

Jämförelser av olika former av QRA och andra metoder för riskanalys av processindustrier

Ulf Bergstrand

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

**Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5166, Lund 2005

**Jämförelser av olika former av QRA och andra metoder för
riskanalys av processindustrier**

Ulf Bergstrand

Lund 2005

Jämförelser av olika former av QRA och andra metoder för riskanalys av processindustrier

Ulf Bergstrand

Report 5166

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5166--SE

Number of pages: 56

Illustrations: Ulf Bergstrand

Keywords

QRA, accident scenario, Purple Book, Anticipatory Failure Determination.

Sökord

QRA, kvantitativ riskanalys, Purple Book, haveriscenario, representativa scenarier, absoluta riskmått.

Abstract

When performing a QRA you have to consider a number of accident scenarios. How many scenarios you choose often determines the time and resources needed to perform the QRA. The report investigates the possibility that a QRA can be performed using only a few representative scenarios. Further it presents a discussion on how these scenarios should be constructed.

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

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>
Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

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

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>
Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12

Sammanfattning

Det finns några olika sätt att beräkna riskerna från en processanläggning gentemot omgivningen. Ett sätt är att utföra QRA (Quantitative Risk Assessment) med individrisk och samhällsrisk som resultat. Ett annat sätt är att beräkna konsekvenserna för ett eller flera dimensionerande skadefall. QRA kan göras med större eller mindre detaljeringsgrad (framför allt med avseende på antal scenarier). Syftet med examensarbetet är att jämföra metoder för riskanalys av processindustrier med olika detaljeringsgrad för att om möjligt hitta ett fåtal objekt och haverifall som ger en representativ bild av risken. Examensarbetet skall även belysa frågeställningen kring dimensionerande skadefall som alternativ till riskanalys genom att jämföra med QRA-metoder.

Arbetet behandlar endast risker för tredje man eller allmänheten. Specifikt betraktas endast konsekvensen dödsfall av personer som befinner sig utanför en processindustri anläggning. Ingen diskussion sker kring interna risker i anläggningen och heller inte skador på miljö eller ekonomiska konsekvenser. Vidare behandlas endast fasta anläggningar och inga transporter av farligt gods.

Först utfördes en detaljerad riskanalys av en del av en fabrik. Som underlag till fallstudien användes propenkylsystemet i Borealis krackeranläggning i Stenungsund. Riskanalysen utfördes enligt metoden som presenteras i Dutch Purple Book. I Purple Book finns ett antal fördefinierade haveriscenarier för varje typ av utrustning, exempelvis tankar, värmeväxlare och rör. Sammanlagt gjordes beräkningar på 137 olika scenarier med hjälp av programmet SAVE II.

Resultatet från fallstudien analyserades sedan med avseendet att ta fram ett fåtal haveriscenarier som skulle ge samma bild av risken som den detaljerade och tidskrävande riskanalysen enligt Purple Book. Av de 137 scenarier som ingick i beräkningarna var det 16 stycken som kunde leda dödsfall av tredje man. Specifikt var det momentana utsläpp från de största tankarna, där över 20 ton propen släpptes ut, och kontinuerliga utsläpp på grund av rörbrott på de grövsta rören som gav dödlig risk. Två representativa scenarier (ett momentant och ett kontinuerligt) konstruerades enligt ett statistiskt resonemang, där utsläppsmängden beräknades som ett genomsnitt och haverifrekvensen genom att addera frekvensen från de enskilda 16 scenarierna. En jämförelse med resultatet från fallstudien visade att de två representativa scenarierna gav nästan exakt samma bild av risken.

De två representativa scenarierna jämfördes också med två scenarier som fått representera propenkylsystemet i en annan riskanalys. Scenarierna, som ingår i en QRA där syftet är att beräkna risken från all processindustri i Stenungsundsområdet, är framtagna genom att experter resonerat sig fram till representativa haverifall. Även här är det ett momentant utsläpp och ett rörbrott som ansetts representativa. Det är dock skillnader i haverifrekvensen och mängden propen som släpps ut. I säkerhetsstudien framgår det inte riktigt hur problemet med att ett scenario ersätter flera möjliga händelser behandlas. Slutsatsen som dras är också att det behövs ordentliga riktlinjer för hur representativa scenarier skall väljas för att risker och riskkällor skall kunna jämföras.

För att förenkla arbetet med att ta fram representativa scenarier till en QRA presenteras en ny metod. Metoden bygger på att mängden kemikalie som släpps ut bestäms först, varefter haverifrekvensen beräknas genom en sammanvägning av frekvenser för alla möjliga haverifall som skulle kunna ge upphov till den valda utsläppsmängden.

I ett antal länder i Europa, bland annat i Holland, har myndigheterna bestämt kvantitativa gränser för hur stor risk industrialanläggningar får utgöra. Riskmåttet bestäms med hjälp av QRA. I Holland används Purple Book som underlag när risken från en anläggning beräknas. En diskussion förs om att introducera en liknande lagstiftning i Sverige. Att utföra QRA enligt Purple Book är dock ett tids- och resurskrävande arbete då ett stort antal scenarier måste definieras. Det här examensarbetet visar nu att ett fåtal haveriscenarier kan vara tillräckligt för att visa risken från en industrialanläggning. Resultatet är dock starkt beroende av hur dessa scenarier bestäms. Det behövs därför riktlinjer eller bestämda metoder för val av scenarier, resonemanget kring utsläppsmängder och haverifrekvenser måste kunna följas och granskas kritiskt. Den nya metoden som presenteras i arbetet är ett exempel på hur representativa scenarier kan konstrueras systematiskt och där beräkningar och resonemang är enkla att följa.

Användandet av dimensionerande skadefall ger ett deterministiskt synsätt på risker, där fokus ligger på konsekvensen. Eftersom ingen hänsyn tas till sannolikheten ges ingen total riskbild. I en extrem användning av dimensionerande skadefall som mått på risken skulle en ombyggnad och utökning av en verksamhet inte visa någon ökad risk om det dimensionerande skadefallet fortfarande bedömdes vara det samma. Företagen måste arbeta med reducerande åtgärder som både minskar sannolikheten för och konsekvensen av att olyckor händer. Om man bara fokuserar på konsekvenser och riskavstånd är det möjligt att det leder till felprioriteringar av åtgärder. De dimensionerande skadefallen kommer heller inte att räcka som underlag för kvantitativa riskkriterier.

Summary

QRA or Quantitative Risk Assessment is one method to calculate risks from process industry installations. When performing a QRA you have to consider a number of accident scenarios. How many scenarios you choose often determines the time and resources needed to perform the QRA. The purpose of this master's thesis is to compare methods with different level of detail aiming, if possible, to find a few specific scenarios that can represent the risk from a complete installation. The purpose is also to discuss the concept of dimensioning accidents ("dimensionerande skadefall") and compare it to QRA.

The thesis covers only risks for third party or more specific the consequence "death of person outside the facilities". No damages on the environment or economic consequences are considered. The aim is to look at permanent installations only and not any transports of dangerous goods.

First a very detailed quantitative risk assessment was performed, following the method presented in the "Dutch Purple Book". The object of the assessment was the propylene heat exchange system at Borealis AB's petrochemical installation in Stenungsund. Purple Book gives a description on how to perform a QRA, with predefined loss of containments for every single component (vessels, heat exchangers, pipes, etc.). In total calculations were made for 137 accident scenarios, using the consequence calculation program SAVE II.

The result from the assessment on the propylene heat exchange system was then analysed with the purpose to find a few accident scenarios that would give the same result as the detailed method presented in Purple Book. Only 16 scenarios of the original 137 actually resulted in casualties outside the facility. The scenarios were of two types, instantaneous release of more than 20 ton propylene from large vessels with delayed ignition and continuous release from ruptures of pipes. Two representative scenarios (one instantaneous and one continuous) were constructed using a statistical line of reasoning. The amount propylene released was chosen as an average and the frequency as a sum, using the single values of the 16 "lethal" scenarios. A comparison of the results from the detailed risk assessment and the representative scenarios showed almost identical individual risk and group risk.

The two representative scenarios were also compared with two scenarios defined for the propylene heat exchange system in another QRA, performed by Anders Jacobsson. The purpose in Jacobsson's study is to show the risks from all the large-scale chemistry industries in Stenungsund. The scenarios and their frequency in this QRA were chosen by a discussion between experts on risk assessment and experts on the processes. The similarity in chosen scenarios was notable, as the experts had also chosen a pipe rupture and an instantaneous release from the largest vessel as representative scenarios. There where, however, differences in the choice of frequency and amount propylene released. Since the way of reasoning of the experts could not be followed it is hard to say why the scenarios they choose should be considered representative. The conclusion from the comparison is that specific guidelines for the choice of representative scenarios must be produced and followed if two independent assessments are to be compared.

In order to simplify the work of producing representative scenarios for QRA a new systematic method is presented in the thesis. The method is influenced by the basics of AFD (Ancipatory Failure Determination). When following the method you start off by deciding at what distances from the source of release you want to calculate the risks. The first step is than to

calculate the needed amount of dangerous substance that when released can create consequences at the chosen distances. The frequencies of the scenarios are finally calculated by adding frequencies for all loss of containments large enough to give a release of the calculated amount of substance.

In a few nations in Europe, among them Holland, the authorities have regulated on quantitative threshold values deciding tolerable risk from industries handling dangerous substances. The risks from every facility must be calculated using QRA and be presented as individual risk and group risk. The Purple Book is written by Dutch authorities and is used as QRA-guidelines. A discussion is going on about implementing regulated threshold values also in Sweden. To perform a QRA following the method in Purple Book is a very time consuming work due to the large number of scenarios to define. The thesis shows that a few single scenarios can be sufficient to calculate the risk from an installation. The result, however, depends very much on how the representative scenarios are chosen. If a regulation is to be put in practise also in Sweden, new methods or guidelines on how representative scenarios should be chosen must be produced. The new method presented in the thesis is an example of how scenarios can be produced systematically. The calculations and ways of reasoning in the new method are also easy to follow from an authority point of view.

The use of dimensioning accidents gives a deterministic view of the risks, focusing only on the consequence. Since the probability concept is not considered you do not get a complete picture of the risks. Companies must focus on measures reducing both the consequences and frequency of accidents. If you only focus on the consequence it is possible that it can lead to the wrong ranking of measures in order of priority. The dimensioning accidents would not be sufficient if quantitative threshold values of risk where to be introduced in Sweden.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	1
SUMMARY	7
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	9
1 INLEDNING	11
1.1 BAKGRUND	11
1.2 SYFTE.....	11
1.3 METOD.....	11
1.4 RAPPORTENS DISPOSITION.....	12
1.5 AVGRÄNSNINGAR.....	12
2 QRA	12
2.1 SCENARIO.....	13
2.2 SANNOLIKHET ELLER FREKVENNS	13
2.3 KONSEKVENNS	13
2.4 OSÄKERHET I QRA	14
2.4.1 <i>Frekvens</i>	15
2.4.2 <i>Konsekvens</i>	15
2.5 RESULTAT	15
3 DIMENSIONERANDE SKADEFALL	16
3.1 METOD.....	16
3.2 DIMENSIONERANDE SKADEFALL JÄMFÖRT MED QRA	16
4 ABSOLUTA RISKMÅTT OCH TOLERABEL RISK	17
4.1 EXEMPEL HOLLAND	17
4.2 SVERIGE IDAG OCH I FRAMTIDEN.....	17
5 PURPLE BOOK	18
5.1 BEGRÄNSNING AV STUDIEN	18
5.2 SCENARIER.....	18
5.3 KONSEKVENNSBERÄKNINGAR	19
6 FALLSTUDIE ENLIGT PURPLE BOOK	19
6.1 PROPENKYLSYSTEMET	19
6.2 METOD.....	19
6.2.1 <i>Analys av propenkylsystemet</i>	19
6.2.2 <i>Definition av scenarier</i>	20
6.2.3 <i>Konsekvensberäkningar</i>	20
6.3 SCENARIER.....	21
6.3.1 <i>Tankar och filter</i>	21
6.3.2 <i>Värmeväxlare</i>	21
6.3.3 <i>Rör</i>	21
6.3.4 <i>Kompressorn</i>	22
6.3.5 <i>Säkerhetsventiler</i>	22
6.4 KONSEKVENNSBERÄKNINGAR	22
6.4.1 <i>Källstyrka</i>	22
6.4.2 <i>Beräkningar i SAVE II</i>	23

