förmånligt för beställaren. Ett grovt förenklat exempel kan användas för att illustrera detta:

En acceptabel risknivå för en viss typ av verksamhet i ett visst land är 10^{-6} dödsfall per år. Olyckor till följd av den studerade verksamheten sker med frekvensen 10^{-2} till 10^{-3} per år. Dödsfall till följd av dessa olyckor sker med frekvensen 10^{-4} till 10^{-5} . Risken är produkten av sannolikheten och konsekvensen och risken ligger således i intervallet 10^{-6} till 10^{-8} . Genom att använda de två lägsta nivåerna kan alltså en riskanalytiker beräkna den föreliggande risken till 10^{-6} och visa att risken är acceptabel.

För att säkerställa att den som utför riskanalysen har för enda avsikt att fastställa den föreliggande risken, skulle ett alternativ kunna vara att oberoende riskanalytiker anlitas.

10.1.2 Okunniga riskanalytiker

Ett problem, som en av de intervjuade tog upp, är att riskanalytiker analyserar risker inom vitt skilda områden. Det kan handla om allt från översvämningsrisker till de risker som behandlas i denna rapport. Riskanalytikern är väl insatt i den formella analysprocessen men sämre insatt i ämnet som analysen behandlar. Detta i sig kan leda till osäkerheter eftersom en stor del av analysresultaten bygger på analytikerns egna antaganden. Detta är ett problem som större konsultföretag med många skilda verksamhetsområden kan hantera genom att samarbeta avdelningar emellan. Kompetensen som saknas på riskavdelningen finns kanske på en annan avdelning. För analytiker på mindre företag kan problemet vara svårare att hantera.

10.1 3 Onödiga riskanalyser

En fråga som kom upp vid intervjuerna var om det rätt att lägga tid och pengar på att förbättra modeller för riskanalys då resultaten ändå är förknippade med så stora osäkerheter. Nystedt (2004) menar att det kanske istället vore bättre att rekommendera lämpliga konsekvensreducerande åtgärder i planeringsstadiet. Bor det ingen inom ett riskområde och det inte finns planer på att exploatera marken så kanske det inte spelar någon roll hur stor sannolikheten, att en olycka inträffar, är. Detta resonemang leder dock till att eventuell framtida bebyggelse kan komma att omöjliggöras. Ett annat alternativ skulle kunna vara att lägga resurserna på tekniska lösningar, exempelvis säkrare transporttankar eller vallar längs sträckor med känslig omgivning.

10.1.4 Relation mellan skadade och döda beaktas inte

En fråga som väckts under skrivandets gång är hur relationen mellan skadade och döda bör behandlas vid riskanalyser. I de riskanalyser som de intervjuade gjort har denna aspekt inte behandlats (endast dödsrisken beaktas). En riskkälla som ger upphov till ett stort antal skadade men inga döda borde rimligtvis inte behandlas på samma vis som en annan riskkälla vilken ger upphov till varken döda eller skadade. Detta resonemang involverar samhällskostnader för olyckor och kräver att sambandet mellan kostnaden för skadade respektive död utreds. Dessutom krävs det att sambandet mellan antalet skadade och döda går att fastställa för olyckor till följd av den studerade verksamheten. Andra samhällskostnader som i sammanhanget kunde vara intressanta att undersöka är kostnader för skador som en olycka medför, exempelvis räddningstjänst, sanering, blockering av vägar m.m.

10.1.5 Inga nationella riskkriterier

Det saknas nationella riskkriterier i Sverige. Detta innebär att samhällets acceptans/tolerans inte är definierad. Detta är enligt Karmestam (2004) ett stort problem eftersom det inte finns några mått att jämföra resultaten mot. I riskanalyser hänvisas ibland till riskkriterier som används i andra länder, men detta säger egentligen inget om vad det svenska samhället anser vara acceptabelt.

10.2 Kapitelsammanfattning

Ett antal problem återstår alltså att lösa innan en heltäckande metod för hantering av risker och osäkerheter i samband med transport av farligt gods kan tas fram. Att riskanalytikerns antaganden påverkar analysresultatet kan antagligen inte undvikas helt, men det krävs då att osäkerheten inte ökas markant till följd av bristande kunskap inom området som studeras. Hur detta - och övriga problem som presenteras i detta kapitel - bör hanteras är något för framtida studenter att utreda.

11. Referenslista

Litteratur/Rapporter

Abrahamsson, M., *Uncertainty in Quantitative Risk Analysis – Characterisation and Methods of Treatment*, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Lund, 2002

Jönsson, R. m.fl., *Brandskyddshandboken – en handbok för projektering av brandskydd i byggnader*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Lund 2002.

Braker, W. m.fl., *Effects of exposure to toxic gases – first aid and medical treatment*, Matheson Gas Products, East Rutherford, New Jersey, 1970

Carlsson, T., *Konsekvenser/riskanalys, kompendium i explosivämneskunskap*, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, 1998

Committee for the Prevention of Disasters, *Methods for the calculation of physical effects*, (“Yellow book”), Haag, 1992

Davidsson, G. m.fl., *Värdering av risk*, Räddningsverket, Karlstad, 1997

Drysale, D., *An Introduction to Fire Dynamics*, Chichester, 1998

Farligt gods - Riskbedömning vid transport - Handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg, Räddningsverket, Karlstad, 1996

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

Forsén, R., *Skador vid explosionslast mot glasade ytor, förstudie*, Försvaret och säkerhet, 2002

Frantzych, H., *Uncertainty and Risk Analysis in Fire Safety Engineering*, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Lund, 1998

Howard, R.A., Matheson, J.E., *Influence diagrams. En: Readings on the Principles and Applications of Decision Analysis*, Strategic Decisions Group, Menlo Park, 1984

IAEA, *Evaluating the reliability of predictions made using environmental transfer models*, International Atomic Agency, Wien, 1989

IEC, International standard nr 60300-3-9: Dependability management – part 3: Application guide – Section 9: Risk analysis of technological systems. International Electrotechnical Commission, Genève, 1995

Johansson, H., *Osäkerhetshantering i riskanalyser avseende brandskydd*, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Lund, 2000

Kaplan, S., *The Words of Risk Analysis. Risk Analysis. Vol 17, No 4*, Society for Risk Analysis, London, 1997

Kylefors, M., *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen*, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Lund, 2004

Lamnevik, S., Palme, E., *Antagandehandling DNR 785/92*, Stadsbyggnadskontoret i Göteborg, Göteborg, 1998

Morgan, M. G., Henrion M., *Uncertainty – A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*, Cambridge University Press, New York, 1990

Nilsson, A., Möller, M., *Underlag till framtagande av skyddsavstånd kring det primära farligt godsvägnätet i Skåne*, Länsstyrelsen i Skåne län, Malmö, 2003

Nilsson, J., *Introduktion till riskanalyismetoder*, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Lund, 2000

Nystedt, F., *Risikanalysmetoder*, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Lund, 2000

Olsson, F., *Tolerable Fire Risk Criteria for Hospitals*, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Lund, 1999

Olsson, S., Wasting, M., m.fl., *Riskhänsyn vid ny bebyggelse – intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer*, Länsstyrelsen i Stockholms län, Stockholm, 2000

Paté-Cornell, M. E., *Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment*, Department of Industrial Engineering and Engineering Management, Stanford University, Stanford, CA, 1996

Persson, K., *Riskhänsyn i fysisk planering*, Räddningsverket, Karlstad, 1998

Publikation 1997:87, *Vägutformningens betydelse vid olyckor med farligt gods*, Vägverket, 1997.

Purdy, G., *Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail*, Journal of Hazardous Materials, 33 (2), 1993

Räddningsverket (1998), *Farligt gods på vägnätet – underlag för samhällsplanering*, Karlstad

Uncertainty & risk analysis – a practical guide from Business Dynamics, PricewaterhouseCoopers, MCS, United Kingdom 1999

VTI rapport 387:1-5, *Risikanalysmetod för transporter av farligt gods på väg och järnväg*, VTI, Linköping, 1994

Telefonintervjuer

Anders Karmestam, Brandingenjör, Malmö Brandkår 2004-10-12

Fredrik Nystedt, Brandingenjör, Öresund Safety Advisers 2004-10-13

Johan Ingvarsson, Brandingenjör, OKQ8, 2004-10-11

Björn Lindén, Polisinspektör, Polisen i Malmö 2003-07-29

Thomas Carlsson, Brandingenjör, Räddningstjänsten Dala-Mitt, 2004-10-11

Program:

CHEMS-PLUS: (Enhanced Chemical Hazard Evaluation Methodologies) Reference Manual. Version 1.0. Cambridge, MA.

Bfk: Beräkningsmodell som ingår i RIB, Integrerat beslutsstöd för skydd mot olyckor, Räddningsverkets programvara

GASOL: Beräkningsmodell som ingår i RIB, Integrerat beslutsstöd för skydd mot olyckor, Räddningsverkets programvara

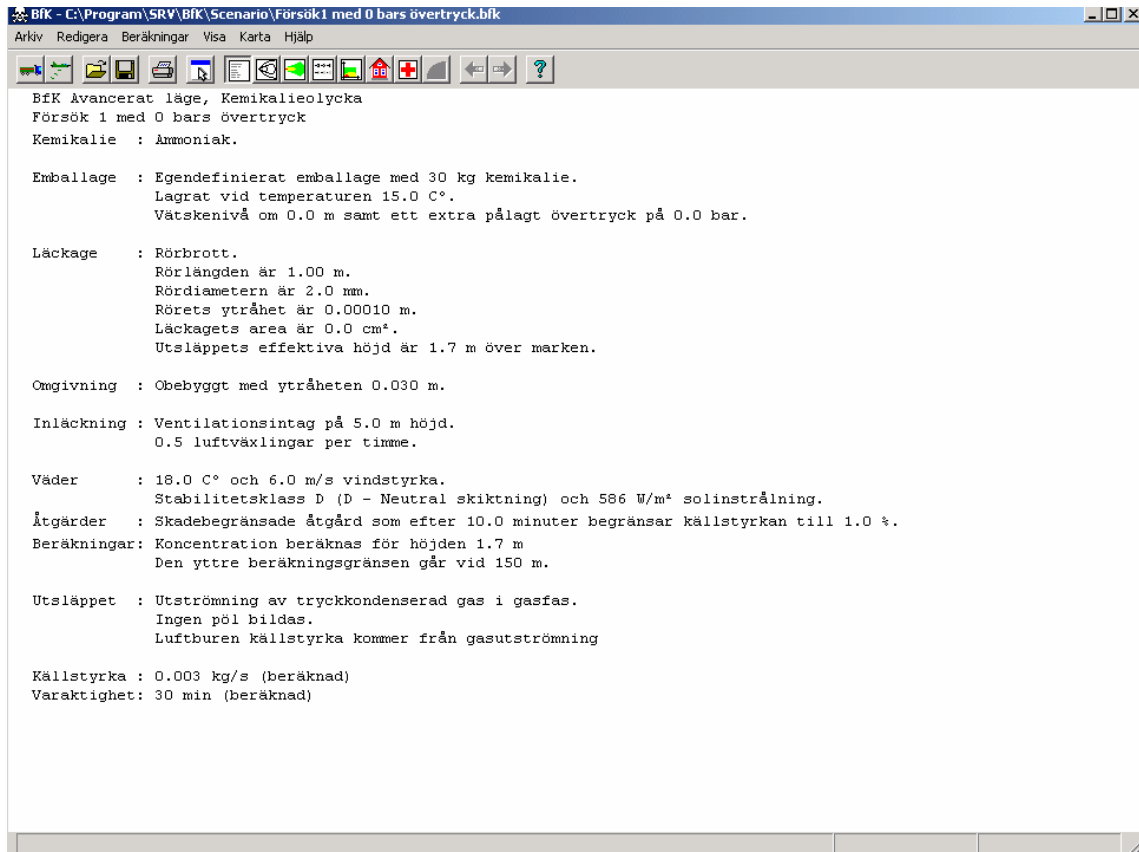
Lagtext:

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

SRVFS 2004:14, Statens räddningsverks föreskrifter om transport av farligt gods på väg och i terräng (ADR-S)

Bilaga A – Indata och resultat från beräkningar i Bfk

Försök 1



Bfk - C:\Program\SRV\Bfk\Scenario\Försök1 med 0 bars övertryck.bfk

Arkiv Redigera Beräkningar Visa Karta Hjälp

Bfk Avancerat läge, Kemikalieolycka
Försök 1 med 0 bars övertryck
Kemikalie : Ammoniak.

Emballage : Egendefinerat emballage med 30 kg kemikalie.
Lagrat vid temperaturen 15.0 C°.
Vätskenivå om 0.0 m samt ett extra pålagt övertryck på 0.0 bar.

Läckage : Rörbrott.
Rörlängden är 1.00 m.
Rördiametern är 2.0 mm.
Rörets ytråhet är 0.00010 m.
Läckagets area är 0.0 cm².
Utsläppets effektiva höjd är 1.7 m över marken.

Omgivning : Obebyggt med ytråheten 0.030 m.

Inläckning : Ventilationsintag på 5.0 m höjd.
0.5 luftväxlingar per timme.

Väder : 18.0 C° och 6.0 m/s vindstyrka.
Stabilitetsklass D (D - Neutral skiktning) och 586 W/m² solinstrålning.

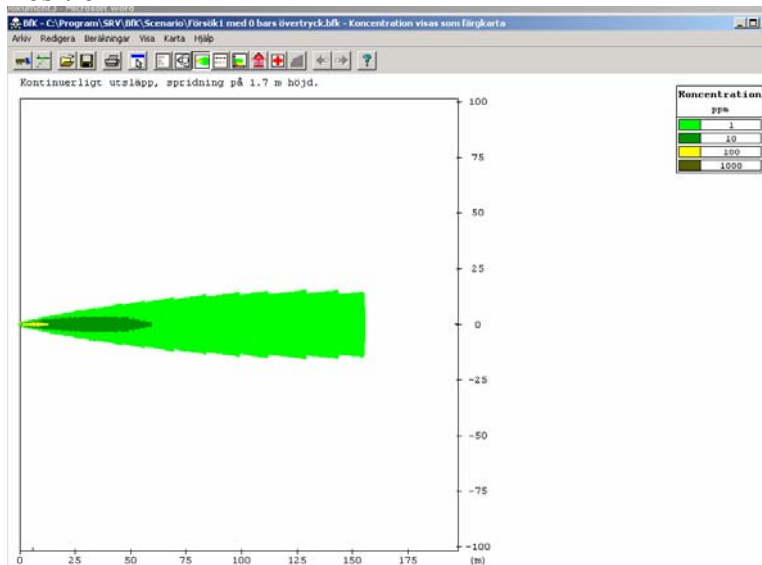
Åtgärder : Skadebegränsade åtgärd som efter 10.0 minuter begränsar källstyrkan till 1.0 %.

Beräkningar: Koncentration beräknas för höjden 1.7 m
Den yttre beräkningsgränsen går vid 150 m.