6.4.3	<i>Andra antaganden och begränsningar</i>	25
6.5	RESULTAT	26
6.5.1	<i>Individrisk</i>	26
6.5.2	<i>Samhällsrisk</i>	27
6.6	DISKUSSION	27
6.6.1	<i>Osäkerheter</i>	27
6.6.2	<i>Värdering av resultatet</i>	27
7	VAL AV REPRESENTATIVA HAVERISCENARIER	28
7.1	ANALYS AV FALLSTUDIEN.....	28
7.1.1	<i>Antal scenarier</i>	28
7.1.2	<i>Frekvens</i>	29
7.1.3	<i>Utsläppsmängd</i>	29
7.1.4	<i>Resultat</i>	31
7.2	SÄKERHETSSTUDIE AV STENUNGSUNDS INDUSTRIOMRÅDE.....	34
7.3	JÄMFÖRELSE.....	35
7.3.1	<i>Frekvens</i>	35
7.3.2	<i>Konsekvens</i>	35
7.3.3	<i>Sammanfattning</i>	36
8	FÖRSLAG TILL NY METOD	36
8.1	TEORI.....	36
8.1.1	<i>Konsekvens</i>	37
8.1.2	<i>Frekvens</i>	38
8.2	METOD.....	38
8.2.1	<i>Kemikalieanalys</i>	38
8.2.2	<i>Val av konsekvens</i>	38
8.2.3	<i>Frekvensanalys</i>	39
8.2.4	<i>Resultatberäkning</i>	39
8.3	EXEMPEL.....	39
8.3.1	<i>Val av konsekvens</i>	39
8.3.2	<i>Frekvensanalys</i>	40
8.3.3	<i>Resultatberäkning</i>	41
9	SAMMANFATTANDE DISKUSSION.....	42
10	REFERENSER.....	43
10.1	MUNTliga	43
10.2	INTERNET	43
10.3	BÖCKER OCH TIDSSKRIFTER	43
11	FÖRTECKNING ÖVER BILAGOR.....	44
	BILAGA 1. SCENARIER I FALLSTUDIEN.....	46
	BILAGA 2. POPULATIONSDATA FÖR STENUNGSUND	50
	BILAGA 3. METEORLOGISKA DATA FÖR STENUNGSUND.....	52
	BILAGA 4. BERÄKNINGAR AV HUR RISKAVSTÅNDET BEROR AV UTSLÄPPSMÄNGD	53
	BILAGA 5. SCHEMA ÖVER METOD FÖR ATT VÄLJA REPRESENTATIVA SCENARIER I EN QRA FÖR EN PROCESSINDUSTRIANLÄGGNING.	55

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Det finns några olika sätt att beräkna riskerna från en processanläggning gentemot omgivningen. Ett sätt är att utföra QRA (Quantitative Risk Assessment) med individrisk (riskkonturer) och samhällsrisk (FN-kurvor) som resultat, baserat på allt från haverier med måttliga konsekvenser till "worst case". Ett annat sätt är att beräkna konsekvenserna för ett eller flera dimensionerande skadefall (mindre konsekvenser men högre sannolikheter än "worst case").

QRA kan göras med större eller mindre detaljeringsgrad (framför allt med avseende på antal scenarier). Den ena ytterligheten utgörs av att för varje utrustning och rörledning i en fabrik definiera ett stort antal haverifall. Det kan för en petrokemisk fabrik resultera i att hundratals – kanske tusen fall måste beräknas (Jacobsson, 2004). En sådan detaljerad metod beskrivs i Dutch Purple Book (CPR 18E, 1999). I denna specificeras även sannolikheterna som skall användas för varje enskilt fall. Den andra ytterligheten är att försöka ersätta alla dessa fall med några få representativa haverifall och bedömningar av sannolikheten med hjälp av erfarna personer.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att jämföra metoder för riskanalys av processindustrier med olika detaljeringsgrad för att om möjligt hitta ett fåtal objekt och haverifall som ger en representativ bild av risken. Genom att utföra en detaljerad riskanalys ges underlag för att studera vilka faktorer och parametrar som framförallt påverkar sannolikhet och konsekvens. Detta syftar sen mot att presentera en systematisk metod för att ta fram representativa scenarier när man utför en kvantitativ riskanalys av en stor anläggning.

Examensarbetet skall även belysa frågeställningen kring dimensionerande skadefall som alternativ till riskanalys genom att jämföra med QRA-metoder. Syftet är att utreda om det dimensionerande skadefallet/-en räcker för att visa risken från en anläggning.

1.3 Metod

Examensarbetet utgjordes av tre delar. Den första delen bestod i att utföra en detaljerad riskanalys enligt metoden som presenteras i Purple Book. Som underlag för riskanalysen valdes propenkylsystemet i Borealis krackeranläggning i Stenungsund. Genom att först studera processchema och anläggningsritningar gjordes en första definition av vilka komponenter som riskanalysen skulle bygga på. Efter det gjordes ett studiebesök på Borealis för att få svar på frågeställningar som dykt upp under den första analysen. För att riskanalysen inte skulle bli allt för komplicerad och tidskrävande gjordes ett antal avgränsningar och antaganden. Dessa gjordes framförallt efter riktlinjer i Purple Book och i samråd med handledaren. Konsekvensberäkningar utfördes sedan med hjälp av utsläppsmodeller i FOA (FOA, 1997) och datorprogrammet SAVE II.

Del två i arbetet gick ut på att analysera resultatet i fallstudien med intentionen att hitta ett eller ett fåtal representativa scenarier. Detta gjordes framförallt genom att hitta vilka scenarier som kunde ge upphov till dödsfall av tredje man. Med hjälp av beräkningar i Matlab studerades också sambandet mellan mängden utsläppt propen och riskavståndet. De

representativa scenarierna som bestämdes ur analysen av fallstudien jämfördes sedan med scenarier ur en studie av hela Stenungssunds industriområde, där propenkylsystemet var representerat.

Tredje delen av arbetet blev sedan att generalisera resultatet av del ett och två. Detta gjordes genom att presentera en ny metod för att välja representativa scenarier till en QRA i processindustrin. Metoden togs fram genom att studera litteratur på området att skapa scenarier. Genom att framförallt beakta metoden AFD (Anicipatory Failure Analysis) (Kaplan et. Al, 1999) skapades en metod som bygger på att man fokuserar på konsekvensen för att sedan analysera hur den skulle kunna uppstå.

1.4 Rapportens disposition

En betydande del i arbetet var också att utförligt beskriva metodiken i QRA. Stor vikt lades på att ge läsaren förståelse för vilka parametrar som är viktiga och vilka osäkerheter som är behäftade med riskanalysmetoden. Begreppet dimensionerande skadefall analyserades också och jämfördes med metodiken i QRA.

För att bättre sätta examensarbetet i sitt sammanhang diskuterades användandet av QRA som metod för att bestämma absoluta riskmått. I ett kapitel i rapporten beskrivs också metoden i Purple Book i detalj. Med bakgrunden klar blir det sedan lättare att följa fallstudien och resonemanget med representativa scenarier. Sist i rapporten presenteras den nya metoden för att välja scenarier. Den delen skall också avse ett slutgiltigt resultat av examensarbetet.

1.5 Avgränsningar

Arbetet behandlar endast risker för tredje man eller allmänheten. Specifikt betraktas endast konsekvensen dödsfall av personer som befinner sig utanför en processindustriplanläggning. Ingen diskussion sker kring interna risker i anläggningen och heller inte skador på miljö eller ekonomiska konsekvenser. Vidare behandlas endast fasta anläggningar och inga transporter av farligt gods.

I fallstudien och resonemanget kring denna, är kemikalien som behandlas hela tiden propen. Typen av scenarier som behandlas är uteslutande haverier av utrustning och komponenter i processerna. I arbetet presenteras metoder som felträd och händelseträd för att behandla bakomliggande orsaker till dessa haverier men i alla beräkningar används generiska värden.

Avgränsningar och antaganden som görs i samband med beräkningar presenteras löpande i rapporten.

2 QRA

Metoden i QRA är konstruerad för att svara på tre frågor:

1. Vad kan gå fel?
2. Hur sannolikt är det att det händer?
3. Vad blir konsekvensen?

Första frågan besvaras genom att hitta händelser som kan leda till skador på människor, egendom eller miljö. För varje sådan händelse eller scenario besvaras sedan fråga nummer två och tre med hjälp av kvantitativa värden. Den kvantitativa definitionen av risk skrivs ofta som $\{<S_i, L_i, X_i>\}_C$, där varje scenario S har en sannolikhet L och konsekvens X . Genom att hitta alla tänkbara scenarier och beräkna deras sannolikhet och konsekvens fås ett komplett set av scenarier, vilket visas av betäckningen C . (Kaplan et. Al, 1999)

2.1 Scenario

Definitionen av ett antal scenarier är centralt i QRA-processen. Ett scenario är en händelse eller ett händelseförlopp, som frångår det normala. I QRA används begreppet som ett uttryck för en starthändelse av något slag. I en kemisk industri skulle den starthändelsen kunna vara ett rör som brister och giftig eller brandfarlig gas strömmar ut. Specifikt kan sen starthändelsen leda till olika konsekvenser beroende på bland annat möjligheten att begränsa utsläppet och väderförhållanden. Enligt definitionen av risk ovan så måste alla möjliga händelser hittas för att beräkna den totala risken. Detta är naturligtvis en omöjlig uppgift och därför får man inrikta sig på att hitta de viktigaste (Kaplan et. Al, 1999). Även den uppgiften kan för en stor anläggning vara mycket omfattande. En annan möjlighet blir istället att hitta en grupp av händelser som kan representera alla viktiga händelser (CCPS, 2000).

2.2 Sannolikhet eller frekvens

I klassisk statistik beräknas sannolikhet genom att beräkna antalet utfall dividerat med antalet försök. Exempelvis om du kastar en vanlig tärning 60 gånger så bör du få ungefär 10 sexor. Om det inte är lämpligt att prata om antal försök utan något som pågår kontinuerligt brukar man istället prata om en frekvens, antalet utfall under en viss tid. För kemisk industri och dess utrustning används nästan uteslutande begreppet haverifrekvenser, som oftast anges i antal utfall per år.

Det finns framförallt två metoder för att uppskatta eller beräkna frekvensen för ett givet scenario (Abrahamsson, 2002). Den första bygger på historiska data om haverier av liknande slag. Om det givna scenariot exempelvis ges av att en pump havererar och det sker ett utsläpp av kemikalie, kan frekvensen generellt beräknas genom att dividera antalet pumphaverier med antalet driftår för pumparna i fråga.

Den andra metoden bygger på att hitta det händelseförlopp som leder till det givna scenariot. Detta gör man genom att rita upp felträdet och händelseträdet. I ett felträd utgår man från en topphändelse för att sedan hitta underliggande orsaker till att topphändelsen sker. I felträdet används de logiska operatorerna ”och” och ”eller” för att schematiskt rita upp händelseförloppet. Frekvensen för topphändelsen beräknas sedan med hjälp av frekvensen för de grundhändelser som finns i botten på trädet (Kemikontoret, 2001). Även i denna metod kan användandet av historiska data vara nödvändig. Fördelen mot att enbart använda historiska data är att grundhändelserna i felträdet ofta är bättre definierade än topphändelsen, vilket minskar osäkerheten i värdet på frekvensen.

Ett händelseträde, i motsats till felträdet, utgår från en grundhändelse som sedan förgrenar sig i olika förlopp beroende på vilka omständigheter som råder. Ofta används händelseträdet för att kartlägga konsekvensen av en händelse (Kemikontoret, 2001). Om vi än en gång använder pumphaveriet som exempel och kemikalien som släpps ut är brandfarlig, så kan händelseträdet användas för att ta reda på vad som krävs för att utsläppet skall leda till att någon skadas.

2.3 Konsekvens

Konsekvensen för ett givet scenario där någon form av kemikalie släpps ut kan presenteras på olika sätt. När syftet med en QRA är att visa risken för tredje man är konsekvensen ofta hur många människor som kan omkomma eller skadas. Konsekvensen kan också mätas i exempelvis förlorad produktionstid eller i monetära termer. Själva konsekvensberäkningarna kan delas upp i två delar, spridningsmodeller och effektmodeller. I den första delen gäller det

att beskriva hur ett utsläpp av en kemikalie sprider sig och blandas med luft från omgivningen. I den andra gäller det att beskriva hur molnet påverkar de personer som befinner sig i dess omgivning (CCPS, 2000).