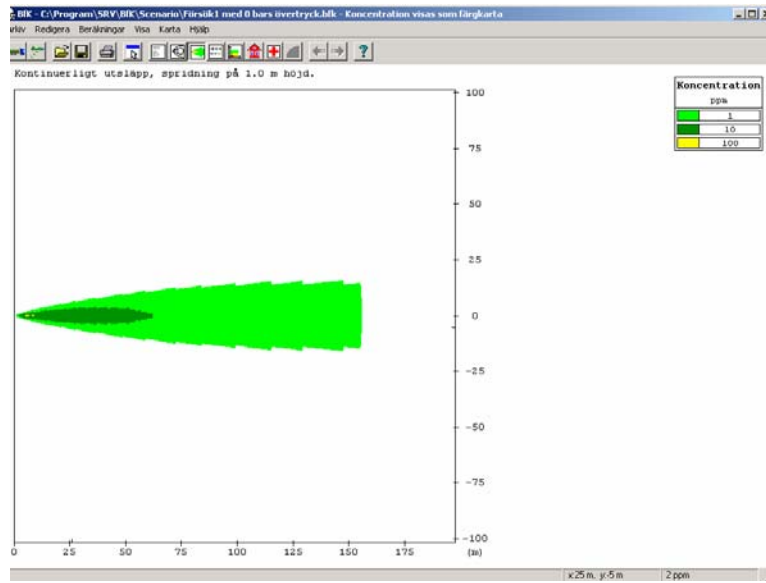
Utsläppet : Utströmning av tryckkondenserad gas i gasfas.
Ingen pöl bildas.
Luftburen källstyrka kommer från gasutströmning

Källstyrka : 0.003 kg/s (beräknad)
Varaktighet: 30 min (beräknad)