Modeller för hur ett kemikalieutsläpp sprider sig bygger framförallt på idealiserade systems fysikaliska egenskaper och experiment i förminskad skala. Modellerna är ändå mycket komplicerade och konsekvensberäkningar i kvantitativa riskanalyser görs nästan uteslutande med datorer och specialdesignade programvaror. Utbredningen av ett gasmoln beror framförallt av fyra faktorer (Kemikontoret, 2001):

1. Utströmningsförhållanden
Presenteras ofta som en källstyrka med mängden utsläppt kemikalie som släpps ut per tidsenhet. Källstyrkan i sig beror av hur stort hål som kemikalien strömmar ut ur samt tillståndet hos kemikalien.
2. Ämnets egenskaper
Viktiga egenskaper för spridning är hur pass tung gasen är jämfört med luft eftersom speciella effekter på spridningen uppstår om gasen är tung. För att beräkna effekten av utsläppet behövs också ämnets toxikologiska och brandfarliga egenskaper.
3. Meteorologiska förhållanden
Vindriktningen bestämmer vilket område som drabbas av ett kemikalieutsläpp. Vindhastigheten och vädrets stabilitet påverkar inblandningen av luft i det utsläppta molnet. Låg vindhastighet och stabilt väder ger dålig inblandning och ett stort område med höga koncentrationer gas.
4. Topografiska förhållanden
Hinder som är i vägen för gasmolnets utbredning ger ökad turbulens och större luftinblandning. Hinder kan också skapa lävakar där koncentrationen av kemikalie lokalt kan vara mycket hög.

Kemikalier kan delas upp i grupper efter deras effekter. Ofta pratar man om toxiska eller brandfarliga kemikalier. Vissa kemikalier är dessutom både toxiska och brandfarliga. Ett utsläpp av en brandfarlig kemikalie är farligt för omgivningen endast om en antändning sker. Detta kräver i sin tur att blandningen av kemikalie och luft måste ha vissa proportioner samt förekomst av en tändkälla (Kemikontoret, 2001). Om antändning sedan sker påverkas människor på två sätt. Dels genom värmestrålningen, dels genom den tryckvåg som uppstår om det utsläppta molnet exploderar (CPR 18E, 1999).

Metoder för att beräkna effekterna av utsläpp av toxiska kemikalier bygger ofta på studier av hur kemikalien påverkar djur. Studierna ger ett samband mellan den dos (mängd kemikalie) som djurens utsätts för och sannolikheten för död. Dosen i sin tur beror av koncentrationen kemikalie samt exponeringstiden. Sambandet presenteras ofta som en så kallad probitfunktion som ger sannolikheten för att personer dödas vid en viss koncentration och exponeringstid (CPR 18E, 1999). Oftast tas bara hänsyn till kemikaliers akuta toxicitet men effekterna kan drabba människor i ett längre perspektiv genom att exempelvis öka risken för cancer och andra kroniska sjukdomar (Kemikontoret, 2001).

2.4 Osäkerhet i QRA

Markus Abrahamsson skiljer i sin studie om osäkerheter i kvantitativ riskanalys på två olika typer av osäkerhet. Den ena typen av osäkerhet beror av naturlig variation och slump medan den andra kommer från vår begränsade kunskap och brister i modeller och metoder (Abrahamsson, 2002).

2.4.1 Frekvens

Tidigare har framförallt två metoder för att bestämma haverifrekvensen presenterats, historiska (generiska) data samt felträd och händelseträd. Användandet av historiska data vid bestämningen av haverifrekvenser för utrustning i processanläggningar är väl utbredd. Det optimala är om information från den egna anläggningen kan användas. För en processanläggning sker som tur är katastrofala utsläpp av kemikalier väldigt sällan och dokumenterade ”nära olycka”-fall räcker oftast inte för att uppskatta frekvensen. Istället används generiska data från liknande anläggningar och utrustning runtom i världen. Det finns många databaser och tabellverk som presenterar haverifrekvenser för de flesta komponenter som ingår i olika kemiska processer. Osäkerheten ligger i hur representativa de generiska värdena är. Olika förutsättningar och anledningar till haveri gäller på varje anläggning (Abrahamsson, 2001). Tillverkare av komponenter har börjat förstå vikten av säker utrustning och mäter ofta hur pålitlig deras utrustning är. Siffrorna används sedan i marknadsföringssyfte. Problemet är här att det inte finns standards för dessa tester och att jämföra tillverkare med varandra är svårt (Goble, 2001).

Det andra tillvägagångssättet att hitta orsaker till att ett haveri eller annan oönskad händelse leder till utsläpp är också behäftad med osäkerheter. Ofta är grunden till fel ett mänskligt felhandlande och svårigheten att kvantifiera sådana händelser är stor. Just nu forskas en hel del om vilka faktorer som påverkar människor att göra fel, som kan leda till katastrofala olyckor (Bier, 1999).

2.4.2 Konsekvens

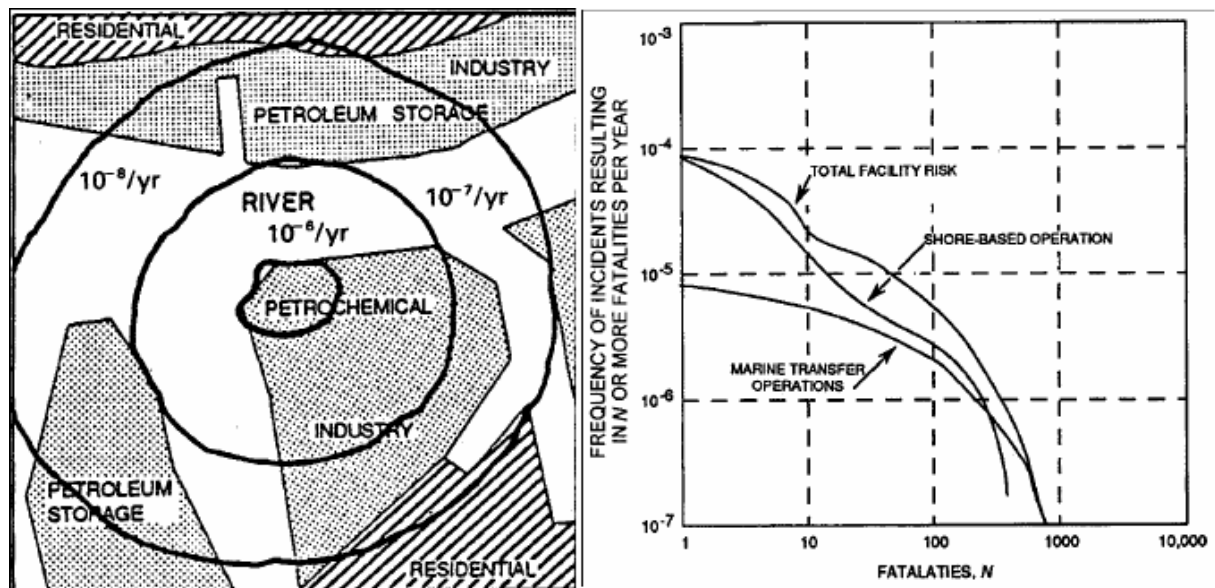
Som nämnts tidigare bygger modeller för spridning på idealiserade system och stämmer inte alltid överens med verkligheten. Exempelvis generaliseras eller utesluts topografins komplicerade inverkan på spridning i många modeller och dataprogram (Kemikontoret, 2001).

Osäkerhet kring effekter av explosion och brand är den samma som för spridningen. Matematiska modeller kan bara uppskatta verkligheten. När det gäller toxiska effekter uppstår dessutom problemet att överföra värden från djurstudier till effekter på människor.

2.5 Resultat

Resultatet från en QRA kan visas på olika sätt. Vanligast är att man använder sig av en kombination av två grafiska modeller; individrisk och samhällsrisk (grupprisk), se figur 1. Individrisk bygger på antagandet att en oskyddad person befinner sig på samma ställe under ett helt år. Resultatet ges då av en sannolikhet att drabbas av en viss konsekvens, oftast död, under det året. Individrisken presenteras oftast med riskkonturer, som visar frekvensen för död på olika avstånd från riskkällan.

Den andra modellen tar till skillnad från individrisken hänsyn till hur befolkningsgeografin ser ut runt objektet i riskanalysen. Modellen kallas samhällsrisk och ges oftast i form av en F/N-kurva (Frequency of accidents versus Number of deaths per accident) där frekvensen finns på y-axeln och en viss konsekvens, vanligast antal dödade personer, finns på x-axeln. Genom att summera frekvensen för alla scenarier som ger en viss konsekvens fås en kurva som visar sambandet mellan frekvens och konsekvens (Jacobsson och Lamnevik, 2001).



figur 1, exempel på individrisk (t.v.) och samhällsrisk (t.h.), (Abrahamsson, 2002).

3 Dimensionerande skadefall

Efter en rad olyckor med gasmolnexplosioner i Europa under 1970-talet, bland annat katastrofen i Flixborough 1974, utformades en handbok för att uppnå en ökad säkerhet inom processindustrin. I handboken introduceras begreppet dimensionerande skadefall, som skall arbetas fram i både olycksförebyggande och skadeförebyggande syfte. Det dimensionerande skadefallen skall vara de största troliga utsläppen (IVA, 1981).

3.1 Metod

Det finns ingen väl definierad metod för att ta fram dimensionerande skadefall och den lite luddiga definitionen gör det inte lättare. Uttrycket "de största troliga utsläppen" i definitionen har fått betydelsen att det i alla fall inte handlar om något *worst case*. Inom kemikalieindustrin anses de mest realistiska utsläppen ske genom att ventiler går sönder (Kemikontoret, 2001) eller brott på rör av mindre dimension (Jacobsson och Lamnevik, 2001). När fallet väl är definierat görs spridningsberäkningar och effektberäkningar precis som i QRA.

Eftersom det inte finns några riktlinjer från myndigheter eller specifika metoder för att bestämma dimensionerande skadefall är det upp till företagen själva att bestämma vilka händelser som kan anses dimensionerande. Ett exempel på skadefall är för Shell Raffinaderi AB i Göteborg att en fri gasmolnexplosion sker på grund av ett läckage i processen. Fallet medför ingen risk för personskador utanför Shells industriområde (Räddningstjänsten i Göteborgs websida). Inget resonemang förs över hur sannolik händelsen är.

3.2 Dimensionerande skadefall jämfört med QRA

Användandet av dimensionerande skadefall ger ett deterministiskt synsätt på risker, där fokus ligger på konsekvensen. Eftersom ingen hänsyn tas till sannolikheten ges ingen total riskbild. Fallen används framförallt till att bestämma skyddsavstånd mellan riskkällor och det som måste skyddas (exempelvis allmänheten) (Davidsson et. Al., 1997). Fallen används också i planeringen för räddningsinsatser och i dimensionering av räddningsstyrkor (Stenungsunds kommuns websida).

I QRA, som benämns som en probabalistisk metod, behandlas sannolikheten kvantitativt och bidrar till risken på ett helt annat sätt. En annan skillnad de båda metoderna emellan är att man ofta förlitar sig på ett eller ett fåtal dimensionerande skadefall medan en QRA består av allt från små haverier till riktigt stora utsläpp. Det dimensionerande skadefallet kan då endast ses som ett stickprov på vad som kan hända. I en extrem användning av dimensionerande skadefall som mått på risken skulle en ombyggnad och utökning av en verksamhet inte visa någon ökad risk om det dimensionerande skadefallet fortfarande bedömdes vara det samma.

Enligt lagen om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor (SFS 1999:381) måste företag som behandlar farliga kemikalier bedöma sannolikheten och konsekvensen av olyckor som kan inträffa. Det är osäkert om den kvalitativa bedömningen av sannolikheten för ett dimensionerande skadefall räcker.

4 Absoluta riskmått och tolerabel risk

En av styrkorna i att kvantifiera risk är att det ger underlag för att jämföra risker från olika anläggningar med varandra. I bland annat Holland och England har man gått ännu ett steg längre och använder QRA för att ta fram absoluta riskmått. Myndigheterna i de länderna har också bestämt gränsvärden för vilken risk som är tolerabel.