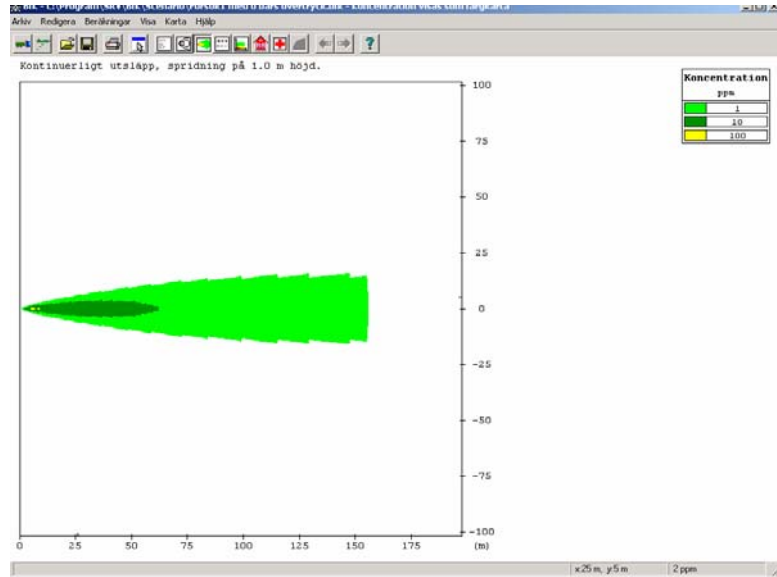
Position 1



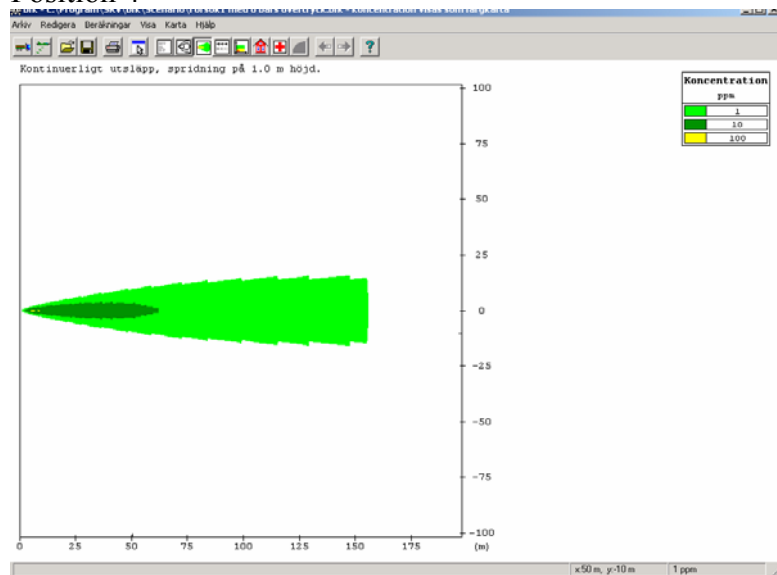
Position 2



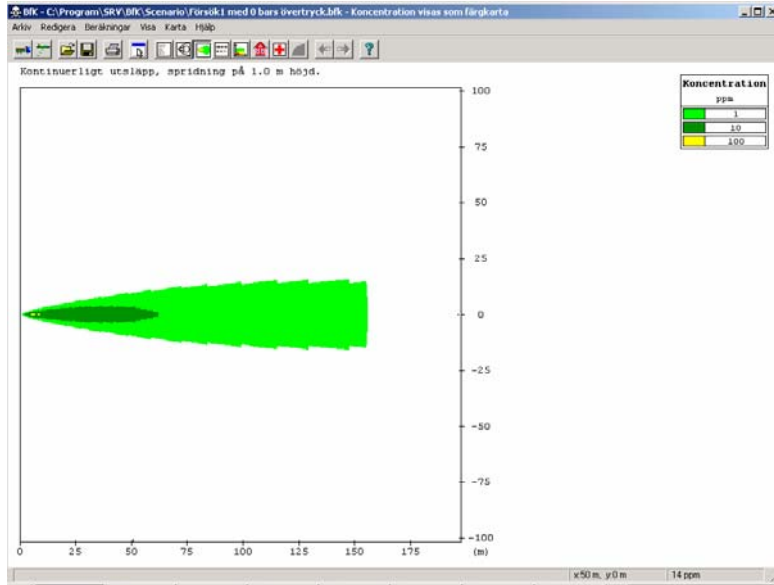
Position 3



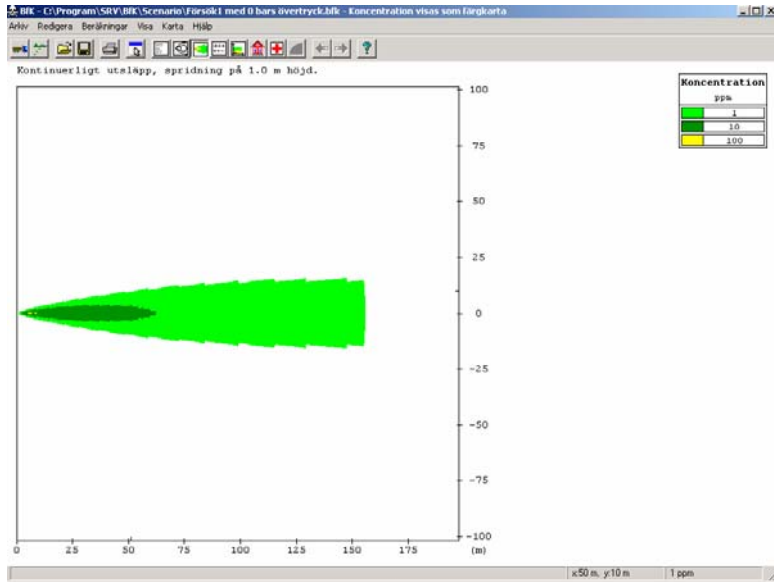
Position 4



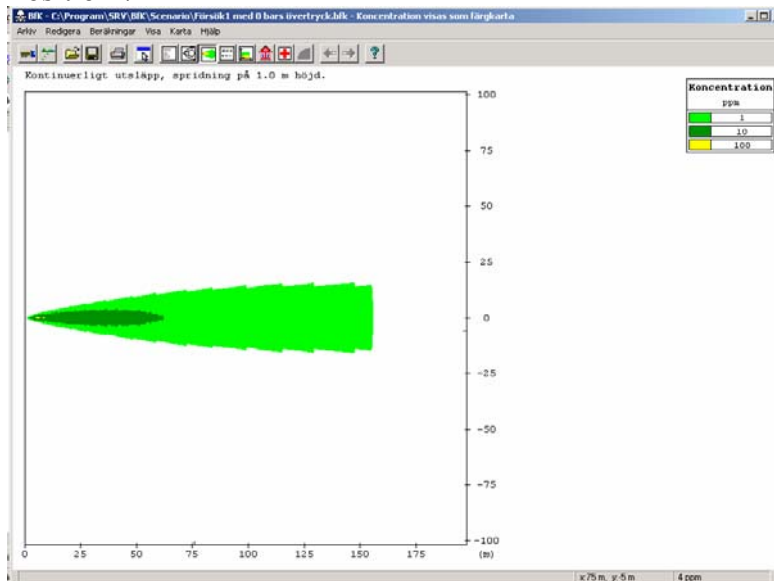
Position 5



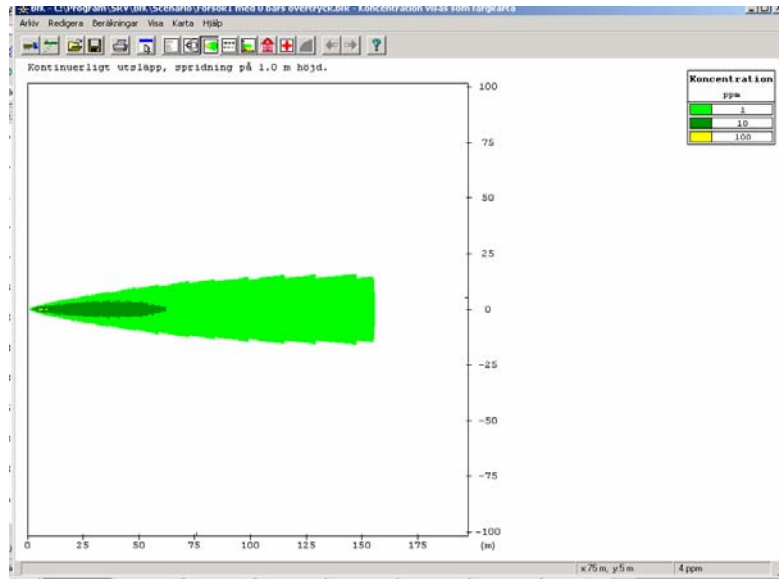
Position 6



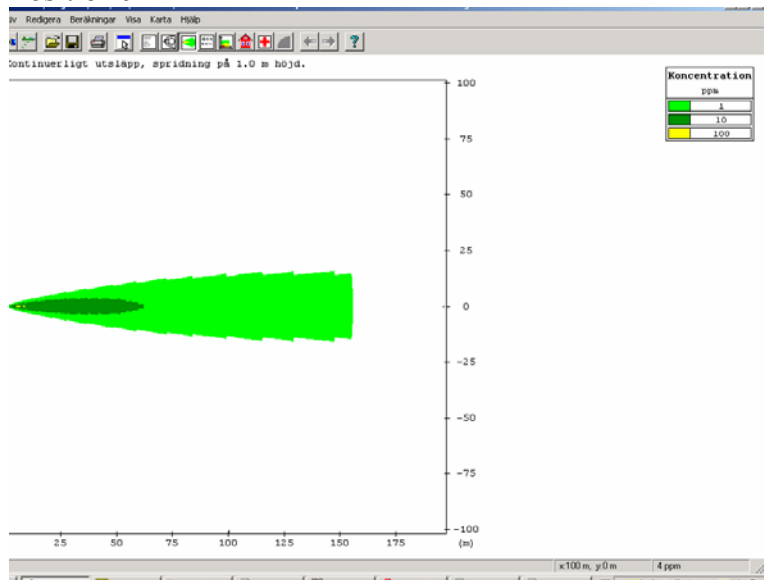
Position 7



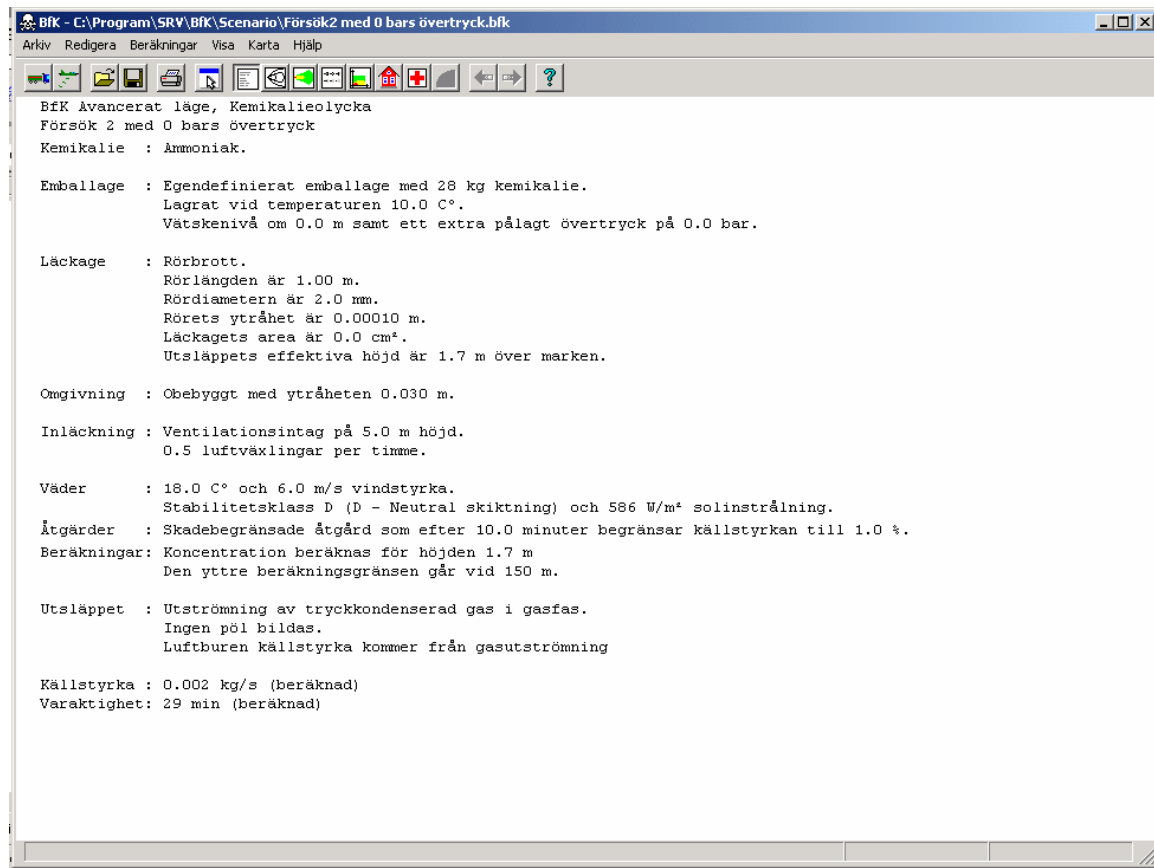
Position 8



Position 9

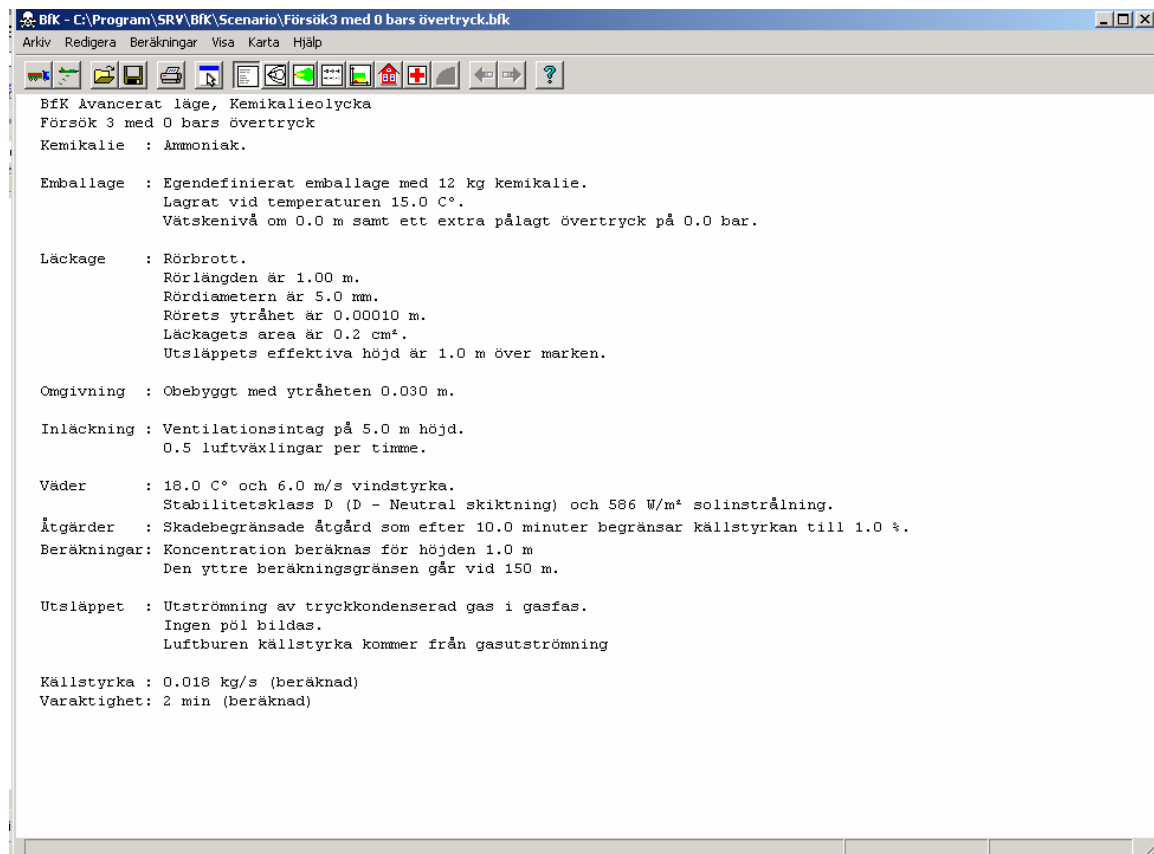


Försök 2



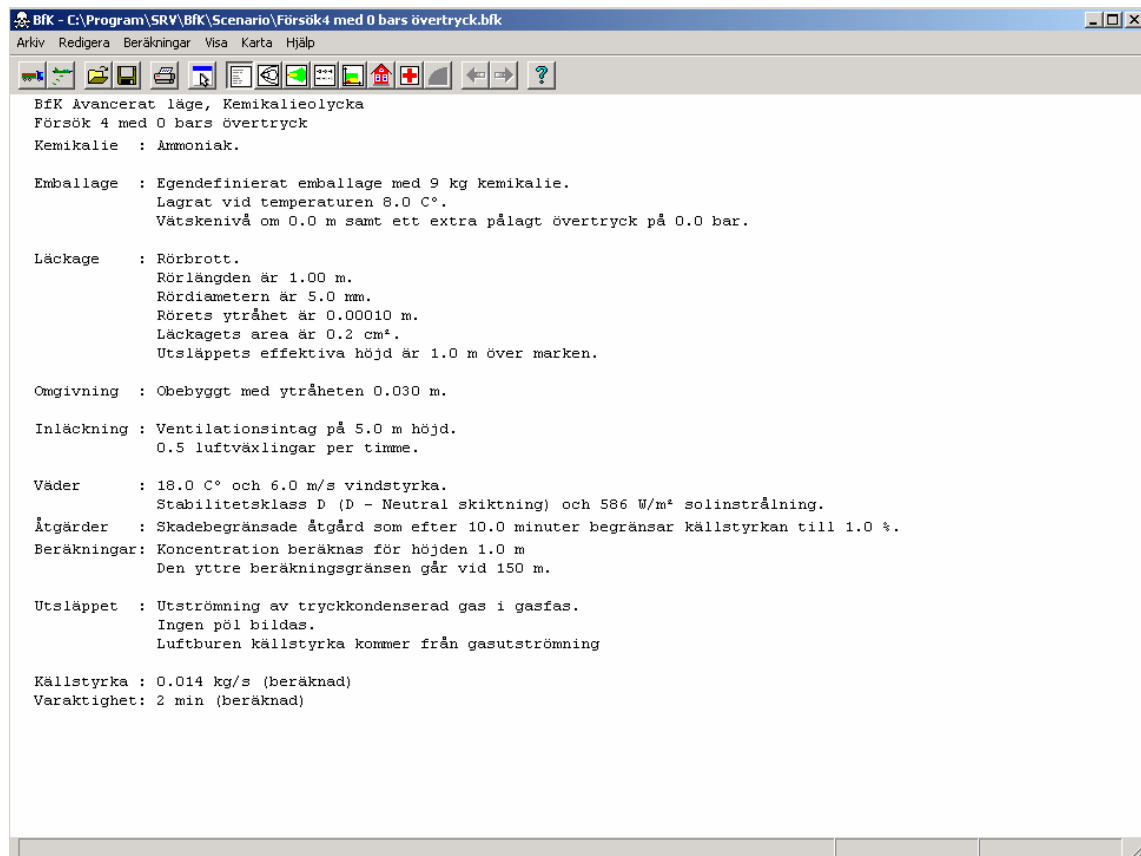
Koncentrationerna togs fram på samma vis som vid försök 1 och spridningsbilderna redovisas därför inte.

Försök 3



Koncentrationerna togs fram på samma vis som vid försök 1 och spridningsbilderna redovisas därför inte.

Försök 4



Koncentrationerna togs fram på samma vis som vid försök 1 och spridningsbilderna redovisas därför inte.

Bilaga B – Uppmätta koncentrationer från utsläppsförsök

Försök 1

Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tid (s)	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
0	ingen mätning	0	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0
15	ingen mätning	0	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0
30	ingen mätning	0	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0
45	ingen mätning	14,4	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0
60	ingen mätning	23,7	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0
75	ingen mätning	7,9	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0
90	ingen mätning	20	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0
105	ingen mätning	6,7	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0
120	ingen mätning	14,9	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0
135	ingen mätning	1,4	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0
150	ingen mätning	16,8	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0
165	ingen mätning	6,2	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0
180	ingen mätning	0,2	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0
195	ingen mätning	11,3	ingen mätning	ingen mätning	2	ingen mätning	0	0	0
210	ingen mätning	4,8	ingen mätning	ingen mätning	4	ingen mätning	0	0	0,2
225	ingen mätning	1,6	ingen mätning	ingen mätning	3	ingen mätning	0	0	0,2
240	ingen mätning	4,8	ingen mätning	ingen mätning	3	ingen mätning	0	0	0,3
270	ingen mätning	6,9	ingen mätning	ingen mätning	4	ingen mätning	0	0	0,2
300	ingen mätning	12,2	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0,2
330	ingen mätning	8,2	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0,1
360	ingen mätning	2,2	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0,3
390	ingen mätning	1,6	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0,2
420	ingen mätning	0,4	ingen mätning	ingen mätning	3	ingen mätning	0	0	0,2
450	ingen mätning	0,4	ingen mätning	ingen mätning	6	ingen mätning	0	0	0,2
480	ingen mätning	2,4	ingen mätning	ingen mätning	3	ingen mätning	0	0	0,2

510	ingen mätning	0,4	ingen mätning	ingen mätning	3	ingen mätning	0	0	0,1
540	ingen mätning	2,6	ingen mätning	ingen mätning	2	ingen mätning	0	0	0,1
570	ingen mätning	4,2	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0,1
600	ingen mätning	3,2	ingen mätning	ingen mätning	2	ingen mätning	0	0	0,1
660	ingen mätning	0,2	ingen mätning	ingen mätning	2	ingen mätning	0	0	0,1
720	ingen mätning	0,4	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	0,1

Försök 2

Position Tid (s)	2								
	1 ppm	(14) ppm	3 (2) ppm	4 (5) ppm	5 ppm	6 (10) ppm	7 ppm	8 ppm	9 ppm
0	0	0	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	ingen mätning
15	ingen mätning	0	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	ingen mätning
30	37	0	ingen mätning	ingen mätning	2	ingen mätning	0	0	ingen mätning
45	ingen mätning	12	ingen mätning	ingen mätning	2	ingen mätning	0	0	ingen mätning
60	6	30,7	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0,2	0	ingen mätning
75	ingen mätning	0,4	ingen mätning	ingen mätning	2	ingen mätning	0,2	0	ingen mätning
90	5	2,6	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	ingen mätning
105	ingen mätning	18,3	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	ingen mätning
120	12	4,1	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	ingen mätning
135	ingen mätning	18,9	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0,4	0	ingen mätning
150	10	2	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0,6	0,7	ingen mätning
165	55	7,4	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0,8	1,4	ingen mätning
180	6	6,4	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0,2	1,7	ingen mätning
195	ingen mätning	5,2	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	ingen mätning
210	69	13,2	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	ingen mätning
225	4	7,6	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0,7	ingen mätning
240	27	2	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0,7	ingen mätning
270	12	1,5	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	1,2	ingen mätning
300	2	8,3	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0,6	ingen mätning
330	4	6,4	ingen	ingen	0	ingen	0	1	ingen

		mätning	mätning		mätning			mätning	
360	10	0,6	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0,8	ingen mätning
390	6	0,2	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0,9	ingen mätning
420	3	0,4	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	1,7	0,7	ingen mätning
450	40	0,2	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0,1	0,9	ingen mätning
480	3	0,1	ingen mätning	ingen mätning	3	ingen mätning	0,2	1,2	ingen mätning
510	2	0,8	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0,2	1,2	ingen mätning
540	7	2,3	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	1	ingen mätning
570	3	1,2	ingen mätning	ingen mätning	3	ingen mätning	0	0,8	ingen mätning
600	14	2,8	ingen mätning	ingen mätning	2	ingen mätning	0	1,2	ingen mätning
660	1	0,2	ingen mätning	ingen mätning	5	ingen mätning	0	1,2	ingen mätning
720	0	0,2	ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0	1	ingen mätning

Försök 3

Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tid (s)	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
0	0	0	0	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	ingen mätning
15	127	0	0	ingen mätning	0	ingen mätning	0	0	ingen mätning
30	8700	20,2	0	ingen mätning	30	ingen mätning	1,8	0	ingen mätning
45	30	112,6	0	ingen mätning	40	ingen mätning	0,5	0	ingen mätning
60	21	11,3	0	ingen mätning	7	ingen mätning	0	0	ingen mätning
75	20	0,2	31,6	ingen mätning	4	ingen mätning	0	0	ingen mätning
90	7	27,6	22,4	ingen mätning	10	ingen mätning	0	0,1	ingen mätning
105	10	7,9	4	ingen mätning	6	ingen mätning	0	0,1	ingen mätning
120	95	3,3	0,5	ingen mätning	4	ingen mätning	0	0,1	ingen mätning
135	15	2	Ingen mätning	ingen mätning	8	ingen mätning	1,7	0	ingen mätning
150	17	0,2	Ingen mätning	ingen mätning	7	ingen mätning	1,2	0	ingen mätning
165	9	0,4	5,5	ingen mätning	5	ingen mätning	0,4	0,1	ingen mätning
180	168	0,2	3,8	ingen mätning	7	ingen mätning	1,8	0	ingen mätning
195	500	48,2	2,8	ingen mätning	4	ingen mätning	1,3	0	ingen mätning
210	13	10,4	Ingen	ingen	5	ingen	1,8	0	ingen

		mätning	mätning		mätning			mätning	
225	7	6,4	Ingen mätning	ingen mätning	10	ingen mätning	1,7	0	ingen mätning
240	14	3,2	Ingen mätning	ingen mätning	2	ingen mätning	1,5	0,6	ingen mätning
270	24	1,2	Ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	1,5	0,6	ingen mätning
300	46	0,2	Ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	1,5	0,3	ingen mätning
330	10	0	Ingen mätning	ingen mätning	3	ingen mätning	1,4	0	ingen mätning
360	13	0	Ingen mätning	ingen mätning	3	ingen mätning	1,2	0	ingen mätning
390	3	0	Ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	1	0	ingen mätning
420	2	0	Ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	1	0	ingen mätning
450	1,5	0	Ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	1,2	0	ingen mätning
480	0,5	0	Ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	1	0	ingen mätning
510	0	0	Ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0,4		ingen mätning
540	0	0	Ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	1,4		ingen mätning
570	0	0	Ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0,4		ingen mätning
600	0	0	Ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0,2		ingen mätning
660	0	0	Ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0		ingen mätning
720	0	0	Ingen mätning	ingen mätning	0	ingen mätning	0		ingen mätning

Försök 4

Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tid (s)	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
0	0	0	0	0	0	0	ingen mätning	0	ingen mätning
15	1	0	0	0	0	0	ingen mätning	0	ingen mätning
30	36	0	65,3	0	0	3,2	ingen mätning	0	ingen mätning
45	153	0	0,7	0	6	0	ingen mätning	0	ingen mätning
60	550	0	0	0	5	0	ingen mätning	0	ingen mätning
75	7	0	0	0	13	0	ingen mätning	0,2	ingen mätning
90	19	1,2	0	0	11	0	ingen mätning	0,3	ingen mätning
105	6	0	0	0	13	0	ingen mätning	0,2	ingen mätning
120	8	6	0	0	7	0	ingen mätning	0	ingen mätning
135	39	30,1	0	0	4	0	ingen	0	ingen

						mätning		mätning	
150	103	0	0,4	0	3	0,8	ingen mätning	0,1	ingen mätning
165	11	1,4	0	0	3	0	ingen mätning	0,3	ingen mätning
180	15	12,6	0	0	2	0	ingen mätning	0,2	ingen mätning
195	18	21,7	0,9	2	0	0	ingen mätning	0,5	ingen mätning
210	34	64,7	0	0	15	0	ingen mätning	0,9	ingen mätning
225	4	1,8	4,4	0	7	0	ingen mätning	0,2	ingen mätning
240	42	0	0	0	2	0	ingen mätning	0,5	ingen mätning
270	4	0	1,3	0	0	0	ingen mätning	0,4	ingen mätning
300	11	2,9	0,8	0	2	0	ingen mätning	0,4	ingen mätning
330	8	6	0	0	3	0	ingen mätning	1,3	ingen mätning
360	31	10,7	0	0	0	0	ingen mätning	0	ingen mätning
390	4	4,7	0	0	0	0	ingen mätning	0,7	ingen mätning
420	2	0	0	0	0	0	ingen mätning	0,3	ingen mätning
450	1	0	0	0	0	0	ingen mätning	0	ingen mätning
480	0	0	0	0	0	0	ingen mätning	0	ingen mätning
510	0	0	0	0	0	0	ingen mätning	0	ingen mätning
540	0	0	0	0	0	0	ingen mätning	0	ingen mätning
570	0	0	0	0	0	0	ingen mätning	0	ingen mätning
600	0	0	0	0	0	0	ingen mätning	0	ingen mätning
660	0	0	0	0	0	0	ingen mätning	0	ingen mätning
720	0	0	0	0	0	0	ingen mätning	0	ingen mätning

Bilaga C – Jämförelse mellan uppmätta och beräknade koncentrationer

Vid samtliga beräkningar har koncentrationerna från spridningsbilden ”Koncentration visas som färgkarta” i Bfk använts. För att representera kontinuerligt utsläpp vid sammanställning av försöksdata har olika tidsintervall använts (se resonemang i kapitel 7).