4.1 Exempel Holland

I Holland krävs enligt lag att företag med fasta processanläggningar lämnar in ett dokument som innehåller risker presenterade som riskkonturer (individrisk) och FN-kurvor. Dessa värden jämförs med kriterier som bestämts av holländska myndigheter. Kriterierna som bestämdes 1989 är för individrisken utanför staketet på anläggningen:

- Maximalt tolerabel risk för nya anläggningar är 10^{-6} per år.
- Maximalt tolerabel risk för existerande anläggningar är 10^{-5} per år.

Kriteriet för samhällsrisk presenteras som en rät linje i ett FN-diagram som skär genom punkterna antal döda = 10 och frekvensen 10^{-5} samt antal döda = 100 och frekvensen 10^{-7} . Av dessa kriterier är det bara individrisken för nya anläggningar som strikt ej får överträdas, de andra kriterierna kan i vissa fall överskridas om exempelvis vidare riskreduktion skulle kräva orealistiskt stora kostnader (Davidsson et. Al., 1997). Gränsvärdena har bestämts genom att studera hur stor risken är att dö av andra orsaker i samhället och idén bygger på att en specifik risk från en närliggande industri anläggning inte nämnvärt får öka den risken (Jacobsson och Lamnevik, 2001).

4.2 Sverige idag och i framtiden

I Sverige finns inte någon lagstadgad kvantitativ nivå för hur stor risk en processanläggning får utgöra på omgivningen. Här är också användningen av QRA begränsad. Det anses från många håll att de osäkerheter som metoden är befattad med gör den olämplig för att bestämma om en anläggning utgör en tolerabel eller intolerabel risk (Riskkollegiet, 2004).

Fördelarna med att införa riskkriterier är många bland annat:

- Förbättrad kommunikation mellan olika aktörer (myndigheter, företag och allmänhet)
- Ökat bruk av riskanalyser, vilket i sin tur ger ökad riskmedvetenhet och att fel kan åtgärdas i tid.
- Möjlighet att justera kriterier och tillämpningar efter hand

För att kunna implementera kvantitativa riskkriterier behövs dock väl definierade metoder för riskanalys, behandling och redovisning av osäkerheter samt även hur riskanalyser skall kunna granskas kritiskt (Davidsson et. Al, 1997).

5 Purple Book

Purple Book är publicerad av holländska Committee for Prevention of Disasters (CPR-RE) och den ger riktlinjer för beräkningar av kvantitativa risker (QRA) med kemiska ämnen. Boken är uppdelad i två delar där den första delen behandlar stationära anläggningar och del två ger riktlinjer för beräkning av risker med framförallt transporter till och från anläggningen. Del ett är skriven av det holländska institutet för hälsa och miljö under överseende av CPR-RE.
(http://www.rivm.nl/milieu/risicos/externe_veiligheid/CPR18/cpr18.jsp, 2005-01-19).

5.1 Begränsning av studien

Processindustrier består ofta av stora industriområden där flera olika processanläggningar är samlade. Eftersom metoden som presenteras nedan är väldigt detaljerad och behandlar varje utrustning i anläggningarna skulle en behandling av varje komponent inom hela industriområdet bli ett enormt arbete. I Purple Book finns därför en indexerad metod för att välja vilka delar av en industri som ger störst bidrag till den totala risken. Det första steget i en QRA enligt metoden i Purple Book blir därför att dela upp sin anläggning i mindre, väl avgränsade delar. Delarna kan anses separata om de kan isoleras från varandra på mycket kort tid efter en olycka. Det är också viktigt att man skiljer på lagerverksamhet och processverksamhet.

För varje delanläggning beräknas nu så kallade selektionsnummer, S. Formeln för S ser olika ut för giftiga ämnen samt brandfarliga och explosiva ämnen.

- $S^T = (100/L)^2 \cdot A^T$ (giftiga)
- $S^F = (100/L)^3 \cdot A^F$ (brandfarliga)
- $S^E = (100/L)^3 \cdot A^E$ (explosiva)

I formlerna är L längden från delanläggningen till en specifik punkt. S måste beräknas för minst åtta punkter runt gränsen för anläggningen och för det närmaste bostadsområdet. Indikeringsnumret A beräknas enligt formeln:

- $A = \sum A_i$
- $A_i = (Q \cdot O_1 \cdot O_2 \cdot O_3) / G$

A_i beräknas för varje kemikalie i delanläggningen. Q är det totala innehållet kemikalie. O_1 - O_3 är faktorer som beror av vilken typ av verksamhet det är, om verksamheten befinner sig utomhus eller inomhus respektive vilket tillstånd kemikalien är i. G är ett gränsvärde som för giftiga ämnen beror av LC_{50} -koncentrationen. För brandfarliga ämnen är G tio ton och för explosiva ämnen är G mängden som är ekvivalent mot 1000 kg TNT.

Delanläggningen skall sen väljas för vidare beräkning om selektionsnumret är större än 1 för någon punkt och även större än 50 % av det största selektionsnumret i den punkten. Delanläggningen skall också väljas om selektionsnumret är större än 1 för det närmaste bostadsområdet.

5.2 Scenarier

När delanläggningarna för vidare beräkningar är utvalda börjar arbetet med den egentliga QRAn. För varje typ av komponent i processen skall ett visst antal LOC's (Loss of Containment) där kemikalie släpps ut till atmosfären behandlas. För de vanligaste komponenterna som tankar, värmeväxlare och rör finns färdigdefinierade LOC's med värden på frekvensen (sannolikheten att händelsen sker under ett år). Värdena på frekvensen bygger framförallt på studier av generiska värden för haveri. För varje komponent finns också

riktlinjer för hur speciella förhållanden i processen kan ge förhöjt eller sänkt värde på frekvensen.

5.3 Konsekvensberäkningar

Kapitel fyra och fem i Purple Book beskriver hur konsekvensberäkningarna skall utföras. Kapitel fyra reglerar hur detaljerade beräkningar som måste göras. Ett exempel på vad reglerna säger är att ett minimum av åtta vindriktningar och tre stabilitetsklasser måste beaktas. Här finns också angivet antaganden och förenklingar av själva källan (utsläppet) som anses accepterade. Kapitel fem beskriver vilken skada ett utsläpp av brandfarlig vara eller giftig kemikalie ger upphov till.

6 Fallstudie enligt Purple Book

Ett av syftena med detta examensarbete var att studera om det går att använda sig av ett fåtal representativa scenarier för att beskriva risken från en anläggning med ett stort antal komponenter. För att uppnå syftet behövdes underlag i form av en mycket detaljerad riskanalys, som sedan kunde jämföras med representativa scenarier. En detaljerad QRA utfördes därför på en del av krackeranläggningen i Stenungsund. Den specifika delen utgjordes av ett propenkylsystem, där komprimerad propen värmeväxlas mot olika procesströmmar i krackerprocessen. Den detaljerade riskanalysen följde metoden som presenteras i Purple Book kapitel 3-6 (CPRE 18E, 1999).

6.1 Propenkylsystemet

Borealis krackeranläggning i Stenungsund tillverkar eten och propen, som i sin tur bland annat används till plastframställning genom polymerisation. I processen slås petroleumprodukter från olja sönder till mindre beståndsdelar vid höga temperaturer. I krackeranläggningen framställs årligen 625 000 ton eten och 220 000 ton propen (www.borealisgroup.com, 2004-10-13).

Propenkylsystemet består av en kompressor som komprimerar gasformig propen i fyra steg från ca 0,2 bars övertryck till ca 13 bars övertryck. Propen tas också ut efter steg två och tre i processen, vid ca 6 bars och 10 bars övertryck. Den komprimerade gasen används som kylmedium eller värmedmedium när den värmeväxlas mot olika procesströmmar från krackerprocessen. Värmeväxlingen sker framförallt genom att propen förångas eller kondenseras vilket gör att kemikalien finns i både gasform och vätskeform. I systemet finns också tre stora bufferttankar vid olika trycknivåer. De samlar upp propen från kondensatorer och kokare på de högre trycknivåerna och distribuerar flytande propen till värmeväxling på en lägre nivå. En sista stor tank samlar upp propen på lägsta trycknivån 0,2 bar innan den i gasform skickas till kompressorn. Systemet i sin helhet innehåller således ett stort antal värmeväxlare, fyra stora tankar, en kompressor samt rör av olika dimensioner.

6.2 Metod

6.2.1 Analys av propenkylsystemet

Första steget i fallstudien var att göra en analys av propenkylsystemet och identifiera dess komponenter. Informationen bestod till att börja med av ett P&I-schema (process- och instrumentschema) samt ritningar på anläggningen i skala 1:200. För att få mer ingående information om systemet anordnades ett studiebesök på krackeranläggningen i Stenungsund. Ulf Lorentzon, driftingenjör på Borealis, gjorde en grundlig presentation av systemet och propenets tillstånd i varje del definierades. Med hjälp av aktuella processvärden gjordes

uppskattningar av hur mycket flytande propen som varje komponent innehöll. För att bättre kunna göra antaganden för beräkningarna frågades Lorentzon också ut om anläggningsspecifika detaljer. Alla komponenter identifierades och delades in i grupper efter komponenttyp. För varje enskild komponent bestämdes totala volymen propen samt tryck och temperatur. För tankar och filter var volymen angiven på P&I-schemat. Volymen på värmeväxlare beräknades genom mätningar i anläggningsritningen. Mängden flytande propen respektive gasformigt propen beräknades med hjälp av uppskattningarna som gjordes under studiebesöket. Alla rör delades in i segment där propenets tillstånd antogs vara identiskt. I varje segment delades sedan rören upp efter diameter. Längden på varje rör mättes i anläggningsritningen.

6.2.2 Definition av scenarier

Nästa steg var att med hjälp av insamlad information definiera scenarier. Anvisningar i Purple Book om val av LOC's för varje komponenttyp följdes noggrant. För varje enskild komponent definierades allt från mindre läckage till katastrofala utsläpp av hela innehållet. Detta resulterade i ett stort antal scenarier med både momentana och kontinuerliga utsläpp. De momentana utsläppen gav upphov till två separata scenarier, ett där utsläppet antändes direkt och ett med fördröjd eller utebliven antändning. Frekvensen för varje scenario valdes genom att använda den givna grundfrekvenserna för varje LOC (CPRE 18E, 1999).

6.2.3 Konsekvensberäkningar

För att beräkna risken användes beräkningsprogrammet SAVE II. Programmet är framtaget av holländska S.A.V.E. 1997 och ger användaren möjlighet att ange ett antal scenarier, populationsdata och meteorologiska data. Dessa behandlas sedan av programmet och en resulterande risk presenteras i form av en individkurva och en samhällskurva. Beräkningarna görs med inbyggda modeller för spridning och effekter hos olika kemikalier. Utsläppspunkter och befolkningsdata anges i ett rutsystem för att avstånd skall kunna beräknas.

Programmet skiljer på tre olika varianter av scenarier, momentana utsläpp som antänder och leder till en BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), momentant utsläpp med fördröjd eller utebliven antändning samt kontinuerliga utsläpp med fördröjd eller utebliven antändning. Gemensamma parametrar som angavs för alla varianter var frekvensen och utsläppets koordinater i rutsystemet. För BLEVE-scenarier behövdes sedan endast mängden utsläppt propen anges. Den sattes till totala mängden propen i kärlet. Momentana utsläpp med fördröjd antändning krävde, förutom utsläppsmängd, specificering av ett flertal modellparametrar. För att beskriva hur utsläppt kemikalie späds ut precis vid källan angavs den initiala luftinblandningen och som ett mått på utsläppets tunggaseffekter användes en parameter för molndensitet. Även utsläppets höjd specificerades. Dessa parametrar angavs också för kontinuerliga utsläpp. Skillnaden från de momentana låg i att utsläppsmängden beskrevs som en källstyrka (kg/s) och utsläppets totala tid specificerades. Beräkningarna av källstyrkor gjordes med hjälp av FOA (1997).