Försök 1

(Intervallet 45 – 390 sekunder har använts för position 2 och intervallet 195 – 660 sekunder för position 5.)

Position	Försök (ppm)	Bfk (ppm)
1	Ingen mätning	303
2	8,7	2
3	Ingen mätning	2
4	Ingen mätning	1
5	2,2	14
6	Ingen mätning	1
7	0	4
8	0	4
9	0	4

Försök 2

(Intervallet 30 – 600 sekunder har använts för position 1, intervallet 45 – 360 sekunder har använts för position 2, intervallet 30 – 660 sekunder har använts för position 5 och intervallet 60 – 660 sekunder har valts för position 7 och 8.)

Position	Försök (ppm)	Bfk (ppm)
1	15,3	257
2	8,2	2
3	Ingen mätning	2
4	Ingen mätning	1
5	0,7	11
6	Ingen mätning	1
7	0,4	4
8	0,4	4
9	Ingen mätning	4

Försök 3

(Intervallet 15 – 390 sekunder har använts för position 1, intervallet 30 – 240 sekunder har använts för position 2, intervallet 75 - 195 sekunder har använts för position 3, intervallet 30 – 360 sekunder har använts för position 5 och intervallet 30 – 600 sekunder har använts för position 7 och 8.)

Position	Försök (ppm)	Bfk (ppm)
1	328	1200

2	10,6	13
3	10,1	13
4	Ingen mätning	6
5	5,5	93
6	Ingen mätning	6
7	0,4	31
8	0,4	31
9	Ingen mätning	27

Försök 4

(Intervall 15 – 390 sekunder har använts för position 1, intervallet 90 – 390 sekunder har använts för position 2, intervallet 30 - 300 sekunder har använts för position 3, intervallet 45 - 330 sekunder har använts för position 5 och intervallet 75 - 420 sekunder har använts för position 8.)

Position	Försök 4 (ppm)	Försök 3 (ppm)
1	52,6	328
2	10,2	10,6
3	4,3	10,1
4	0	Ingen mätning
5	5,6	5,5
6	<0,1	Ingen mätning
7	Ingen mätning	0,4
8	0,4	0,4
9	Ingen mätning	Ingen mätning

Bilaga D – Handberäkning av koncentration vid försök 1

Beräkningsgången för de handberäkningar som utförs här finns redovisad i Fischer m.fl. (1997).

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

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

Q = Utsläppets källstyrka, i detta fall 0,0034 kg/s

σ_y, σ_z = Dispersionskoefficienter i sid- och höjddled

U = Vindhastigheten, i detta fall 6 m/s

H = Utsläppets höjd, i detta fall 1,7 m

Formeln för beräkning av Q vid kritisk gasfasutströmning ges av ekvation [4:18] i Fischer m.fl. (1997). (Ekvation [4.18] används eftersom håldiametern är mindre än rördiametern.)

$$0,667 * C_d A \left(\frac{P_0}{\sqrt{RT_0}} \right)$$

C_d = Flödeskoefficient som beror på hålets utseende, i detta fall 0,95.

A = Hålaarea, i detta fall, $d = 0,002$, $A = 3,14 * 10^{-6}$

P_0 = Trycket i tanken, i detta fall 6,4 bar = 640000 N/m²

(P_a = Atmosfärstrycket, 100000 Pa)

(v_f = Specifik volym i vätskefas, i detta fall $1/591 = 0,0017$ m³/kg)

R = R^*/m , i detta fall $8314/17 = 489,2$

T_0 = $15+273,15 = 288,15$

$$Q = 0,667 * 0,95 * 3,14 * 10^{-6} \left(\frac{640000}{\sqrt{489,2 * 288,15}} \right) \rightarrow Q = 0,0034 \text{ kg/s}$$

I Bfk beräknades källstyrkan till 0,003 kg/sekund för jämförelse.

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

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

För obebyggt område gäller:

Stabilitet	ay	by	yy	az	Bz	Yz
A	0,22	0,0001	0,5	0,20	0	0
B	0,16	0,0001	0,5	0,12	0	0

C	0,11	0,0001	0,5	0,08	0,0002	0,5
D	0,08	0,0001	0,5	0,06	0,0015	0,5
E	0,06	0,0001	0,5	0,03	0,0003	1
F	0,04	0,0001	0,5	0,016	0,0003	1

K_{rp} för obebyggt område ges av

$$K_{rp} = \left(\frac{z_0}{z_{03}} \right)^{0,2} \quad \text{där } z_0 \text{ är aktuell skrovlighetslängd (0,03 meter) och } z_{03} \text{ är 0,03 meter.}$$

$$K_{rp} = \left(\frac{0,03}{0,03} \right)^{0,2} = 1$$

K_{yt} ges av

$$K_{yt} = \left(\frac{t}{t_5} \right)^{0,2} \quad \text{där } t \text{ är den önskade medelvärdesbildningstiden (s) och } t_5 \text{ är 300 sekunder.}$$

$$K_{yt} = \left(\frac{t}{t_5} \right)^{0,2} \quad \text{Jag använder } K_{yt} = 1$$

Nedanstående ekvationer används för att beräkna x_{y0} och x_{z0} . Vid tiden för utsläppsförsöken rådde stabilitetsklass D, neutral skiktning.

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

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

De initiala dispersionskoefficienterna σ_{z0} och σ_{y0} (standardavvikelser vid avståndet $x=0$) ges av ekvation [8:27]

$$\sigma_{z0} = \sigma_{y0} = \sqrt{\frac{Q}{\rho_a U} * \frac{m_g + m_a}{m_g}}$$

$Q = 0,0034 \text{ kg/s}$

$\rho_a = \text{Luftens densitet} = 1,2 \text{ kg/m}^3$

$m_g = \text{molvikten för ammoniak} = 17 \text{ kg/kmol}$

($m_{ge} = \text{effektiva molvikten} = 100 \text{ kg/kmol}$)

$m_a = \text{molvikten för luft} = 29 \text{ kg/kmol}$

$U = \text{plymens advektionshastighet} = \text{vindhastigheten} = 6 \text{ m/s}$

$$\sigma_{z_0} = \sigma_{y_0} = \sqrt{\frac{0,0034 * 17 + 29}{1,2 * 6 * 17}} \rightarrow \sigma_{z_0} = \sigma_{y_0} = 0,0357$$

$$\sigma_y = \frac{0,08(x + x_{y_0})}{(1 + 0,0001(x + x_{y_0}))^{0,5}} * 1 * K_{yt}$$

$$\sigma_z = \frac{0,06 * (x + x_{z_0})}{(1 + 0,0015(x + x_{z_0}))^{0,5}} * 1$$

Insättning av uträknade värden och för avståndet $(x,y,z) = (5,0,1.7)$ i formler ger:

$$x_{z_0} = \frac{\left(\frac{0,0357}{1}\right)^2 0,0015 + \frac{0,0357}{1} \sqrt{\left(\frac{0,0357}{1}\right)^2 0,0015^2 + 4 * 0,06^2}}{2 * 0,06^2} \rightarrow x_{z_0} = 0,595$$

$$x_{y_0} = \frac{\left(\frac{0,0357}{1 * 1}\right)^2 0,0001 + \frac{0,0357}{1 * 1} \sqrt{\left(\frac{0,0357}{1 * 1}\right)^2 0,0001^2 + 4 * 0,08^2}}{2 * 0,08^2} \rightarrow x_{y_0} = 0,446$$

$$\sigma_y = \frac{0,08(5 + 0,446)}{(1 + 0,0001(5 + 0,446))^{0,5}} * 1 * 1 \rightarrow \sigma_y = 0,436$$

$$\sigma_z = \frac{0,06 * (5 + 0,595)}{(1 + 0,0015(5 + 0,595))^{0,5}} * 1 \rightarrow \sigma_z = 0,335$$

Och slutligen:

$$X(5,0,1.7) = \frac{0,0034}{2\pi * 0,436 * 0,335 * 6} * e^0 \left[e^0 + e^{-\frac{(1,7+1,7)^2}{2 * 0,335^2}} \right]$$

Vilket ger:

$$X(5,0,1.7) = \frac{0,0034}{2\pi * 0,436 * 0,335 * 6} * \left[1 + e^{-\frac{(1,7+1,7)^2}{2 * 0,335^2}} \right] \rightarrow 0,000617784 \text{ kg/m}^3$$

$$0,000617784 / 1,2 = 0,00051482 \approx 0,5 \text{ promille} = 500 \text{ ppm}$$

Alltså är den beräknade koncentrationen i position 1 500 ppm.

Bilaga E – Handberäkning av strålning från pölbrand

Flammhöjd

$$h_f = d_p \cdot 42 \left[\frac{b'}{\rho \sqrt{g \cdot d_p}} \right]^{0,61}$$

b' = förbränningshastigheten per ytenhet [m^2s^{-1}]

ρ = luftens densitet [kg m^{-3}]

g = tyngdaccelerationen [ms^{-2}]

hf = 13,92796525

Strålning per ytenhet

$$P = \frac{0,35 \times b' \times h_c}{1 + 4 \frac{h_f}{d_f}}$$

P = 117090,9091 W/m² = 117 kW/m²

Strålning mot beräkningsytan

$$P_{12} = P_1 \times \tau_a \times F_{12}$$

P_{12} = strålningen mot beräkningsytan [Wm^{-2}]

P_1 = strålningen från källan [Wm^{-2}]

τ_a = transmissionsförmågan i luft
= F_{\max} (Vinkelkoefficienten mellan källa och

F_{12} mottagare)

(P i ekvation 6.5 representeras av P_1 i ekvation 6.6.)

Fmax = 0,02

Transmissionsförmåga vid olika lufttemperatur, 100 % luftfuktighet och flamtemperaturen 1200 K

Temp	Ångtryck (kPa)	aw	transmissionsförmåga	
-5	0,45	0,15	0,85	
5	0,8	0,2	0,8	
15	1,75	0,22	0,78	

	kW/m ²
P12(-5C)	1,990545455
P12(5C)	1,873454545

P12(15C) 1,826618182

Bilaga F – Tokikologiska gränsvärden

Följande gränsvärden är hämtade från Handboken till RIB, Räddningsverkets integrerade beslutsstöd för skydd mot olyckor.

IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) - IDLH är den maximala koncentration för vilken en person inom 30 minuter kan undkomma utan att erhålla irreversibla symtom och/eller livshotande skador.

ERPG (Emergency Response Planning Guidelines) är ett mått på den luftburna koncentration under vilken en person efter en timmes exponering kan erhålla symtom av förgiftning. De tre nivåerna är:

ERPG-1: Den maximala koncentration för vilken de flesta personer kan vistas upp till en timme utan att erhålla mer än lindriga och reversibla symtom.

ERPG-2: Den maximala koncentration för vilken de flesta personer kan vistas upp till en timme utan att erhålla irreversibla och/eller allvarliga skador eller symtom som förhindrar personer att vidta skyddsåtgärder.

ERPG-3: Den maximala koncentration för vilken de flesta personer kan vistas upp till en timme utan att erhålla dödliga symtom/skador.

CGL (Communication Guideline Level) - innebär en nivå där graden av utsläpp inte är skadligt för människor, utsläpp kan dock märkas som svag odör eller mild irritation. För att undvika oro bör allmänheten informeras om utsläppet och vilka effekter som det kan få. (Motsvarar ERPG-1)

ATL (Alarm Threshold Level) - vid värden över ATL kan det för vissa personer innebära betydande allvarliga hälsoeffekter, samt kan leda till symptom vilka gör att individer inte kan vidta nödvändiga säkerhetsåtgärder. Symtomen kan innebära andningssvårigheter eller svaghet i muskler. (Motsvarar ERPG-2)

LTL (Life-Threatening Level) – vid värden över LTL finns stor risk för att personer kan utveckla irreversibla och/eller livshotande skador. (Motsvarar ERPG-3)

Från industrin i USA har hämtats gränsvärden som ett komplement till de svenska värdena:

TEEL (Temporary Emergency Exposure Limits)

TEEL-1: Den maximala koncentrationen i luft under vilken det kan antagas att nästan alla individer kan exponeras utan att uppleva annat än milda och reversibla effekter på hälsan eller uppleva en klart urskiljbar lukt.

TEEL-2: Den maximala koncentrationen i luft under vilken det kan antagas att nästan alla individer kan exponeras utan att uppleva eller utveckla irreversibla eller andra allvarliga skadesymtom som kan hindra dem från att vidtaga skyddsåtgärder.

TEEL-3: Den maximala koncentrationen i luft under vilken det kan antagas att nästan alla individer kan exponeras utan att erhålla livshotande eller dödliga skador.

Bilaga G – Intervjustudie

Medverkande

Thomas Carlsson, Brandingenjör, Räddningstjänsten Dala-Mitt
Johan Ingvarsson, Brandingenjör och Civilingenjör i Riskhantering, OKQ8
Anders Karmestam, Brandingenjör, Malmö Brandkår
Fredrik Nystedt, Brandingenjör och Tekn. Licentiat, Øresund Safety Advisers AB

Svaren är aidentifierade och presenteras som A, B, C och D.

Frågor och svar

1. Vilka scenarier används vid den eller de riskanalyser som du utfört i samband med transport av farligt gods?

A. ADR-klasser 1, 2, 3, 6 och 8 används.

Klass 1, Detonation av massexplosiva ämnen

Klass 2: Utsläpp av kondenserad brännbar gas (Gasol) samt utsläpp av kondenserad giftig gas (Svaveldioxid)

Klass 3: Utsläpp och antändning av mycket brandfarliga vätskor (Bensin) som leder till pölbrand.

Klass 6: Utsläpp av giftiga vätskor

Klass 8: Utsläpp av frätande vätskor

B. ADR-klasser 2, 3 och 4 används.

Klass 2: Utsläpp av kondenserad giftig gas (Ammoniak och Svaveldioxid)

Klass 3: Utsläpp och antändning av mycket brandfarliga vätskor (Bensin) som leder till pölbrand.

Klass 4: Utsläpp av Brandfarliga ämnen som antänds

C. ADR-klasser 1, 2 och 3 används.

Klass 1: Detonation av massexplosiva ämnen

Klass 2: Utsläpp av kondenserad giftig gas (Ammoniak och Svaveldioxid)

Klass 3: Utsläpp och antändning av mycket brandfarliga vätskor (Bensin) som leder till pölbrand.

D. ADR-klasser 1, 2, 3 och 5

Klass 1: Detonation av massexplosiva ämnen

Klass 2: Utsläpp av kondenserad giftig gas (Svaveldioxid)

Klass 3: Utsläpp och antändning av mycket brandfarliga vätskor (Bensin) som leder till pölbrand.

Klass 5: Utsläpp av organiska peroxider

2. Hur bedöms flödet av farligt gods?

- A. Vägsträckans maximala kapacitet multiplicerad med nationell statistik över klassfördelning.
- B. Olika beroende på plats; i stad A fanns data på hur många transporter med farligt gods som dagligen passerade hamnområdet. I stad B användes flödesstudier gjorda av gatukontoret för trafik, uppskattning fick göras av andelen tung trafik som utgörs av farligt gods.
- C. SRV:s kartering från 1998 om inget bättre underlag finns framtaget.
- D. SRV:s kartering från 1998

3. Vilka beräkningsmetoder, modeller och program använde du för beräkning av olycksfrekvens?

- A. VTI:s modell för vägtransporter
- B. VTI:s modell för vägtransporter
- C. VTI:s modell för vägtransporter
- D. Räddningsverkets handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg

4. Varifrån hämtas olycksstatistik och trafikflöde (ÅDT)?

- A. Vägverket
- B. Polisen och Vägverket
- C. Vägverket
- D. Vägverket

5. Hur behandlas det faktum att alla tankar inte är fullastade?

- A. Det beaktas inte, standardmått på tankar används.
- B. Det beaktas inte, standardmått på tankar används.
- C. Det beaktas inte, standardmått på tankar används.
- D. Det beaktas inte, standardmått på tankar används.

6. Hur uppskattas sannolikheten för läckage?

- A. Punktvärden med bestämd sannolikhet, olika beroende på ämne eftersom tankarna ser olika ut.

B. Punktvärde (VTI)

C. Punktvärden (VTI)

D. Punktvärden (VTI)

7. Hur uppskattas sannolikheten för att läckaget ska antändas?

A. Punktvärden (Purdy)

B. Punktvärden (Purdy)

C. Punktvärde (FOI)

D. Punktvärden (Lamnevik och Palme, 1998)

8. Vilka beräkningsmetoder, modeller och program använde du för konsekvensberäkningar?

A. Handberäkningar (FOA), Berit Anderssons introduktion till konsekvensberäkningar samt holländarnas ”yellow book”.

B. Bfk och handberäkningar (FOA)

C. Bfk, GASOL och handberäkningar (Drysdale).

D. Bfk och GASOL

9. Vilka hålstorlekar används?

A. Tre hålstorlekar från VTI används i frekvensfördelning.

B. Tre värden från Bfk används, triangelfördelning i @risk.

C. Tre standardmått från Bfk används i frekvensfördelning

D. Tre värden från Bfk, sannolikhetsfördelning

10. Hur hanteras utsläppets höjd över mark?

A. Ett punktvärde

B. Ett punktvärde

C. Ett punktvärde

D. Ett punktvärde

11. Hur behandlas variabeln ytråhet?

- A. Beroende på var den studerade sträckan är belägen används olika värden, är det främst obebyggt så används ytråheten för obebyggt och tvärt om.
- B. Punktvärde bebyggt område.
- C. Punktvärde för bebyggt område
- D. Punktvärde för bebyggt område

12. Hur behandlar du variabeln årstid?

- A. Använder statistik från SMHI för att representera variabeln stabilitetsklass, variabeln årstid ingår som en del i det.
- B. Hanterar osäkerheten i stabilitetsklass (som styrs av årstiden) med hjälp av känslighetsanalys.
- C. Höst som punktvärde
- D. Använder höst som punktvärde.

13. Hur behandlas variabeln tid på dygnet?

- A. Använder statistik från SMHI för att representera variabeln stabilitetsklass, variabeln tid på dygnet ingår som en del i det.
- B. Har hanterat osäkerheten i stabilitetsklass (som styrs av tiden på dygnet) med hjälp av känslighetsanalys.
- C. Dag som punktvärde
- D. Använder dag som punktvärde

14. Vilken metod används för att beräkna skadefall?

- A. ”Methods for the calculation of physical effects”, (“Yellow book”)
- B. Probitfunktion (FOA)
- C. Probitfunktion (FOA)
- D. Probitfunktion (FOA)

15. Vilka gränsvärden används för tryckpåverkan?

- A. Punktvärde (FOI)

C. Punktvärde (FOI)

D. Punktvärde (FOI)

16. Vilka gränsvärden används för strålningspåverkan?

A. 15 kW/m² under 30 sekunder, punktvärde

B. 15 kW/m² under 30 sekunder, punktvärde

C. 15 kW/m² under 10 sekunder, punktvärde

D. 25 kW/m² under 10 sekunder, punktvärde

17. Vilka gränsvärden används för toxicitet?

A. LC 50 under 30 minuter.

B. LC 50 under 15 minuter

C. LC 50 under 15 minuter

D. LC 50 under 15 minuter

18. Hur hanteras variabeln vindhastighet?

A. Frekvensfördelning (SMHI)

B. Frekvensfördelning (SMHI)

C. Punktvärde 2,5 m/s

D. Punktvärde, 2,5 m/s (vindens medelhastighet, SMHI)

19. Hur hanteras variabeln temperatur?

A. Punktvärde, 10°C

B. Punktvärde, 10°C

C. Punktvärde, 10°C

D. Punktvärde, 10°C (medeltemperatur för dag och höst enligt SMHI)

20. Vilken exponeringsväg används vid exponering för toxiska ämnen

B. Inhalation

C. Inhalation

D. Inhalation

21. Vilken grad av fysisk aktivitet används?

B. Låg

C. Låg

D. Låg

Diskussion

De diskussioner som uppstod vid intervjuerna redovisas i kapitel 10 i rapporten.

Bilaga H – Revideringsbilaga

Detta är den revideringsbilaga som presenterades för Länsstyrelsen i Stockholms län vid revidering av rapporten: ”Riskhänsyn vid ny bebyggelse intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer”.

Inledning

Riktlinjerna ska vara så kallat riskinformerande; d.v.s. ett hjälpmedel och stöd vid planering, snarare än riskbaserade (bygger på absoluta kriterier).

Avgränsning

Jag har inte studerat bilagorna till rapporten, jag har inte heller studerat vad urspårning innebär för skyddsavstånd eller hur spårområdet utformning påverkar olycksscenarioer med brandfarliga vätskor. Det är möjligt att skyddsavståndet bör vara längre än 25 meter intill järnväg om hårdgjorda ytor tillåter stor pölutbredning. I det dimensionerande scenariot för pölbrand har jag låtit vägens bredd vara begränsande för pölens utbredning och därmed för strålningsintensiteten.

Problem med nuvarande rekommendationer

Följande står att läsa i sammanfattningen ”Den antagna fördjupade översiktsplanen över sektorn transporter av farligt gods för Göteborgs stad¹ utgör det mest betydande underlaget till rapporten och Länsstyrelsen hänvisar till den för djupare kunskap om vad som ligger till grund för de rekommenderade avstånden m.m. En norm som har använts för att precisera de mål för vilka risker som kan tolereras i Stockholms län innebär att en olycka med tio omkomna får ske högst vart 1000:e – 10.000:e år och en olycka med 100 omkomna högst en gång på 1 – 10 miljoner år.” Detta stämmer inte eftersom avstånden som presenteras i rapporten är baserade på en riskstudie över farligt godstransporterna i Göteborg. Flödet av farligt gods är exempelvis inte detsamma i Stockholm och Göteborg och därmed inte heller risken. På grund av detta stämmer inte heller normen som presenteras.

Alternativ

Jag rekommenderar att två nya avstånd används och att rapporten skrivs om utifrån detta. I rapporten ska det framgå hur dessa tagits fram.

För att ta reda på den föreliggande risken i Stockholm måste riskanalyser utföras med aktuella variabelvärden för Stockholm, annars går det inte att uttala sig om vilka risker som trafiken med farligt gods utgör. Ett eller flera utredningsavstånd kan därefter tas fram. Det är dessutom viktigt att det finns en dialog i planeringsprocessen så att skyddsavstånden används som riktvärden vid nyprojektering.

Förslag till nya rekommendationer

Riskerna som transport av farligt gods medför kan inte elimineras. Samhället har inte obegränsade resurser till att satsa på riskreducerande åtgärder och en viss risk måste därför accepteras. Genom att använda skyddsavstånd som ett verktyg i den fysiska planeringen kan riskerna reduceras. I denna rapport presenteras ett skyddsavstånd och ett utredningsavstånd

TP¹PT Göteborgs kommun, Översiktsplan för Göteborg: fördjupad för sektorn transporter av farligt gods, 1998.

intill vägar och järnvägar för transport av farligt gods. Ett skyddsavstånd på 25 meter inom vilket ny bebyggelse inte bör tillåtas samt ett utredningsavstånd på 150 meter inom vilket all ny bebyggelse ska föregås av en riskbedömning. Detta förslag är framtaget för att användas tillsvidare. En fullständig riskanalys bör utföras om generella skyddsavstånd ska användas i länet, detta rekommenderas dock inte.

Mitt förslag till nya rekommendationer grundar sig på en analys av fördelningen mellan de klasser av farligt gods som transporteras i Sverige. Det visar sig att brandfarliga vätskor, det vill säga klass 3, utgör det dominerande transportslaget. Ett antagande om att detta även gäller i Stockholm har gjorts. Därefter har beräkningar utförts för att ta reda på vilka konsekvenser en sådan olycka kan få, samt vilket skyddsavstånd som är lämpligt för att begränsa dessa konsekvenser. Beräkningar visar att ett avstånd på 25 meter, utmed transportleder för farligt gods, minimerar konsekvenserna av den troligaste olyckan med farligt gods i Stockholm. Ett inre skyddsavstånd på 25 meter intill både vägar och järnvägar med transport av farligt gods rekommenderas därför. Innanför detta avstånd bör ingen ny bebyggelse tillåtas. Marken bör dessutom vara utformad på ett sådant sätt att vätskan inte tillåts rinna ut mot bebyggelsen.

Vid kvantitativa riskanalyser i samband med transport av farligt gods använder man den beräknade risken och jämför den med de risker som man i samhället valt att acceptera. På detta vis kan skyddsavstånd räknas fram. Riskanalyser i samband med transport av farligt gods är emellertid förknippade med stora osäkerheter. I Stockholm är exempelvis flödet av farligt gods inte känt och inte heller fördelningen mellan de transporterade klasserna. Detta medför att risken som transporterna utgör varierar från plats till plats och inte går att fastställa exakt. Vilka risker som man i samhället är beredd att acceptera är dessutom en, i många avseenden, komplex fråga. Detta sammantaget innebär att de olika skyddsavstånd som används i Stockholm, för olika typer av bebyggelse, inte är lämpliga. Istället bör ett utredningsavstånd på 150 meter tillsvidare användas. Ska ny bebyggelse tillåtas innanför detta avstånd bör en riskbedömning visa vilka åtgärder som behöver vidtas för att risknivån ska vara acceptabel.

Att använda en generell fördelning för att representera ett snittflöde i en stad är inte att rekommendera. Tidigare riskstudier har t.ex. utgått från Räddningsverkets kartering från 1998 av farligt godsflödet i Sverige². Denna kartering baseras på en enkätundersökning med en låg svarsfrekvens. Den representerar dessutom endast ett kvartal under 1997, vilket ytterligare ökar osäkerheten i resultatet. Karteringen har vid senare flödesstudier visats underskatta det verkliga flödet, dessutom är fördelningen mellan klasserna inte korrekt. Risken som transporterna medför är i hög grad beroende av vilka mängder som transporteras. Ska generella avstånd även i fortsättningen användas i Stockholms län är det viktigt att en grundlig riskanalys utförs för att fastställa vilka risker som transporterna utgör. Vid en sådan riskanalys bör dessutom flödet av farligt gods i länet utredas.

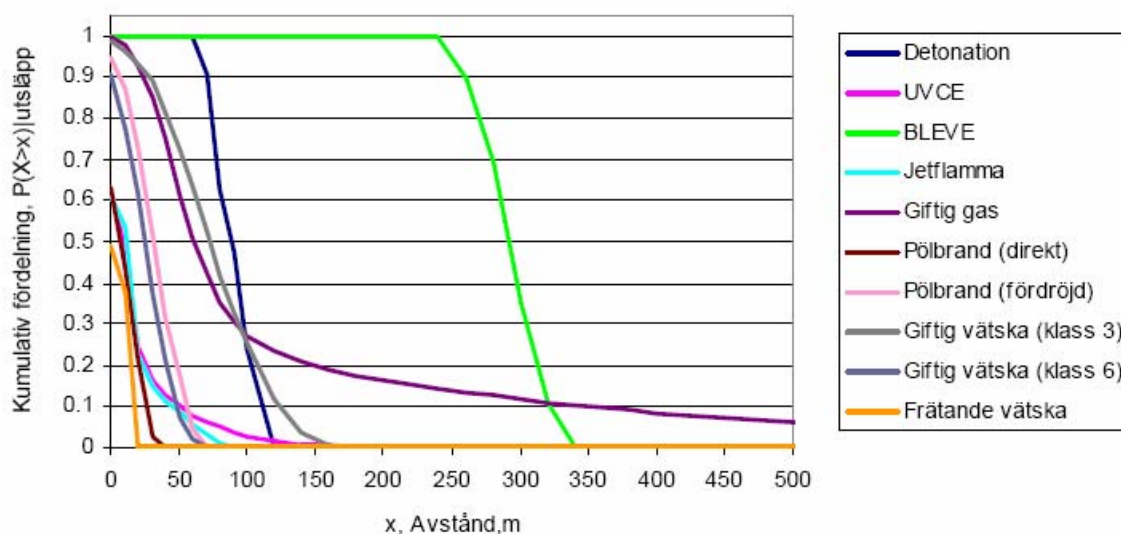
Utredningsavståndet på 150 meter grundas på ett resonemang snarare än en riskanalys. Beräkningar som gjorts av ØSA³ gällande skyddsavstånd i Skåne visar att risken på större avstånd än 140 meter är sådan att ”all sorts markanvändning kan tänkas utan särskilda åtgärder eller analyser.” I Göteborg är samma avstånd satt till 100 meter. Konsekvensberäkningar som presenteras av ØSA⁴ visar dessutom att endast en BLEVE eller

TP²PT Farligt gods på vägnätet – underlag för samhällsplanering, Räddningsverket, Karlstad, 1998

³ Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen, Øresund Safety Advisers AB, Malmö, 2004

⁴ Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen, Øresund Safety Advisers AB, Malmö, 2004

ett utsläpp av tryckkondenserade giftiga gaser kan få allvarliga konsekvenser på ett större avstånd än 150 meter. Dessa avstånd gäller dock för risksituationen i Skåne län.



Figur 10.1 Riskavstånd för olika scenarier, 50 % dödlighet.

Ändringar i rapporten ”Riskhänsyn vid ny bebyggelse intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer”

Sid. 3

Innehållsförteckningen uppdateras efter det att ändringarna är införda.

Sid. 5

Den antagna fördjupade översiktsplanen över sektorn transporter av farligt gods för Göteborgs stad⁵ utgör det mest betydande underlaget till rapporten och Länsstyrelsen hänvisar till den för djupare kunskap om vad som ligger till grund för de rekommenderade avstånden m.m. En norm som har använts för att precisera de mål för vilka risker som kan tolereras i Stockholms län innebär att en olycka med tio omkomna får ske högst vart 1000:e – 10.000:e år och en olycka med 100 omkomna högst en gång på 1 – 10 miljoner år.

Ersätt med

Den antagna fördjupade översiktsplanen över sektorn transporter av farligt gods för Göteborgs stad⁶ samt ”Riktlinjer för skyddshänsyn i samhällsplaneringen”⁷ har konsulterats vid framtagandet av det utredningsavstånd som presenteras i denna rapport.