I SAVE II skrevs speciella filer för populationsdata och meteorologiska data. Programmet har fysikaliska data för de vanligaste industriella kemikalierna förprogrammerade och i alla beräkningar specificerades att den aktuella kemikalien var propen. Eftersom propen är en brandfarlig kemikalie behövdes också parametrar som bestämmer sannolikheten för att en fördröjd antändning sker. Sannolikheten angavs dels som bakgrundsfaktor dels som en faktor för varje person i rutnätet. Bakgrundsfaktorn bestämmer sannolikheten att molnet antänds även om molnet inte nått någon ruta där personer befinner sig. Individrisk och samhällsrisk

beräknades sedan genom att de definierade scenarierna kombinerades med populationsdata, meteorologiska data och sannolikheten för antändning i varje ruta i systemet.

För att identifiera och anpassa värden till modellerna i FOA och beräkningarna i SAVE II, gjordes antaganden och approximationer med hjälp av specifik information från Lorentzon och anvisningar i Purple Book samt FOA.

6.3 Scenarier

Anvisningar om definition av LOC's för varje utrustning i Purple Book följdes mycket noggrant. LOC's som ger upphov till momentana utsläpp delas upp i två scenarier, ett där utsläppet antänds direkt och ett där antändningen blir fördröjd eller helt uteblir. Alla kontinuerliga utsläpp ger upphov till ett scenario med fördröjd eller utebliven antändning. En komplett lista på scenarier presenteras i Bilaga 1.

6.3.1 Tankar och filter

Tankar och filter ansågs vara exempel på trycksatta kärl. Enligt Purple Book skulle då tre scenarier för varje kärl definieras:

1. Tanken kollapsar och allt innehåll släpps ut i atmosfären, frekvens 5×10^{-7} ggr/år.
 - a. Utsläppet antänds direkt, sannolikhet $P_i=f(\text{mängd utsläppt propen})$.
 $P_i=0,2$ (<1000 kg), $P_i=0,5$ (1000 kg -10 000 kg), $P_i=0,7$ (>10 000 kg).
 - b. Fördröjd antändning eller ingen antändning alls, sannolikhet $1-P_i$.
2. Kontinuerligt utsläpp av hela innehållet till atmosfären under en period av tio minuter, frekvens 5×10^{-7} ggr/år.
3. Kontinuerligt utsläpp genom ett hål med en effektiv diameter på 10 mm, frekvens 1×10^{-5} ggr/år.

6.3.2 Värmeväxlare

Systemet består av värmeväxlare där propenet finns i tuber eller i manteln. Scenarierna för värmeväxlare med propenet i manteln liknar de för trycksatta kärl:

1. Momentant utsläpp av hela innehållet till atmosfären, frekvens 5×10^{-5} ggr/år.
 - a. Utsläppet antänds direkt, sannolikhet $P_i=f(\text{mängd utsläppt propen})$.
 $P_i=0,2$ (<1000 kg), $P_i=0,5$ (1000 kg -10 000 kg), $P_i=0,7$ (>10 000 kg).
 - b. Fördröjd antändning eller ingen antändning alls, sannolikhet $1-P_i$.
2. Kontinuerligt utsläpp av hela innehållet till atmosfären under en period av tio minuter, frekvens 5×10^{-5} ggr/år.
3. Kontinuerligt utsläpp genom ett hål med en effektiv diameter på 10 mm, frekvens 1×10^{-5} ggr/år.

För de värmeväxlare där propenet finns i tuberna definierades endast ett momentant utsläpp eftersom det antas att propenet aldrig släpps ut till atmosfären när bara ett fåtal av tuberna går sönder.

1. Momentant utsläpp av hela innehållet, frekvens 1×10^{-6} ggr/år.
 - a. Utsläppet antänds direkt, sannolikhet $P_i=f(\text{mängd utsläppt propen})$.
 $P_i=0,2$ (<1000 kg), $P_i=0,5$ (1000 kg -10 000 kg), $P_i=0,7$ (>10 000 kg).
 - b. Fördröjd antändning eller ingen antändning alls, sannolikhet $1-P_i$.

6.3.3 Rör

Rörssystemet delades först in i 23 olika segment. Segmenten skiljde sig åt genom tryck och temperatur samt om propenet befann sig i flytande form eller gasform. Varje segment kunde

sedan innehålla rör av olika diameter och längd. För varje rör i definierades sedan två scenarier:

1. Brott på rör, frekvens beroende av rörets diameter och längd.
2. Hål på rör motsvarande 10 % av rörets diameter (max. 150 mm), frekvens beroende av rörets diameter och längd.

Anvisningen om beräkning frekvenserna för LOC's för rör, som anges i Purple Book, visas i tabellen nedan.

Rördiameter, \emptyset	Brott på rör	Läckage genom hål
$\emptyset < 75$ mm	$1 \cdot 10^{-6}$ per meter och år	$5 \cdot 10^{-6}$ per meter och år
75 mm $\leq \emptyset \leq 150$ mm	$3 \cdot 10^{-7}$ per meter och år	$2 \cdot 10^{-6}$ per meter och år
$\emptyset > 150$ mm	$1 \cdot 10^{-7}$ per meter och år	$5 \cdot 10^{-7}$ per meter och år

6.3.4 Kompressorn

För kompressorer finns inga LOC's definierade i Purple Book utan ett konservativt antagande om att kompressorn motsvarades av en pump gjordes¹. Antagandet gav sedan två scenarier:

1. Brott på det grövsta röret som är anslutet till kompressorn, frekvens 1×10^{-4} ggr/år.
2. Hål på rör motsvarande 10 % av diametern av det grövsta röret som är anslutet till kompressorn, frekvens 5×10^{-4} ggr/år.

6.3.5 Säkerhetsventiler

I enlighet med "Purple Book" definierades ett scenario för varje säkerhetsventil som släpper ut till atmosfären:

1. Utsläpp med maximal utsläppshastighet, frekvens 2×10^{-5} ggr/år.

6.4 Konsekvensberäkningar

6.4.1 Källstyrka

Efter en kortare analys av uttryck för källstyrkan i scenarier med kontinuerligt utsläpp av propen, exkluderades alla kontinuerliga fall där propen i gasform släpptes ut. Källstyrkan för dessa scenarier blir väldigt liten jämfört med utsläpp där propen i vätskeform läcker ut. Detta innefattade alla scenarier där säkerhetsventiler fallerar samt utsläpp från kärll och rörsegment innehållande endast gasformigt propen. Haveri av kompressorn undantogs eftersom den likt en pump med konstant varvtal antogs driva på utflödet av gas och ge ett konstant högt utflöde tills det att den stängs av. Kompressorn kan enligt Ulf Lorentzon stängas av genom fjärrstyrning och utsläppstiden sattes till 30 sekunder.

För scenarier där flytande propen antogs släppas ut, identifierades två typer av kontinuerliga utsläpp. Ett där en tanks hela innehåll släpptes ut under tidsperiod av tio minuter. Det andra där öppningen på något sätt var definierad. Öppningen kunde antingen vara ett rörbrott eller ett hål på en tank, värmeväxlare eller rör. För den första typen beräknades källstyrkan enkelt genom att dividera totala mängden propen i tanken (kg) med tiden 600 sekunder. Där utsläpp skedde genom en definierad öppning användes två olika modeller för att beräkna källstyrkan.

¹ Antagandet om att kompressorn kan liknas vid en pump kan anses konservativt då DNV (1996) ger en frekvens på ett brott på grövsta röret kopplat till en centrifugalkompressor till $9 \cdot 10^{-6}$ ggr/år.

Båda modellerna beskriver utsläpp från vätskefasutrymmet i behållare med tryckkondenserad gas (FOA kap. 5, 1997). Vid brott på rör användes en modell för kritiskt utflöde genom en lång kanal:

$$Q_{sc} = AG_{ERM} \quad [5:14]$$

$$G_{ERM} = \frac{h_{fgo}}{v_{fgo}} \frac{1}{\sqrt{c_f T_o}} \quad [5:15a]$$

För kontinuerligt utsläpp genom ett hål i kärl eller rör valdes en modell för utströmning genom ett hål i behållarens mantel:

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2(P_o - P_a)}{v_f}} \quad [5:12]$$

c_f	Specifikt värme (c_p) för vätskefas	J/kg · K
C_d	Kontraktionsfaktor för vätskestråle	-
h_{fgo}	Ångbildningsvärme vid T_o	J/kg
P_a	Atmosfärtryck	N/m ²
P_o	Tanktryck i hålets nivå	N/m ²
Q	Massflöde	kg/s
Q_{sc}	Massflöde vid kritisk strömning ($P_e > P_a$) från mättat tillstånd ($P_o = P_{so}$)	kg/s
T_o	Vätsketemperatur i behållare	K
v_f	Specifik volym hos vätskefas	m ³ /kg
v_{fgo}	Ångbildningsvolumitet = $v_{go} - v_f$	m ³ /kg
v_{go}	Specifik volym hos mättad ånga vid T_o och P_{so}	m ³ /kg

Kontraktionsfaktorn för hål antogs vara 0,62 (CPRE 18E, 1999). Fysikaliska värden för propen togs ur ett webbaserat uppslagsverk (Lemmon et. al., 2003). Tryck och temperatur gavs av det definierade tillståndet i varje behållare och rörsegment (Lorentzon). Vid brott på rör sker utsläpp självklart från båda sidor om brottet. Källstyrkan har i fallstudien modellerats som utlopp från en sida eftersom det anses osannolikt att utloppet blir maximalt från båda håll. Tryckfall och tömning av rör och kärl ger en snabbt sjunkande källstyrka. Utflödet vid brott på grövsta röret ut från kompressorn approximerades med det aktuella processvärdet för flödet av propen från det sista kompressorsteget.

6.4.2 Beräkningar i SAVE II

I programmet SAVE II angavs sammanlagt 137 scenarier, de grupperades i sju grupper;

- BLEVE
- momentant utsläpp med fördröjd antändning

- kontinuerligt utsläpp under tio minuter
- kontinuerligt utsläpp från hål i kärl (tankar, filter och värmeväxlare)
- rörbrott
- hål på rör
- kompressorscenarier.

För BLEVE och momentana scenarier antogs att all propen i behållaren släpptes ut. Kontinuerliga utsläpp beskrevs istället med den framräknade källstyrkan. Beroende på vilken nivå i anläggningen den aktuella komponenten var lokaliserad valdes utsläppshöjden till antingen 1 m, 7 m eller 13 m. För kompressorn och rör där ingen specifik höjd var definierad valdes utsläppshöjden 1 m eftersom det var det mest konservativa valet.

Det antogs att alla utsläpp skedde obehindrat utan att träffa något föremål eller mark. Enligt FOA (1997) kan då utsläppen modularas med att all propen förångas direkt.

För scenarier med momentant utsläpp antogs det initiala molnet expandera till atmosfärstryck utan inblandning av luft (CPRE 18E, 1999). Den initiala luftinblandningen sattes till 1 kg. Vid beräkningar med en inblandning av 0 kg gav SAVE II ett felmeddelande, varför 1 kg valdes eftersom det jämfört med utsläppet av propen var ett försvinnande litet värde. I de kontinuerliga scenarierna approximerades den initiala luftinblandningen till 4 gånger utsläppets storlek. Parametern gav upphov till stort bryderi men till slut följdes exemplet för haveriscenario på rör i propenkylanläggningen i Säkerhetsstudie – Stenungsund (Jacobsson, 2004). Det gjordes framförallt för att underlätta jämförelser av de två studierna.

Parametern ”molndensitet” för alla scenarier i SAVE II approximerades med den fiktiva densiteten för en tung gas i modellen för Turbulent Jet (FOA, 1997) Molnets densitet beräknades till ungefär 1,8 kg/m³ för alla scenarier.

$$\rho_g = \rho_a \frac{m_{ge}}{m_a} \quad [6:36]$$

$$m_{ge} = m_g + m_g \left[\frac{h_{gf}}{c_{pa} T_a} + \frac{c_{pg}}{c_{pa}} \cdot \frac{(T_a - T_f)}{T_a} \right] \quad [6:33]$$

c_f	Specifikt värme för vätskefasen hos tryckkondenserad gas	J/kg · K
c_{pa}	Specifikt värme hos fuktig luft = 1200	J/kg · K
c_{pg}	Utsläppta gasens (gasfas) specifika värme	J/kg · K
h_{gf}	Ångbildningsvärme för tryckkondenserade gasen	J/kg
m_a	Molvikt hos luft	kg/kmol
m_g	Molvikt hos utsläppt gas	kg/kmol
m_{ge}	Effektiv (isotermiskt ekvivalent) molvikt hos utsläppt gas efter förångning av aerosol	kg/kmol
T_a	Atmosfärens temperatur	K

T_f	Tryckkondenserade gasens temperatur före utsläpp	K
ρ_a	Atmosfärens densitet	kg/m ³

Populationsdata angavs i ett rutsystem som motsvarade Stenungsund, där varje ruta representerade en yta av 100x100 m. I varje ruta angavs totala antalet personer som antogs befinna sig i rutan. Ett rutsystem för dagen och ett för natten användes i beräkningarna. Befolkningsdata presenteras i Bilaga 2.