Sid. 6

De avstånd som rekommenderas av Länsstyrelsen, som en möjlighet att minimera risken, representerar en sammanvägd bedömning av risk, stadsbild, samhällsekonomi m.m.

Detta stämmer inte om rekommendationer följs. Avstånden bygger istället på analyser av de konsekvenser som eventuella olyckor med farligt gods kan få.

⁵ Göteborgs kommun, Översiktsplan för Göteborg: fördjupad för sektorn transporter av farligt gods, 1998.

⁶ Göteborgs kommun, Översiktsplan för Göteborg: fördjupad för sektorn transporter av farligt gods, 1998.

⁷ Riktlinjer för skyddshänsyn i samhällsplaneringen, Öresund Safety Advisers, 2004

Avses bebyggelse eller verksamheter lokaliseras inom 100 meter från en väg eller järnväg som används för transporter av farligt gods eller från bensinstationer och om risk föreligger ska en riskanalys vara ett av underlagen vid planering. Risksituationen kan under särskilda omständigheter behöva utredas även utanför 100 meters avstånd.

150 meter istället för 100

Gällande avstånd från bensinstationer behålls

Vägar med transporter av farligt gods

25 meter byggnadsfritt bör lämnas närmast transportleden.

Tät kontorsbebyggelse närmare än 40 meter från väggkant bör undvikas.

Sammanhållen bostadsbebyggelse eller personintensiva verksamheter närmare än 75 meter från väggkant bör undvikas.

Järnvägar

25 meter närmast järnvägen bör lämnas byggnadsfritt

Tät kontorsbebyggelse närmare än 25 meter från spårkant bör undvikas

Sammanhållen bostadsbebyggelse och personintensiva verksamheter närmare än 50 meter från spårkant bör undvikas

ersätts med

Vägar med transporter av farligt gods

25 meter byggnadsfritt bör lämnas närmast transportleden.

Vid nybyggnation närmare än 150 meter från väggkant bör en riskanalys med tillhörande flödesanalys genomföras.

Järnvägar

25 meter närmast järnvägen bör lämnas byggnadsfritt.

Vid nybyggnation närmare än 150 meter från spårkant bör en riskanalys med tillhörande flödesanalys genomföras.

Sid. 8

Ersätt om med på

Sid. 10

Lägg till följande som är hämtat från ÖSAs rapport:

2.2.3

Bland övrig lagstiftning som behandlar riskanalys märks Lagen (och förordningen) om skydd mot olyckor⁸. En del föreskrifter och förordningar som finns ligger utanför området för riskhänsyn i samhällsplaneringen men behandlar riskanalyser⁹. Vidare finns även föreskrifter från Arbetsmiljöverket, t.ex. "Förebyggande av allvarliga kemikalieolyckor" som tar upp

⁸ Svensk författningssamling 2003:778, *Lagen om skydd mot olyckor*, 2003

⁹ Svensk författningssamling 2003:789, *Förordningen om skydd mot olyckor*, 2003

vilka punkter som minst skall ingå vid identifiering och analys av olycksrisker^{10 11}. Även lagen om brandfarliga och explosiva varor ställer krav på utredning av de risker som kan orsaka brand och explosion samt om de konsekvenser som detta medför¹²

Hantering av farligt gods är ett område som är relativt väldokumenterat med ett stort antal lagar och regler för såväl väg som järnväg. De flesta regler inom ämnesområdet är detaljregler som reglerar allt från utbildning och kompetens till märkning och klassificering^{13 14}. Dock behandlar dessa regler inte hur riskhänsyn skall tas i samhällsplaneringen.

Sid. 11

Arbete pågår på flera håll för att minska den totala risken för att t.ex. olyckor med farligt gods ska inträffa. Riskerna kan minimeras genom minskning eller flyttning av transporterna, genom åtgärder på fordonen eller, genom väg/spårområdet utformning. Riskerna kan också minimeras genom fysisk planering och utformning av närområdet.

Bör ersättas med

Arbete pågår på flera håll för att minska den totala risk som transport av farligt gods medför. Det finns två huvudsakliga metoder för att göra detta. Den ena innebär att sannolikheten för att en olycka ska inträffa minskas. Detta kan göras genom minskning eller flyttning av transporterna, genom åtgärder på fordonen eller genom bättre utformning av väg- och spårområden. Riskerna kan också reduceras genom att konsekvenserna vid en eventuell olycka begränsas. Detta kan göras genom byggtekniska åtgärder, bättre utformning av närområdet samt genom fysisk planering. Skyddsavstånd är ett verktyg inom den fysiska planeringen som bidrar till att minska risken genom att begränsa konsekvenserna vid en eventuell olycka med farligt gods.

Lägg till följande stycke direkt efter

Transport av farligt gods är en av de verksamheter som är viktiga för samhället men som samtidigt utgör en risk för sin omgivning. Eftersom samhället inte kan avsätta oändliga resurser till riskreducerande åtgärder måste en viss risk accepteras. Vid ny bebyggelse kring transportleder för farligt gods bör därför följande fyra principer beaktas.

Rimlighetsprincipen

En verksamhet bör inte innebära risker som med rimliga medel kan undvikas.

Proportionalitetsprincipen

Risken som en verksamhet medför bör stå i proportion till den nytta som den genererar.

¹⁰ Arbetarskyddsstyrelsens föreskrift 1995:5, *Förebyggande av allvarliga kemikalieolyckor*, 1999

¹¹ Arbetsmiljöverket, *Riskbedömning i tillsynsarbetet – en handledning för Arbetsmiljöverket*, 2001

¹² Svensk författningssamling 1988:868, *Lag om brandfarliga och explosiva varor*, 1988

¹³ Statens Räddningsverks Författningssamling 2002:1, ADR-S, *Statens Räddningsverks föreskrift om transport av farligt gods på väg och i terräng*, 2002

¹⁴ Statens Räddningsverks Författningssamling 2002:2, *Statens Räddningsverks föreskrift om transport av farligt gods på järnväg*, 2002

Fördelningsprincipen

Enskilda personer eller grupper bör inte utsättas för oproportionerligt stora risker i förhållande till de fördelar som verksamheten innebär för dem.

Risk är ett flertydigt begrepp. Dess innebörd kan variera beroende på användarens preferenser, men också av den kontext i vilken begreppet används. Vid riskhantering är det vanligt att risken ger uttryck för en sammanvägd värdering av sannolikheten att en viss händelse ska inträffa samt konsekvenserna som den medför. I fallet med farligt gods är det samhället som tar del av nyttan medan de som bor eller arbetar utmed transportlederna får bära risken. Detta är inte förenligt med ovanstående principer och riskerna bör därför reduceras i så hög grad som möjligt. En metod är att använda skyddsavstånd vid fysisk planering. Det utredningsavstånd som presenteras i denna rapport ger ytterligare möjligheter till att belysa riskerna så att åtgärder kan vidtas för att reducera dem.

Ta bort följande stycke

Med ordet risk menas en sammanvägd bedömning av sannolikheten för att en negativ, oväntad händelse ska inträffa och konsekvenserna som den medför.

Sid. 12

Ersätt risker med riskkällor

Sid. 13

Ersätt behövs med kan behövas

Lägg till en förklaring av vad utredningsavstånd innebär, om ett sådant ska användas.

Utredningsavstånd: Skall ny bebyggelse lokaliseras innanför detta avstånd skall en riskanalys upprättas. Detta för att ta reda på vilka risker som föreligger, så att lämpliga åtgärder kan vidtas för att begränsa dem.

Sid. 14

Ersätt de med det

Ett dimensionerande skadefall är inte en olycka med värsta scenario och väldigt liten sannolikhet, men inte heller den vanligaste som är närapå ofarlig, utan en olycka med medelstora konsekvenser och viss sannolikhet att den ska inträffa.

Ersätt med

Ett dimensionerande skadefall innebär den största konsekvens som en trolig olycka kan medföra. En viss olycka med förödande konsekvenser, men med väldigt liten sannolikhet, är alltså inte ett dimensionerande skadefall.

Sid. 15

den för kärnkraftsolyckan.

Ersätt med

den som ett kärnkraftverk medför.

Ersätt sådan matris med riskmatris

Ersätt Detta förutsätter dock med Användandet av riskmatriser kräver

På sidorna 14 – 15 finns ett stycke som behandlar riskacceptans och hur Göteborg behandlar denna fråga. Det är tveksamt om detta stycke skall vara kvar eftersom de nya rekommendationerna inte baseras på riskacceptans.

En av utgångspunkterna vid bedömning av när och hur omfattande åtgärder som krävs för att en risk ska bli acceptabel kan vara att redovisa resultaten i en riskmatris (se nästa sida). Matrisen visar att även om konsekvenserna av en olycka är små kan hög sannolikhet medföra att åtgärder för att minimera den totala risken är befogade. På motsvarande sätt kan en olycka med liten sannolikhet men stora konsekvenser också behöva förebyggas på olika sätt. Ett exempel på en sådan typ av risk är den för kärnkraftsolyckan. Sannolikheten för att en kärnkraftsolycka skall inträffa är praktiskt taget obefintlig. Ändå läggs ofantliga resurser på säkerhetshöjande åtgärder eftersom konsekvenserna av en olycka skulle bli förödande. Den analys som ligger bakom de resultat som redovisas i en sådan matris kan vara allt från enkla uppskattningar till detaljerade sannolikhets- och konsekvensberäkningar.¹⁵

Detta förutsätter dock att den acceptabla risknivån är fastlagd. I Sverige föreligger för närvarande en del oklarheter inför detta ställningstagande. Avstånden som anger den fysiska ramen i den fördjupade översiktsplanen över sektorn transporter av farligt gods för Göteborg grundar sig dock på att gränsen där toleransen i samhället markant börjar minska är då antalet omkomna vid ett olyckstillfälle överstiger tio personer.¹⁶ Det är tveksamt om detta ska med om inte sannolikheten för en farligt godsolycka antas vara samma i Göteborg och Stockholm.

Sannolikhet		A	B	C	D	E
Mycket sannolik Mer än 1 gång/år	5					FINNS ENBART KRIG
1 gång per 1-10 år	4			ÅTGÄRDAS OMEDELBART		
Sannolik 1 gång per 10-100 år	3		ÅTGÄRDAS			
1 gång per 100-1000 år	2	ÅTGÄRDAS EVENTUELLT				
Liten sannolikhet Mindre än 1 gång per 1000 år	1	FÖRSUM-BART				
		Små	Lindriga	Stora	Mycket stora	Katastrofala

¹⁵ Räddningsverket, Värdering av risk, 1997 Karlstad

¹⁶ Göteborgs kommun, Översiktsplan för Göteborg: fördjupad för sektorn transporter av farligt gods, 1998

Figur 3.3 Exempel på riskmatris¹⁷

Sid. 18

Räddningsverket genomför dock övergripande karteringar av flödet av transporter av farligt gods i landet som länsstyrelsen hänvisar till.

Denna text ska tas bort om de nya rekommendationerna ska användas. Annars får den skrivas om. Flödet och fördelningen är väldigt osäker i karteringen. De nuvarande avstånden bygger dessutom på flödet i Göteborg. Det bör därför framgå att samma flöde och fördelning som i Göteborg antas för Stockholm om samma avstånd ska användas.

”Med farligt gods menas i transportsammanhang gods som innehåller ämnen som på grund av sina inneboende egenskaper kan vålla skador i sin omgivning”¹⁸.

Det farliga godset grupperas i 9 olika klasser med avseende på likartad riskbild.

- 1 Explosiva varor
- 2 Komprimerade, kondenserade eller under tryck lösta gaser
- 3 Brandfarliga vätskor
- 4 Brandfarliga fasta ämnen, självantändande ämnen, ämnen som utvecklar brandfarlig gas vid kontakt med vatten
- 5 Oxiderande ämnen och organiska peroxider
- 6 Giftiga ämnen, vämjeliga ämnen och ämnen med benägenhet att orsaka infektioner
- 7 Radioaktiva ämnen
- 8 Frätande ämnen
- 9 Övriga farliga ämnen

Ersätt med följande beskrivning som är hämtad från ”Riskstudie av Farligtgodstransporter inom Norra Stockholms län” av Patrik Dahlberg och Daniel Maria

Farligt gods är ett samlingsbegrepp för ämnen och produkter med sådana egenskaper att de kan orsaka skada på människor, omgivande miljö och egendom om de inte hanteras rätt under transport. Begreppet *transport* innefattar

1. förflyttning av godset med transportmedel
2. lastning och lossning av godset
3. förvaring och hantering av godset i samband med transport

Till egendom och omgivande miljö räknas andra typer av gods, fordon, mark, vägar, vattentäkter och intilliggande byggnader mm. Även tömda men inte rengjorda tankar och förvaringar som innehållit farligt gods enligt ADR/ADR-S, behandlas och klassas som farligt gods. Regelverket ADR har tillkommit för att underlätta klassificering och hantering av det farliga godset. Klassificeringen grundar sig främst på den dominerande huvudrisken som finns med att transportera ett visst ämne. Följande huvudindelning används:

Klass 1 Explosiva ämnen och föremål

Klass 2 Gaser

¹⁷ Räddningsverket, Handbok i kommunal riskanalys, 1989

¹⁸ Proposition 1998/99:49 Säkerhetsrådgivare för transporter av farligt gods mm

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)
Klassindelning av farligt gods enligt ADR

Ta bort följande stycke

Inom farligt godskategorin är graden av “farlighet“ mycket varierande. S.k. kvalificerat farligt gods är ämnen som kan ge skador långt utanför själva olycksplatsen. Dels är det fråga om mycket brandfarliga ämnen (bensin m.m.), dels gäller det kondenserade gaser (gasol, klor, ammoniak, svaveldioxid m.m.)¹⁹.

Bensin är inget brandfarligt ämne och kan inte ge skador långt utanför själva olycksplatsen. Bättre då att presentera en tabell över vilka skador ämnen från de olika klasserna kan ge upphov till.

ADR-klass	Möjliga scenarier	Riskavstånd
Klass 1	Detonation av massexplosiva ämnen som ger tryckverkan och brännskador.	Större än 25, mindre än 150 m.
Klass 2	Utsläpp och antändning av kondenserad brännbar gas som kan ge upphov till BLEVE, gasmolnexplosion, gasmolnsbrand och jetflamma, vilket leder till brännskador och i vissa fall även tryckpåverkan. Utsläpp av kondenserad giftig gas vilket leder till förgiftning vid inandning.	BLEVE Större än 150 m. Jetflamma Större än 25, mindre än 150 m. Giftig gas Större än 150 m.
Klass 3	Utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor som kan ge upphov till pölbrand, vilket leder till brännskador.	25 m
Klass 6	Utsläpp av giftiga ämnen som ger upphov till giftmoln, vilket leder till förgiftning vid inandning	Större än 25, mindre än 150 m.
Klass 8	Utsläpp av frätande ämnen som ger upphov till frätskador	Mindre än 15 m.