För åtta vindriktningar angavs sannolikheten för tre olika vindhastigheter (1,5 m/s, 4 m/s och 8 m/s) vid tre olika stabilitetsklasser (B, D och F). En tabell som visar alla vinddata visas i Bilaga 3.

Populationsdata och meteorologiska data togs ur Säkerhetsstudie – Stenungsund (Jacobsson, 2004).

En antändningsfaktor bestämdes och sannolikheten för antändning av propenmolnet angavs både för varje person i rutnätet samt som en bakgrundsfaktor. Antändningsfaktorn per person bestämdes till 0,08 (SAVE II) och bakgrundsfaktorn till 0,9 eftersom den antogs motsvara faktorn för en processindustri (CPRE 18E, 1999).

Individrisk och samhällsrisk beräknades sedan för varje scenariogrupp där ett resultat beräknades för natten och ett för dagen. Resultaten summerades sedan för att få den totala risken.

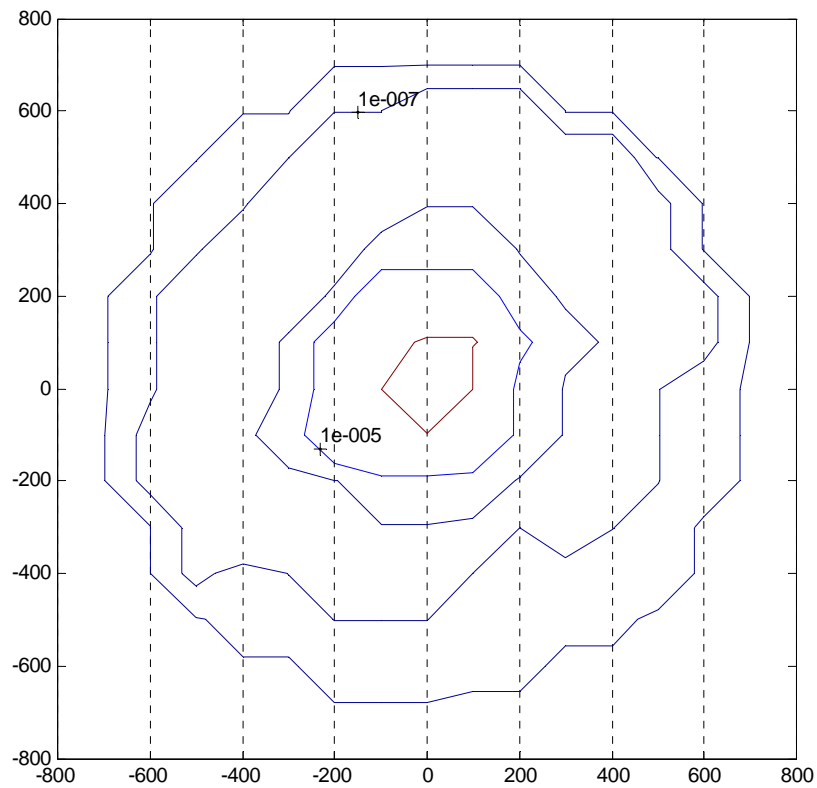
6.4.3 Andra antaganden och begränsningar

Fallstudien bygger på antagandet att metoden i Purple Book är direkt applicerbar på anläggningen i Stenungsund.

För att undvika en allt för komplicerad analys har ingen hänsyn tagits till eventuella dominoeffekter. Antagandet görs mot bakgrunden att tankar och rör i processen är brandisolerade och skall stå emot en omgivande brand (Lorentzon). Hur komponenter skulle klara en eventuell explosion har dock inte studerats.

6.5 Resultat

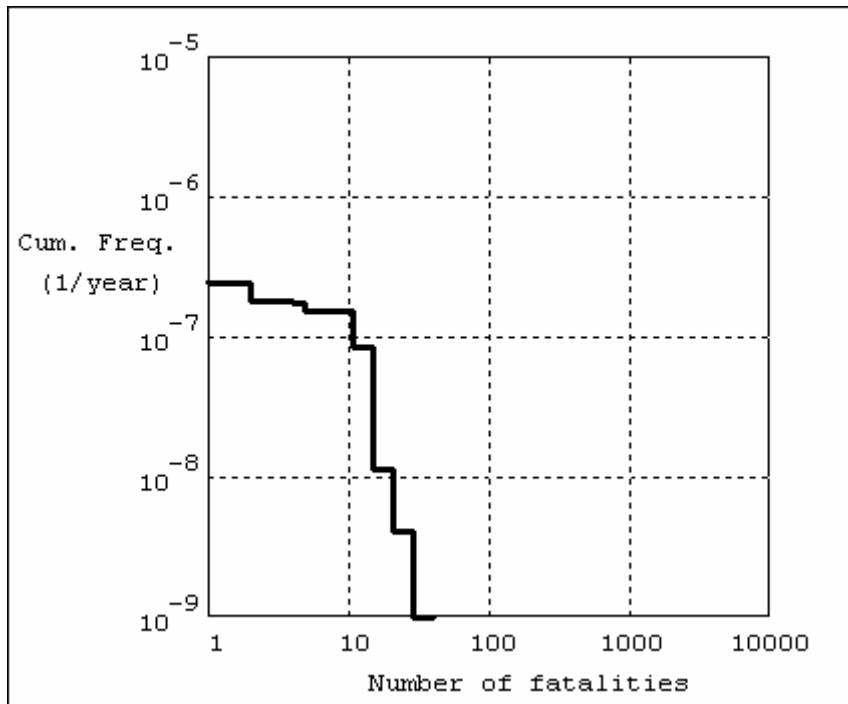
6.5.1 Individrisk



figur 2 Individrisk beräknad m.h.a. SAVE II. Utsläppet sker i origo och koordinaterna är angivna i meter.

Resultatet visar att för en oskyddad person på ett avstånd av ca 700 meter från anläggningen är risken att omkomma på grund av propenutsläpp från kylsystemet 10^{-8} per år. På ett avstånd av ca 200 meter har risken ökat till 10^{-5} per år.

6.5.2 Samhällsrisk



figur 3 Samhällsrisk beräknad med SAVE II.

Samhällsriskens visar att sannolikheten för att propenkylsystemet orsakar en olycka med tio omkomna personer händer lite drygt en gång på 10 miljoner år.

6.6 Diskussion

6.6.1 Osäkerheter

Metoden som används är framtagen för holländska företag och förhållanden. Osäkerhet råder om hur representativa framförallt data på haverifrekvensen är. De generiska data som presenteras i Purple Book bygger framförallt på en studie från 1981 (COVO, 1981) så det kan diskuteras om siffrorna är aktuella. Det finns heller inga stora svenska studier och det är svårt att säga om säkerhetskulturen i Sverige ger större eller mindre sannolikhet för haveri. Ingen hänsyn togs heller till dominoeffekter.

Osäkerheter finns också i konsekvensberäkningarna. Framförallt parametern initial luftinblandning, som behövdes för beräkningar i SAVE II, är betydande för det slutliga resultatet. Beräkningar av ett par kontinuerliga scenarier där luftinblandningen istället sattes lika med källstyrkan gav fler dödsfall än resultatet ovan. Däremot i en annan parameterstudie för QRA antogs ett medelvärde för initiala luftinblandningen vara 10 gånger källstyrkan, vilket skulle ha givit ett mindre antal dödade. Även i det arbetet anses det vara svårt att uppskatta just den parametern (WS Atkins Consultants Ltd, 2001). Spridningsberäkningar med en annan modell (FOA, 1997), som presenteras senare i arbetet, stämmer dock bra överens för kontinuerliga utsläpp med luftinblandningen lika med fyra gånger källstyrkan.

6.6.2 Värdering av resultatet

Fallstudien skall användas i syftet att hitta representativa scenarier för att utföra QRA på alla industrianläggningar där farliga kemikalier hanteras. Den skall mer ses som ett exempel på

användningen av den detaljerade metoden i Purple Book, än att beräkna den kvantitativa risk som krackeranläggningen verkligen utgör. Det gjordes ingen bedömning huruvida risken är tolerabel eller inte.

7 Val av representativa haveriscenarier

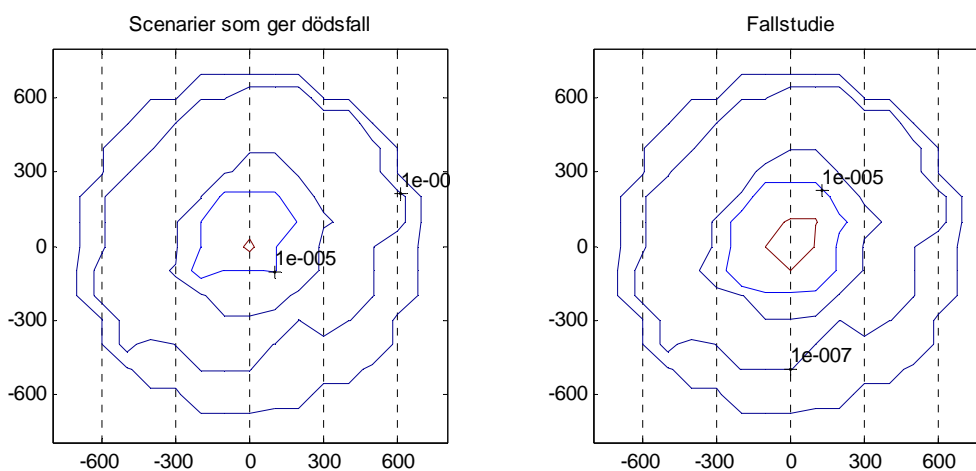
7.1 Analys av fallstudien

7.1.1 Antal scenarier

Fallstudien över propenkylsystemet är endast utförd på en del av en anläggning. 137 scenarier per delanläggning skulle snabbt bli väldigt många scenarier att behandla om en QRA enligt metoden ovan skulle utföras på en hel anläggning. I fallet med hela industriområdet i Stenungsund skulle den här metoden leda till tusentals scenarier. Syftet med riskanalysen är att titta på risken att dö för tredje man. Endast ett fåtal av alla fall leder dock till dödsfall och detta endast vid vissa specifika väderförhållanden. Genom att titta närmare på vilka fall som gav utslag på samhällsrisk i fallstudien utreddes först vilka grupper av scenarier som gav dödsfall och sedan i detalj vilka exakta scenarier som gav utslag. Scenarierna är markerade i tabellerna i bilaga 1. Två grupper gav dödsfall:

1. Momentant utsläpp med fördröjd antändning.
2. Rörbrott

Specifikt i den första gruppen var det utsläpp från de tre största tankarna som ledde till dödsfall. I den andra gruppen var det brott på så många som 13 rör som gav utslag på samhällsrisk. Resultatet från dessa 16 scenarier ger exakt samma samhällsrisk (figur 3) som i fallstudien ovan och individrisken visas i figur 4.



figur 4, Individrisken för de 16 scenarier som ger dödlig utgång i fallstudien(t.v.) i jämförelse med individrisken för hela fallstudien (t.h.).

Figur 4 visar att individrisken för de 16 utvalda scenarierna är den samma som för alla 137 scenarier på avstånd större än ca 200-300 meter. Konturen för 10^{-6} ligger nästan exakt 300 meter från utsläppet i båda figurerna. Tidigare har också nämnts att närmaste tredje man finns på avstånd ca 400 m ifrån utsläppet. Eftersom syftet är att visa risken för tredje man borde alltså de 16 utvalda scenarierna vara representativa för hela fallstudien.

Även om de initiala 137 scenarierna reducerades till ca $\frac{1}{8}$, så blir det ändå tidskrävande att leta upp alla komponenthaverier som kan ge dödlig utgång. Istället föll valet på att analysera de två grupper som ger upphov till de representativa scenarierna, momentant utsläpp med fördröjd antändning och brott på rör. Kanske går det att representera risken från kylsystemet med endast två scenarier?

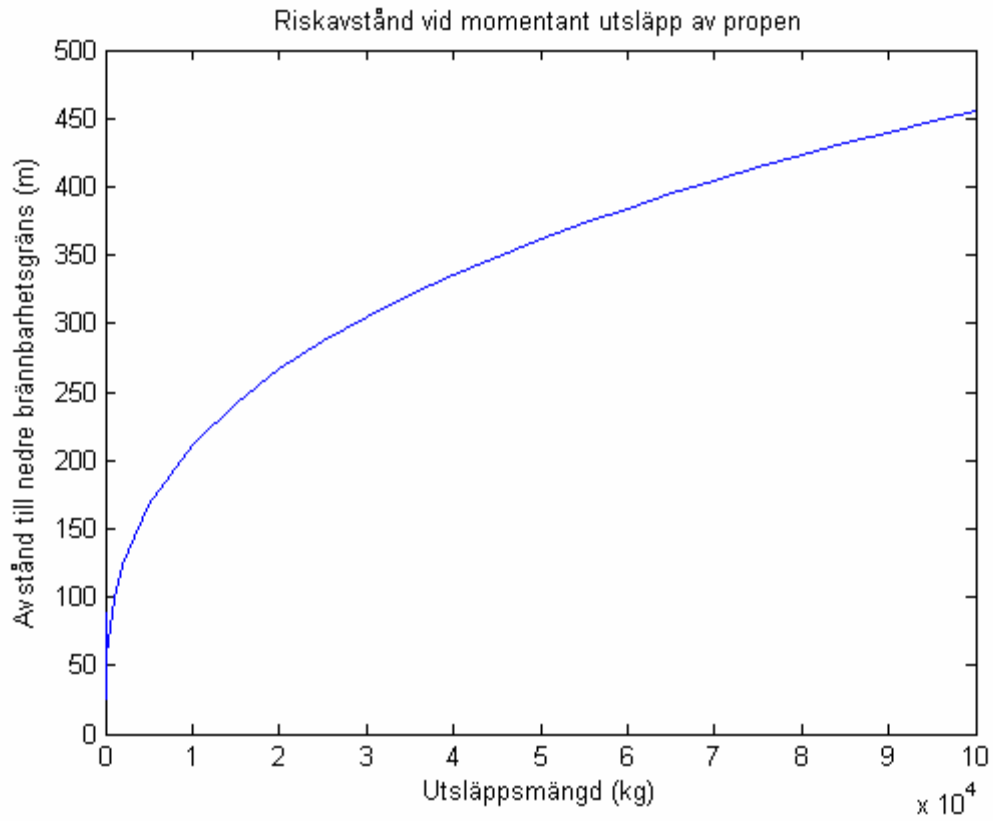
7.1.2 Frekvens

Vilken frekvens skall de två representativa scenarierna i så fall ges? En enkel modell vore att summera frekvensen för de aktuella scenarierna. Det representativa momentana scenariot skulle då ges en frekvens av $3 \times 1,5 \cdot 10^{-7} = 4,5 \cdot 10^{-7}$. Samma tillvägagångssätt skulle för rörbrott ge frekvensen $5,9 \cdot 10^{-5}$ (frekvenser för enskilda scenarier i bilaga 1). Detta skulle vara ett logiskt sätt att hantera faktumet att det är haveri av flera komponenter som kan ge dödsfall. Modellen kräver dock ett antagande om att scenarierna är oberoende av varandra (Kaplan, 2001). Studier av verkliga haverier visar att mänskligt felhandlande ofta är orsak till olyckor (Bier, 1999) och då kan ju inte haverierna av utrustningen anses oberoende. Däremot kan man resonera så att med fler komponenter och ett mer komplicerat system så ökar sannolikheten för mänskligt felande vilket medför att haverifrekvensen ändå ökar proportionellt med antalet inblandade komponenter.

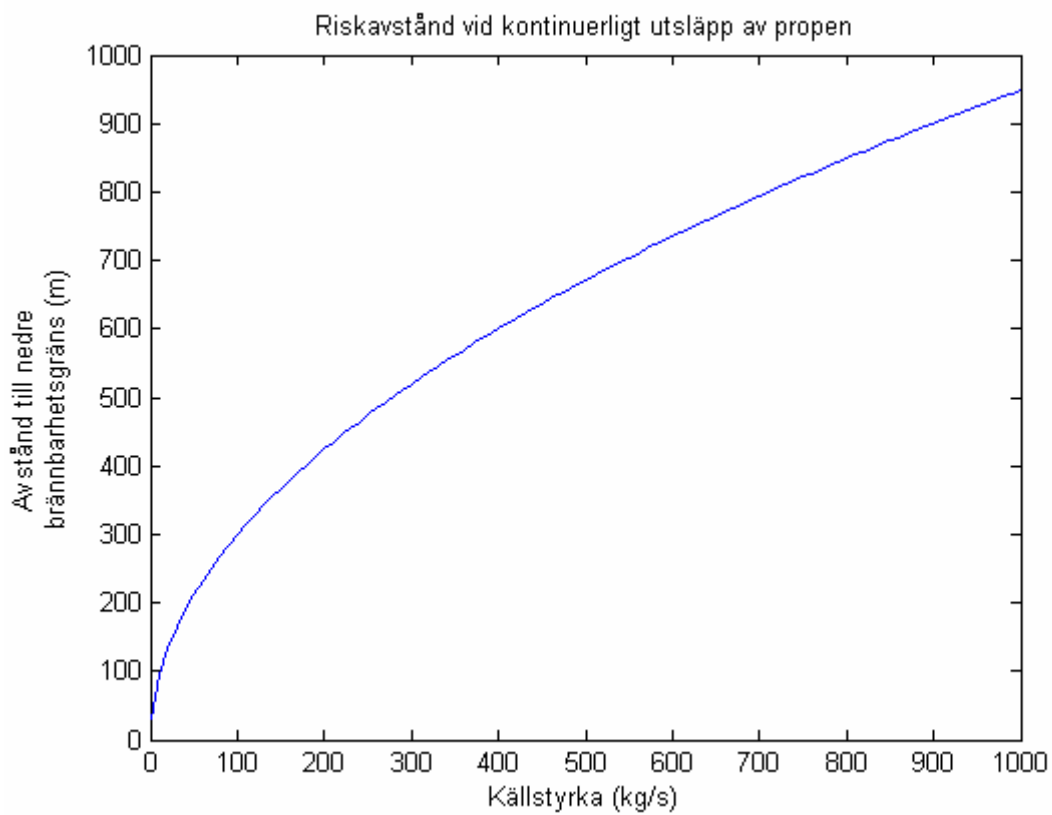
En andra förutsättning är att vi vet hur många komponenter som skall räknas med. Tanken är att man skall slippa göra en hel fallstudie för att ta reda på vilka scenarier som ger värst konsekvenser. Det krävs dock en beräkning av ungefär vilka mängder kemikalie som behövs för att ge dödsfall, för att sedan kunna bedöma hur många komponenter som är aktuella.

7.1.3 Utsläppsmängd

Den parameter hos varje scenario som spelar störst roll i konsekvensberäkningarna är källstyrkan eller mängden propen som släpps ut i atmosfären. Ju mer propen som släpps ut desto större område med brandfarliga koncentrationer bildas. För att visa hur riskavståndet beror av källstyrkan gjordes beräkningar enligt Turbulent Jet-modellerna i FOA (FOA kap 6, 1997). Beräkningarna utfördes i dataprogrammet MatLab 6.5 och i figurerna nedan visas hur avståndet beror av mängden kemikalie som släpps ut (se bilaga 4). Kemikalien antas fortsatt vara propen och riskavståndet representeras i båda fallen av det maximala avståndet till den nedre brännbarhetsgränsen. Riskavståndet påverkas också till stor del av vindhastighet och lite av lufttemperaturen, dessa sattes därför till medelvärden. För att utföra beräkningarna valdes vindhastigheten 4 m/s och temperaturen 7°C. Medelvindhastigheten för Stenungsund åren 1993-2002 är 3,9 m/s (Jacobsson, 2004) och medeltemperaturen vid Gårdsjön utanför Stenungsund är 6,7°C (<http://www.ma.slu.se/IM/station/Gard.html>, 2004-12-18).



figur 5, Riskavståndet som funktion av mängd utsläppt propen.



figur 6, Riskavståndet som funktion av källstyrkan.

Figur 5 visar hur långt ett momentant utsläpp av propen kan sprida sig innan det blandas ut tillräckligt för att koncentrationen propen skall vara under nedre brännbarhetsgränsen. Figur 6 visar hur avståndet till den nedre brännbarhetsgränsen beror av källstyrkan i ett kontinuerligt utsläpp.

I fallstudien befinner sig närmaste tredje man ca 400-500 meter från utsläppspunkten. Förhållandet ovan visar att det endast är momentana utsläpp på över 70 ton och kontinuerliga utsläpp på över 200 kg/s som ger ett så stort riskavstånd. Beräkningarna i MatLab kan också jämföras med resultatet från fallstudien och SAVE II. Jämförelsen visar att beräkningarna stämmer bra överens för kontinuerliga utsläpp, där det endast är rörbrottsscenarioer som har källstyrka > 200 kg/s. För momentana utsläpp ger SAVE II att mängder på ca 20 ton också kan ge riskavstånd på uppemot 400 meter. Skillnaden i beräkningarna beror antagligen på det konservativa antagandet att det momentana utsläppet antas expandera utan luftinblandning i fallstudien.

I de fall där det sker ett momentant utsläpp bestäms utsläppsmängden strikt av innehållet i kärlet. Om ett momentant scenario skall ersätta flera så blir det viktigt att ta ställning till vilken mängd som skall vara representativ. Det finns två naturliga val:

1. Utsläppsmängden beräknas genom att ta genomsnittsinnehållet för de kärl som innehåller tillräckligt mycket för att ge dödligt utfall.
2. Utsläppsmängden representeras av innehållet i det kärl med störst mängd kemikalie, för att behandla osäkerhet i utsläppsmängd mer konservativt.

Det kontinuerliga utsläppsscenarioet representeras av ett rörbrott och här bestäms källstyrkan av rörets diameter och tillståndet hos propenet innan utsläpp. Den mest betydande parametern för propenets tillstånd är trycket. Ett tunnare rör med propen vid högt tryck kan ge samma källstyrka som ett tjockare rör med propen vid ett lägre tryck. Analogin med de naturliga valen för representativt momentant scenario säger att röret kan väljas med genomsnittlig diameter och tryck eller så kan det rör som ger störst källstyrka väljas.

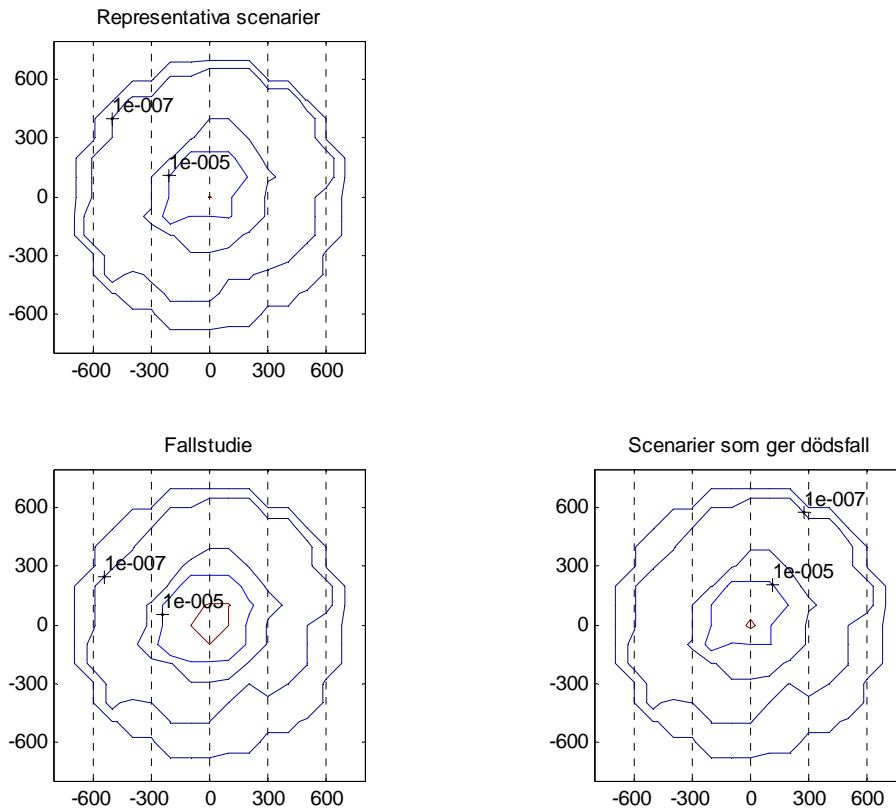
Även en tredje modell kan tänkas, nämligen att mängden utsläppt kemikalie och källstyrka beskrivs genom att använda en fördelningsfunktion. På så sätt behandlas osäkerheterna mer konkret (Morgan, Henrion, 1990). Resultatet från alla beräkningar ges då också som en fördelning.