Sid. 19

Riskbilden bedöms på olika sätt beroende på om det är en primär eller sekundär transportled som studeras. Eftersom den primära transportleden är avsedd för genomfartstrafik där det ofta

¹⁹ Helsingborg kommun, Helsingborgs översiktsplan, 1997

går relativt stora mängder farligt gods av olika slag kan olyckor med varierande konsekvenser för omgivningen inträffa. Det är därmed viktigt att studera olycksscenarioer med olika typer av ämnen för att se vad som kan inträffa inom det aktuella området. Den sekundära transportleden är endast avsedd för lokala transporter mellan en eller flera målpunkter och de primära genomfartslederna varför flödet av olika slag av farligt gods kan variera kraftigt. Där finns ofta möjlighet att identifiera vilken typ av transporter som sker och i vilken omfattning genom att undersöka målpunkternas leveransbehov utefter den aktuella transportleden.

Eftersom flödet på de olika sträckorna i Stockholm inte är känt så går det inte att uttala sig om hur stor sannolikheten för en viss typ av olycka är. Det går därmed inte heller att fastställa vilka risker som transporterna av farligt gods medför. Vid riskanalyser i samband med ny bebyggelse är det därför viktigt att det verkliga flödet tas fram.

I stadsmiljöer sker det transporter av farligt gods även utanför det rekommenderade vägnätet, Detta på grund av slutmålets lokalisering.

Ersätt med

På grund av slutmålets placering sker transporter av farligt gods även utanför det rekommenderade vägnätet i stadsmiljöer.

En punkt för mycket vid fotnot 21
Sid. 21

Ersätt utläckage med läckage

Ersätt inom hus med inomhus

För beskrivning av vad som kan hända vid en olycka med påföljande utsläpp av brandfarlig vätska, se kap 5.1.

Det bör dock framgå att sådana konsekvenser inte är troliga i samband med exempelvis transport av farligt gods på väg eftersom vägbredden blir begränsande för pölutbredningen. Flamhöjden blir lägre och därmed också strålningsintensiteten. Följande text bör därför ersätta den ovanstående.

Beräkningar visar att en bensinpöl med en area på 100 m² som antänds ger en flamhöjd på ca 15 meter. Anledningen till att pölen antas vara 100 m² beror på att vägbredden är begränsande för pölens utbredning. Strålningsintensiteten från en sådan flamma är ca 10 kW/m² på 20 meters avstånd. En sådan intensitet antas en människa kunna tåla under en begränsad tid.

Förutom den akuta risken för konsekvenser för människors hälsa vid en olycka måste också risk för skador på yt- eller grundvatten, eller andra konsekvenser för miljön, uppmärksammas i samband med transporter av farligt gods på väg. När det gäller risk för förorening av yt- eller grundvatten handlar det dels om risken för påverkan från förorenat väg-dagvatten, och dels om olyckor där giftiga ämnen kan förorena yt- eller grundvattnet. Förutom den akuta risken för förorening av en vattentäkt kan ett utsläpp i marken finnas kvar under lång tid och medföra att ett grundvatten grundvattnet blir obrukbart som dricksvatten under mycket lång

tid framöver. Ett utsläpp till vattendrag kan också påverka sediment och bottendjur under lång tid. Det är därför mycket viktigt att skydda yt- och grundvatten mot förorening och att snabbt sanera ett område som blivit förorenat.²⁰

Ersätt med

Förutom den akuta risken för människors hälsa vid en olycka måste också risk för skador på yt- eller grundvatten, eller andra miljökonsekvenser, uppmärksammas i samband med transporter av farligt gods. När det gäller risk för förorening av yt- eller grundvatten handlar det dels om risken för påverkan från förorenat dagvatten, och dels om olyckor där giftiga ämnen kan förorena yt- eller grundvattnet. Förutom den akuta risken för förorening av en vattentäkt kan ett utsläpp i marken finnas kvar under lång tid och medföra att grundvattnet blir obrukbart som dricksvatten under mycket lång tid. Ett utsläpp till vattendrag kan också påverka sediment och vattenlevande organismer under lång tid. Det är därför mycket viktigt att skydda yt- och grundvatten mot föroreningar och att snabbt sanera ett område som blivit förorenat.²¹

Sid. 22

Den mest dominerande klassen av farligt gods på järnväg i Stockholms län under två månader (hösten 1996) var klass 3 – brandfarliga vätskor. Men även transporter med klass 2 – komprimerade, kondenserade och under tryck lösta gaser, klass 4 – brandfarliga fasta ämnen m.m. och klass 5 – oxiderande ämnen och organiska peroxider förekom i relativt stor omfattning.

Denna text är inte relevant om de nuvarande avstånden ska användas eftersom det inte är flödet i Stockholm som ligger till grund för riskanalysen. Det kan stå kvar om de nya rekommendationerna ska användas eftersom det styrker antagandet att klass 3 är den dominerande klassen.

4.2.1 Exempel på vad som kan hända vid en farligt gods olycka på en järnväg.

Ersätt med

4.2.1 Exempel på vad som kan hända vid en olycka med farligt gods på en järnväg.

eller

4.2.1 Exempel på vad som kan hända vid en farligt godsolycka på en järnväg.

Sid. 23

Konsekvenserna vid en olycka med farligt gods på järnväg är densamma som en farligt gods olycka på väg (se 4.1.1) tillsammans med de mekaniska konsekvenserna.

²⁰ Vägverket, Yt- och grundvattenskydd, Vv Publ.1995:1

²¹ Vägverket, Yt- och grundvattenskydd, Vv Publ.1995:1

Ersätt med

Konsekvenserna vid en olycka med farligt gods på järnväg är desamma som vid en farligt godsolycka på väg (se 4.1.1) tillsammans med de mekaniska konsekvenserna.

Sid. 24

Länsstyrelsens arbetsgrupp har inte hittat några

Ersätt med

Det finns inga

Sid. 25

Förutom risk för brand finns också risk för utläckage och föroreningar p.g.a. spill etc. av drivmedel och oljor till mark och vattendrag. För omgivningen innebär en sådan anläggning också risk för störningar i form av ofta omfattande fordonstrafik även nattetid, buller, avgaser och ljusstörningar från strålkastare. För omgivningen finns också risk för långsiktiga hälsoeffekter orsakade av avgaser och lättflyktiga kolväten, t.ex. bensen, som avgår från fordon och vid tankning och påfyllning av tankar. I Stockholm stad pågår ett arbete där man med avseende på miljö, hälsa och säkerhet i största möjliga utsträckning försöker omlokalisera olämpligt placerade bensinstationer till områden utanför tätbebyggelse.

Ersätt med

Förutom risk för brand finns också risk för läckage och föroreningar p.g.a. spill etc. av drivmedel och oljor till mark och vattendrag. För omgivningen innebär en sådan anläggning risk för störningar till följd av omfattande fordonstrafik. Buller, avgaser och ljusstörningar från strålkastare är exempel på sådana störningar. Risk finns också för långsiktiga hälsoeffekter orsakade av avgaser och lättflyktiga kolväten, t.ex. bensen, som avgår från fordon och vid tankning och påfyllning av tankar. I Stockholm stad pågår ett arbete där man med avseende på miljö, hälsa och säkerhet i största möjliga utsträckning försöker omlokalisera olämpligt placerade bensinstationer till områden utanför tätbebyggelse.

Den dimensionerande skadehändelsen (se förklaring i kap 3.4) för bensinstationer är läckage av bensin i samband med påfyllning från tankbil till cistern (d.v.s. på lossningsplatsen). Utsläppet bildar en pöl som snabbt avger brännbara gas-luftblandningar som kan antändas mycket lätt. Antändningen kan ske genom att gasluft- blandningen kommer i kontakt med heta motordelar, statisk elektricitet eller en brinnande cigarett m.m. Gas-luft-blandningen är tyngre än luft och kan spridas

Ersätt med

Den dimensionerande skadehändelsen (se förklaring i kap 3.4) för bensinstationer är läckage av bensin i samband med påfyllning från tankbil till cistern (d.v.s. på lossningsplatsen). Utsläppet bildar en pöl som börjar avdunsta. Tillsammans med den omgivande luften kan de avdunstade gaserna bilda brännbara blandningar ovanför pölen som kan antändas mycket lätt. Antändningen kan ske genom att blandningen kommer i kontakt med heta motordelar, statisk elektricitet eller en brinnande cigarett etc. Blandningen är tyngre än luft och kan spridas till lågt liggande utrymmen som kulvertar, rörledningar, källare m.m. eller föras med vinden och antändas på avstånd från själva utsläppspunkten.

Sid. 26

Ersätt utläckage med läckage

Sid. 27

Ta bort ordet ofta

gas-luftblandning bildas som antänds i samband med att motorn startas t.ex.

ersätt med

blandning bildas som kan antändas i samband med att motorn startas.

Byt ordet mer mot med

Sid. 28

Ta bort följande stycke. Räddningstjänstlagen har ersatts av Lagen om skydd mot olyckor.

Enligt räddningstjänstlagen²² (7 §) är det kommunen som ska svara för att åtgärder vidtas inom kommunen så att bränder och skador till följd av bränder förebyggs. Kommunen ska också främja annan olycksförebyggande och skadebegränsande verksamhet i kommunen.

Flytta den gulmarkerade fotnoten innanför punkten

Sid. 29

Risker och störningar från bensinstationer bör lämpligen uppmärksammas i översiktsplanen tillsammans med målformuleringar angående skyddsavstånd till skyddsvärd bebyggelse så som bostäder, vårdlokaler, skolor och bebyggelse som rymmer ett stort antal människor och/eller är svåra att utrymma m.m.

Ersätt med

Risker med och störningar från bensinstationer bör lämpligen uppmärksammas i översiktsplanen tillsammans med målformuleringar angående skyddsavstånd till skyddsvärd bebyggelse så som bostäder, vårdlokaler, skolor och bebyggelse som rymmer ett stort antal människor och/eller är svåra att utrymma m.m.

Sid. 30

Ta bort bokstaven n

Sid. 31

farligt gods transporter

²² Räddningstjänstlagen (1986:1102) (omtryckt 1992:948)

Ersätt med

transport av farligt gods

En utgångspunkt för Länsstyrelsens rekommendationer för farligt gods transporter är att planeringsprinciperna bör överensstämma med dem som finns i andra regioner i Sverige. I både Göteborg och Helsingborg har man gjort ett mycket omfattande och ambitiöst arbete med att utarbeta riktlinjer för riskbedömning av farligt godstransporter i översiktsplanen. Göteborgs kommun har tagit fram en fördjupad översiktsplan över sektorn transporter av farligt gods som bygger på utredningsmaterial som FOA (Försvarets forskningsanstalt) har tagit fram. Översiktsplanen presenterar en sammanvägd bedömning av risk, stadsbild, samhällsekonomi m.m. Länsstyrelsen har bl.a. utgått ifrån dessa riktlinjer och utarbetat rekommendationerna för Stockholms län med anpassning efter de förutsättningar som råder här.

Länsstyrelsens rekommendationer bygger därmed också på de acceptanskriterier som den fördjupade översiktsplanen för Göteborg grundar sig på, nämligen:

Att tio omkomna vid ett olyckstillfälle i olika sammanhang sätts som gränsen där toleransen i samhället markant börjar minska. Att drabbade inte nämnvärt kan påverka skeendet. Att drabbade i stort inte är direkt engagerade i verksamheten som orsakar olyckan och därför har liten förståelse för den. Att risken att drabbas är ojämnt fördelad eftersom den beror på var man bor eller arbetar.

En norm som har använts för att precisera mål för vilka risker som kan tolereras i Göteborg anges också som acceptabel tolerans i Stockholms län enligt Länsstyrelsen. Målet innebär att en olycka med tio omkomna får ske högst vart 1000:e – 10.000:e år och en olycka med 100 omkomna högst en gång på 1 – 10 miljoner år.

Denna text måste ändras. Ska de nya rekommendationerna antas så ska det inte stå något om acceptanskriterier. Det bör istället framgå hur dessa avstånd är framtagna, vad de innebär och hur de bör användas. Ska de gällande avstånden behållas måste det framgå att avstånden är framtagna för att gälla Göteborg stad. Det måste dessutom framgå vilka antaganden som görs då avstånden antas gälla även i Stockholm.

Länsstyrelsen ska verka för att minimera risker vid nyexploatering och i befintliga miljöer. För befintlig bebyggelse vid transportleder för farligt gods, järnväg och bensinstationer, bör så långt som möjligt åtgärder vidtas för att säkerheten ska närma sig den som eftersträvas för ny bebyggelse. Exempel på åtgärder är t.ex. att förstärka fasader, kontoriserat bostäder, utforma marken närmast på ett sådant sätt att skadorna begränsas vid en eventuell olycka. Länsstyrelsen ska också verka för att höja säkerheten för de oskyddade trafikanterna vid alla länets järnvägsstationer. Säkerheten för dessa människor kan till exempel höjas med hjälp av skyddsräler.

Ersätts med

Länsstyrelsen ska verka för att minimera risker i befintliga miljöer och vid nyexploatering. För befintlig bebyggelse vid transportleder för farligt gods, järnväg och bensinstationer, bör så långt som möjligt åtgärder vidtas för att säkerheten ska närma sig den som eftersträvas för ny bebyggelse. Exempel på åtgärder är förstärkning av fasader, utforma marken på ett sådant sätt att konsekvenserna begränsas vid en eventuell olycka. Länsstyrelsen ska också verka för att

höja säkerheten för oskyddade trafikanter vid länets järnvägsstationer. Säkerheten för dessa människor kan till exempel höjas med hjälp av skyddsräler.

Jag (och ingen som jag frågat) vet i och för sig inte vad skyddsräler är för något.

Inom 100 meter från transportled för farligt gods ska risksituationen bedömas vid exploatering. Det är inte lämpligt att lokalisera känslig bebyggelse såsom bostäder, sjukhus, vårdlokaler, daghem och skolor i direkt anslutning till transportleder för farligt gods. Avses bebyggelse eller verksamheter lokaliseras inom 100 meter från vägen och om risk föreligger ska en riskanalys (se 3.4) vara ett av underlagen vid planering. Risksituationen kan under särskilda omständigheter även behöva utredas utanför 100 meters avstånd.

Antas de nya rekommendationerna så ska ovanstående stycke ersättas med följande

Inom 150 meter från transportled för farligt gods ska risksituationen bedömas vid exploatering. Det är inte lämpligt att lokalisera känslig bebyggelse såsom bostäder, sjukhus, vårdlokaler, daghem och skolor i direkt anslutning till transportleder för farligt gods. Avses bebyggelse eller verksamheter lokaliseras inom 150 meter från vägen och om risk föreligger ska en riskanalys (se 3.4) vara ett av underlagen vid planering. Risksituationen kan under särskilda omständigheter även behöva utredas utanför 100 meters avstånd. Inom 25 meter från transportled för farligt gods bör ingen ny bebyggelse tillåtas.

Ersätt 100 med 150

25 meter byggnadsfritt bör lämnas närmast transportleden. Detta för att undvika risker förknippade med avåkning och samt begränsa konsekvenser vid olyckor med brandfarliga vätskor petroleumprodukter, vilket är det dominerande transportslaget av farligt gods.

Ersätts med

25 meter byggnadsfritt bör lämnas närmast transportleden. Detta för att undvika mekanisk åverkan vid avåkning samt begränsa konsekvenser vid olyckor med brandfarliga vätskor, vilket är det dominerande transportslaget av farligt gods.

Längs vägar för farligt gods bör tät kontorsbebyggelse närmare än 40 meter från vägkant och sammanhållen bostadsbebyggelse inom 75 meter från den undvikas. Även om avstånden hålls kan ändå särskilda krav behöva ställas på bebyggelsens utformning. Längs de sekundära transportlederna för farligt gods där endast enstaka bensintransporter sker kan kortare avstånd tillämpas.

Personintensiva verksamheter bör inte lokaliseras närmare än 75 meter från en transportled för farligt gods om de kommer att inrymma människor som kan ha svårt att snabbt genomföra en utrymning. Även om avstånden hålls kan ändå särskilda krav behöva ställas på bebyggelsens utformning.

Detta ska inte stå kvar om de nya rekommendationerna antas. Det är endast försvarbart om flödet av farligt gods kan antas vara samma i Stockholm som i Göteborg och antaganden som gjorts i Göteborg även accepteras i Stockholm.

Sid. 33

Byt ut aktuellt mot aktuella

Det är lämpligare att lokalisera kontor och industri nära en transportled för farligt gods där vistas som snabbt, kan söka skydd och utan hjälp och är vuxna, än personer som vistas i bostäder, ålderdomshem, sjukhus m.m. som kan påverkas av risker även på natten under sömn. De är svåra att varna och de kan ha svårt att söka skydd och sätta sig i säkerhet utan hjälp.

Ersätts med

Det är lämpligare att lokalisera kontors- och industribyggnader nära en transportled för farligt gods än bostäder, ålderdomshem, sjukhus m.m. Detta eftersom människor här snabbare kan nå av information och har lättare för att sätta sig i säkerhet än barn, gamla och sjuka.

Sid. 34

Ytorna i bebyggelsen kan lokaliseras på ett sådant sätt att utrymningsvägar, personintensiva utrymmen, sovrum eller vardagsrum och fasad med stora fönsterytor vänds från riskkällan.

Ersätts med

Utrymningsvägar, personintensiva utrymmen, sovrum eller vardagsrum samt fasad med stora fönsterytor bör lokaliseras så att de är vända bort från riskkällan.

Är det en primär eller sekundär transportled för farligt gods? På primära transportleder går oftast många olika typer av farligt gods medan flödet på de sekundära varierar beroende av vilka målpunkter som är lokaliserade utefter den studerade sträckan. Även kommande trafiksituation bör beaktas.

Ersätts med

Flödet på den aktuella vägen, samt hur fördelningen mellan klasserna ser ut, är avgörande för vilken risk som transporterarna utgör. Flödesanalyser är därför viktiga vid riskanalyser i samband med ny bebyggelse.

Ta bort ett visst

Vilka Tekniska åtgärder

Genom att ha förstärkt väggkonstruktion, brandtålig fasad och förstärkta med så små ytor som möjligt kan fasaden mot riskkällan stå emot brand och explosionspåverkan bättre. Ventilationen kan förses med nödbrytare och luftintaget placeras bort från riskkällan.

Ersätts med

Tekniska åtgärder

Genom förstärkt väggkonstruktion, brandtålig fasad och brandklassade fönsterglas kan fasaden mot riskkällan stå emot brand- och explosionspåverkan bättre. Ventilationen kan förses med nödbrytare och luftintag placeras bort från riskkällan.

Finns andra Alternativa lösningar

Risken exponeringen för de människor som kommer att uppehålla sig inom området kan minskas genom att t.ex. flytta på den eller de riskkällor (se 3.2) som alstrar alla eller en stor del av transporterna med farligt gods som passerar det aktuella planområdet eller införa tidsstyrning av transporterna så att de sker under tider då minst antal människor befinner sig i området

Ersätts med

Alternativa lösningar

Risken exponeringen för människor inom området kan reduceras genom att t.ex. flytta den eller de riskkällor (se 3.2) som alstrar alla eller en stor del av transporterna med farligt gods på den aktuella vägen. Alternativt kan tidsstyrning av transporterna införas så att de sker under tider då färre människor befinner sig i området.

Räddningstjänstens insatsmöjligheter enligt räddningstjänstplanen

Ersätts med

Räddningstjänstens insatsmöjligheter enligt handlingsprogrammet

Ofta krävs det att flera av ovanstående kriterier talar för att säkerheten kan klaras för att ett avsteg från rekommendationerna ska accepteras.

Ersätts med

För att ett avsteg ska medges, krävs det ofta att flera av ovanstående kriterier talar för att risken är acceptabel

Sid. 35

I städernas centrala och mer tätbebyggda områden kan det finnas starka motiv till att bygga nya bostäder men sämre förutsättningar att fullt ut klara riktvärdena. Den princip för avstegsfall som kan tillämpas i dessa områden innebär att överskridande av riktvärdet accepteras på ena sidan av fastigheten om en "tyst" sida kan erbjudas för minst hälften av boningsrummen i varje lägenhet och på uteplatser. Avstegsfall bör dock tillämpas restriktivt och vara väl motiverat.

Ersätts med

I städernas centrala och mer tätbebyggda områden kan det finnas starka motiv till att bygga nya bostäder trots att riktvärdena inte uppfylls. Den princip för avstegsfall som kan tillämpas i dessa områden innebär att överskridande av riktvärdet accepteras på ena sidan av fastigheten om en "tyst" sida kan erbjudas för minst hälften av boningsrummen i varje lägenhet och på uteplatser. Avstegsfall bör dock tillämpas restriktivt och vara välmotiverade.

100 ersätts med 150 om de nya rekommendationerna antas.

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.

Ersätts med

25 meter byggnadsfritt bör lämnas närmast järnvägen. Detta för att undvika mekanisk åverkan vid avakning samt begränsa konsekvenser vid olyckor med brandfarliga vätskor, vilket är det dominerande transportslaget av farligt gods.

Längs järnvägar 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 en utrymning eller sätta sig i säkerhet. Även om avstånden hålls kan särskilda krav behöva ställas på bebyggelsens utformning.

Detta ska inte stå kvar om de nya rekommendationerna antas. Det är endast försvarbart om flödet av farligt gods kan antas vara samma i Stockholm som i Göteborg och antaganden som gjorts i Göteborg även accepteras i Stockholm.

Sid. 35

Byt ut blir mot är

I övrigt är det samma ändringar som i avstegsfallen för väg förutom att väg ändras mot järnväg

Sid. 38

Byt ut ordet full mot fullständig

Ta bort ett av de båda även

Stationens omsättning av bränsle och stationens utformning samt omgivningens förutsättningar och lokalklimat m.m. påverkar riskernas och störningarnas omfattning, liksom om lokalerna ska inrymma människor som kan ha svårt att snabbt genomföra en utrymning. För en mindre station med mycket små försäljningsvolymerna bensin kan det i vissa fall vara möjligt att minska skyddsavståndet från miljö- och hälsoskyddssynpunkt i och med att störningarna är mindre. För en stor bensinstation med stora försäljningsvolymerna kan behovet av skyddsavstånd istället behöva ökas med hänsyn till miljöaspekterna. Konsekvenserna vid en olycka blir dock lika omfattande oavsett om det är en station med stor eller liten omsättning, även om sannolikheten för att en olycka ska inträffa kan vara mindre.

Ersätt med:

Stationens omsättning av bränsle, stationens utformning samt omgivningens förutsättningar och lokalklimat m.m. påverkar riskernas och störningarnas omfattning. För en liten station med små försäljningsvolymerna kan det i vissa fall vara möjligt att minska skyddsavståndet från miljö- och hälsoskyddssynpunkt med tanke på att störningarna normalt är mindre. För en stor bensinstation med stora försäljningsvolymerna kan behovet av skyddsavstånd istället behöva ökas med hänsyn till miljöaspekterna. Konsekvenserna vid en olycka är dock av stationens storlek och omsättning, även om sannolikheten för att en olycka ska inträffa kan vara olika.

Länsstyrelsens rekommendationer för den fysiska utformning kring bensinstationer:

Ersätt med:

Länsstyrelsens rekommendationer för den fysiska utformningen kring bensinstationer:

I nyplaneringsfallet (ny bebyggelse eller ny bensinstation) bör alltid ambitionen vara att hålla ett avstånd på 100 meter från bensinstationen till bostäder, daghem, ålderdomshem och sjukhus²³. Detta avser en bensinstation med medelstor försäljningsvolym av fordonsbränsle

ersätt med:

Vid nyplanering (ny bebyggelse eller ny bensinstation) bör alltid ambitionen vara att hålla ett avstånd på 100 meter från bensinstationen till bostäder, daghem, ålderdomshem och sjukhus²⁴. Detta avser en bensinstation med medelstor försäljningsvolym av fordonsbränsle

Ur både risk-, miljö- och hälsoskyddssynpunkt bör ett minimiavstånd på 50 meter alltid hållas från bensinstation till bostäder, daghem, ålderdomshem och sjukhus samt samlingsplatser utomhus där oskyddade människor uppehåller sig (t.ex. uteservering, lekplats m.m.).

Ersätt med

Ur både säkerhets-, miljö- och hälsoskyddssynpunkt bör ett minimiavstånd på 50 meter alltid hållas från bensinstation till bostäder, daghem, ålderdomshem och sjukhus samt samlingsplatser utomhus där oskyddade människor uppehåller sig (t.ex. uteservering, lekplats m.m.).

Sid. 40

Ta bort ordet också

Sid. 41

Räddningstjänstens insatsmöjligheter enligt räddningstjänstplanen

Ersätt med

Räddningstjänstens insatsmöjligheter enligt handlingsprogrammet

Ofta krävs det att flera av ovanstående kriterier talar för att säkerheten kan klaras för att ett avsteg från rekommendationerna ska accepteras.

Ersätt med

²³ Boverket m.fl., Bättre plats för arbete - Allmänna råd 1995:5, 1995 Jönköping

²⁴ Boverket m.fl., Bättre plats för arbete - Allmänna råd 1995:5, 1995 Jönköping

För att ett avsteg ska medges krävs det ofta att flera av ovanstående kriterier talar för att risken är acceptabel.

Sid. 42

Ta bort □ Räddningstjänstlagen (1986:1102) (omtryckt 1992:948)

Lägg till

¹ Svensk författningssamling 2003:778, *Lagen om skydd mot olyckor*, 2003

¹ Svensk författningssamling 2003:789, *Förordningen om skydd mot olyckor*, 2003

¹ Arbetskyddsstyrelsens föreskrift 1995:5, *Förebyggande av allvarliga kemikalieolyckor*, 1999

¹ Arbetsmiljöverket, *Riskbedömning i tillsynsarbetet – en handledning för Arbetsmiljöverket*, 2001

¹ Svensk författningssamling 1988:868, *Lag om brandfarliga och explosiva varor*, 1988

¹ Statens Räddningsverks Författningssamling 2002:1, ADR-S, *Statens Räddningsverks föreskrift om transport av farligt gods på väg och i terräng*, 2002

¹ Statens Räddningsverks Författningssamling 2002:2, *Statens Räddningsverks föreskrift om transport av farligt gods på järnväg*, 2002

De huvudsakliga riskkällorna vid transport av farligt gods utgörs av dem som kan leda till en eller flera av följande konsekvenser; brand, explosion och utsläpp av frätande eller giftiga kemikalier. Vid ett utsläpp av farligt gods kommer konsekvenserna att variera beroende på ämnets fysikaliska och kemiska egenskaper. Farligt gods är indelat i nio ADR-klasser vilka presenteras tabell 1 nedan. Fördelningen i tabellen är hämtad från Räddningsverkets kartering²⁵. Det är från klasserna 1, 2, 3, 6 och 8 som ovanstående konsekvenser kan härledas. De övriga klasserna utgör normalt ingen fara för omgivningen då konsekvenserna vid en eventuell olycka koncentreras till fordonets närhet.

Klass 3, brandfarliga vätskor, står för cirka 3/4 av transportererna av farligt gods på vägarna i Sverige. Det är därför rimligt att man i planeringsstadiet främst koncentrerar förebyggande åtgärder mot olyckor med brandfarliga vätskor. Ett scenario är att ett utsläpp som ger upphov till en pöl med en diameter på ca 100 m² antänds. Strålningen från en sådan brand kan ge upphov till dödliga brännskador för människor som befinner sig inom 20-25 meters avstånd. Ett skyddsavstånd på 25 meter innebär alltså att den troligaste konsekvensen, som olyckor med farligt gods ger upphov till, elimineras. På så vis reduceras också den totala risken.

I rapporten ”Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen”²⁶ som gjorts av ÖSA på uppdrag av Länsstyrelsen i Skåne, visar det sig att riskerna minskar markant vid tre olika avstånd, 20, 60 och 140 meter. På större avstånd än 140 meter anses risken vara acceptabel oberoende av vilken typ av bebyggelse som planeras. I Göteborg har detta avstånd satts till 100 meter.

Det finns ingen utförlig redogörelse över vilka mängder farligt gods som transporteras på vägnätet i Stockholm. Flödet kan dessutom variera från år till år av olika anledningar. Riskanalyser i samband med transport av farligt gods är dessutom förknippade med stora

²⁵ SRVs kartering från 1998

²⁶ Ösas rapport

osäkerheter. Detta sammantaget gör att den verkliga risken som transporterna utgör är svår att uppskatta genom beräkningar. Att använda skyddsavstånd minskar emellertid riskerna och genom att utföra riskanalyser kan riskkällor belysas och riskreducerande tekniska åtgärder vidtas. Ska exempelvis kontorslokaler lokaliseras på 40 meters avstånd från en farligt godsled, kan en riskanalys visa vilka scenariers konsekvenser som kan utgöra risker. Åtgärder kan därefter vidtas för att begränsa dessa konsekvenser.

Ett inre skyddsavstånd på 25 meter begränsar konsekvenserna från de mest frekventa olyckorna. Vid projektering inom 150 meter bör alltid en riskbedömning utföras så att lämpliga åtgärder kan vidtas för att begränsa riskerna.

ADR-klass	Ämne	Vägtransport
Klass 1	Explosiva ämnen	0.9 %
Klass 2	Komprimerade, kondenserade eller under tryck lösta gaser	12.0 %
Klass 3	Brandfarliga vätskor	76.9 %
Klass 4	Brandfarliga fasta ämnen	0.9 %
Klass 5	Oxiderande ämnen och organiska peroxider	1.2 %
Klass 6	Giftiga ämnen	0.6 %
Klass 7	Radioaktiva ämnen	0.1 %
Klass 8	Frätande ämnen	7.2 %
Klass 9	Övriga farliga ämnen	0.3 %

Tabell 1

ADR-klass	Möjliga scenarier	Riskavstånd
Klass 1	Detonation av massexplosiva ämnen som ger tryckverkan och brännskador.	Större än 25, mindre än 150 m.
Klass 2	Utsläpp och antändning av kondenserad brännbar gas som kan ge upphov till BLEVE, gasmolnexplosion, gasmolnsbrand och jetflamma, vilket leder till brännskador och i vissa fall även tryckpåverkan. Utsläpp av kondenserad giftig gas vilket leder till förgiftning vid inandning.	BLEVE Större än 150 m. Jetflamma Större än 25, mindre än 150 m. Giftig gas Större än 150 m.
Klass 3	Utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor som kan ge upphov till pölbrand, vilket leder till brännskador.	25 m
Klass 6	Utsläpp av giftiga ämnen som ger upphov till giftmoln, vilket leder till förgiftning vid inandning	Större än 25, mindre än 150 m.
Klass 8	Utsläpp av frätande ämnen som ger upphov till frätskador	Mindre än 15 m.

Tabell 2