För fortsatt analys används det första alternativet. Genomsnittet är statistiskt relevant (Paté-Cornell, 1996) och ger ett resultat som kan tolkas som förväntad risk. Beräkning av våra aktuella komponenter från fallstudien ger:

1. Momentant utsläpp av 38 ton propen.
2. Brott på ett 12 tums rör med 7 bars övertryck, som i sin tur ger en källstyrka på ungefär 500 kg/s.

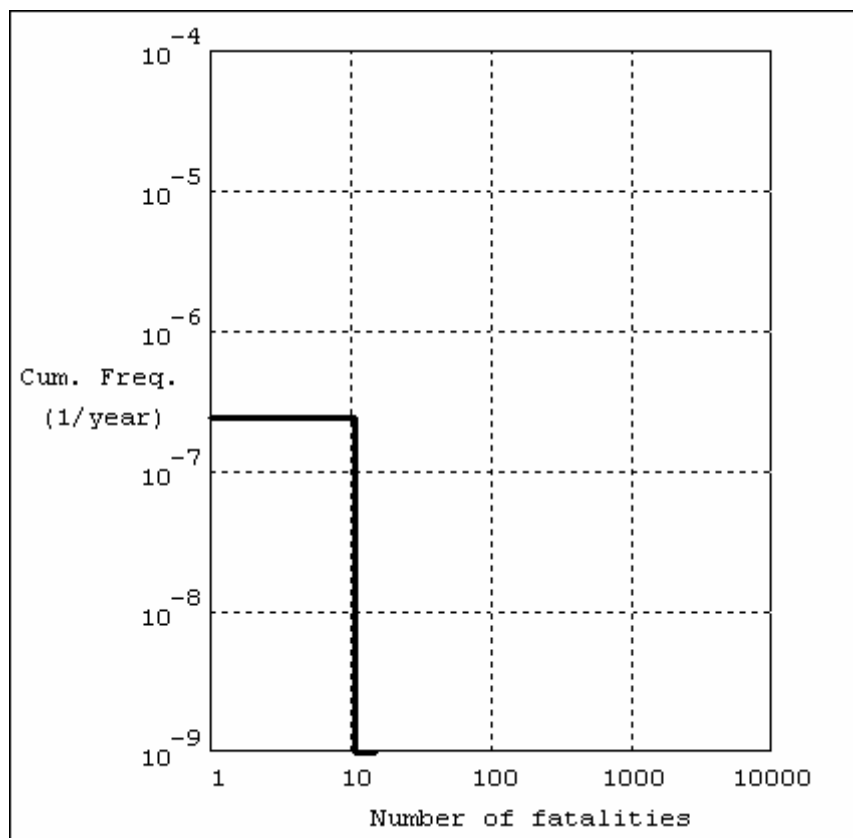
7.1.4 Resultat

Beräkning av individrisk och samhällsrisk för ett momentant utsläpp av 38 ton propen med en frekvens av $4,5 \cdot 10^{-7}$ och kontinuerligt utsläpp med källstyrkan 500 kg/s och frekvensen $5,9 \cdot 10^{-5}$ i SAVE II visas i figur 7 respektive figur 8. I beräkningarna har samma meteorologiska data och befolkningsdata som i fallstudien använts.



figur 7, ovan individrisken beräknad med SAVE II för de två representativa scenarierna, nedan individrisken för hela fallstudien(t.v.) och individrisken för de scenarier som ger dödsfall(t.h.).

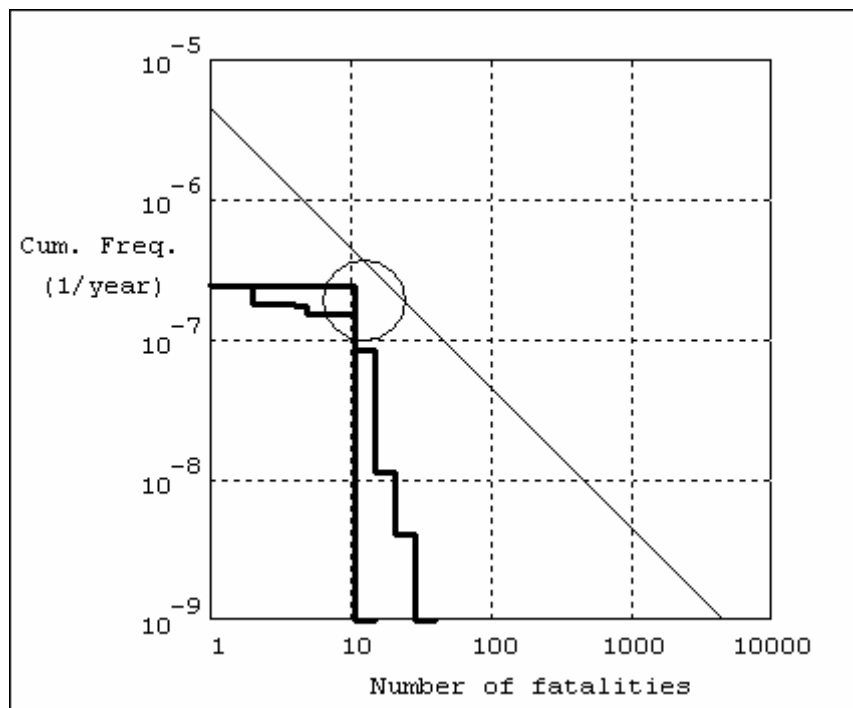
Först studeras individrisken och resultatet ovan jämförs med figurerna från fallstudien och de 16 scenarierna som gav dödlig utgång. Avståndet från utsläppspunkten till de tre yttersta riskkonturerna skiljer inte speciellt mycket de tre figurerna sinsemellan. I figuren för fallstudien är däremot avståndet från utsläppspunkten till konturen för frekvensen 10^{-5} längre än i de båda andra figurerna. Detta beror att det i fallstudien tagits med ett stort antal mindre scenarier som vi inte tar hänsyn till i våra representativa scenarier. Genom att än en gång påpeka att närmaste tredje man befinner sig på ca 400 meters avstånd, så anses likheterna i individrisk ge belägg för att fallstudien kan ersättas av de två representativa scenarierna.



figur 8, Samhällsrisik beräknad med SAVE II för de två representativa scenarierna.

Samhällsrisiken är lite svårare att jämföra eftersom flera steg i den trappliknande kurvan från fallstudien har ersatts av endast två steg. I figur 8 syns endast det ena steget eftersom det momentana scenariot ger fem döda personer till en frekvens av ca $9 \cdot 10^{-9}$ och det kontinuerliga 11 personer till en frekvens av $3 \cdot 10^{-7}$. Resultatet av det momentana scenariot är marginellt jämfört med resultatet av det kontinuerliga fallet.

Tidigare har begreppet tolerabel risk behandlats där ett gränsvärde utgörs av en linje med negativ lutning i ett FN-diagram. Ett sätt att jämföra de två FN-kurvorna i figur 8 och figur 3 är att anta att de skall värderas gentemot ett sådant gränsvärde. Kurvornas form gör att de framförallt begränsas av sitt övre högra hörn. Om gränsvärdeslinjen parallellförflyttas tills den skär FN-kurvan så är det just i det övre högra hörnet som skärningen sker. I figur 9 är båda FN-kurvorna från figur 8 och figur 3 presenterade tillsammans med en godtycklig gränsvärdeslinje. Med antagandet att den godtyckliga gränsvärdeslinjen är relevant så är det vid punkten där antalet döda är 11 personer som båda kurvorna skärs. Även om skärningen inte sker i exakt samma punkt så anses jämförelsen vara en mycket bra indikation på att de två framräknade scenarierna är representativa för hela fallstudien.



figur 9, jämförelse mellan samhällsriskerna för de representativa scenarierna med samhällsriskerna från fallstudien.

För att få exakt samma skärningspunkt måste frekvensen för det representativa rörbrottet vara lite lägre. Skärningen skulle antagligen ske i samma punkt om det i frekvensberäkningarna endast togs hänsyn till de rör som gav källstyrka ≥ 500 kg/s. Detta skulle dock ge större skillnader i individrisken.

Slutsatsen är att ett statistiskt resonemang för att välja representativa scenarier ger ett resultat som stämmer mycket bra med en mycket detaljerad riskanalys. Den största osäkerheten i att använda en sådan metod är huruvida komponenthaverier är oberoende av varandra. Om haverifrekvensen istället beror mer av någon annan faktor än vilken utrustning som finns i systemet kan inte frekvensen bestämmas genom summering av frekvenser. Genomsnittet för källstyrkor och utsläppsmängder är dock fortfarande relevant. På frågan som ställdes i avsnitt 7.1.1, om risken från propenkylsystemet kan representeras av endast två scenarier, bör svaret vara ja.

7.2 Säkerhetsstudie av Stenungsunds industriområde

Tidigare har det antytts att en QRA enligt metoden i Purple Book skulle bli väldigt tidskrävande och kostsam. Därför måste de representativa scenarierna hittas utan att först göra en analys av enskilda komponenter. Ett exempel på QRA där scenarierna valts ut genom resonemang av experter är Säkerhetsstudie – Stenungsund (Jacobsson, 2004). Representanter från kemiföretagen i Stenungsund under ledning av Anders Jacobsson valde ut ett antal komponenthaverier, som ansågs representera risken för alla anläggningar. Det som framförallt låg till grund för valen av scenarier var kemikaliemängder och hur kemikalierna hanterades. Allt från medelstora haverier till mycket stora haverier valdes för att ge ett brett spektrum av scenarier.

Precis som i fallstudien på propenkylsystemet användes SAVE II för att beräkna den kvantitativa risken. För varje utvalt komponenthaveri definierades ett hål, som tillsammans

med tryck och temperatur gav utsläppsmängder och källstyrkor. En frekvensanalys gjordes sedan dels med hänsyn till generiska värden från Purple Book och Guidelines for Process Equipment Reliability Data (CCPS, 1989), dels genom gruppens samlade kunskap och erfarenhet av komponenterna.

Propenkylsystemet på Borealis krackeranläggning, som också låg till grund för fallstudien, representerades i säkerhetsstudien av två scenarier. Ett scenario där en 14 tums vätskeledning havererar samt ett momentant utsläpp av propen. Källstyrkan för rörbrottet beräknades till 124 kg/s genom att haveriet definierades som ett hål på ledningen. Hålet motsvarade 25 % öppning eller en håldiameter på 7 tum. Det momentana utsläppet antogs uppstå som en dominoeffekt av rörbrottet och det modellerades som BLEVE motsvarande 20 ton. Haverifrekvenserna bestämdes till 10^{-5} respektive 10^{-7} (Jacobsson, 2004).

7.3 Jämförelse

Vi har nu två uppsättningar av representativa scenarier för propenkylsystemet. Två scenarier som har beräknats genom att först göra en mycket detaljerad QRA och två haverifall som valts ut av experter. Det är nu intressant att se hur scenarierna skiljer sig från varandra. Jämförelsen kan ses som ett test på hur väl experter hittar representativa scenarier utan att beakta varje enskild komponent. Det kan noteras att det i båda studierna är ett rörbrott eller haveri av vätskeledning och ett momentant utsläpp som anses representativa. Experterna har alltså valt samma typ av scenarier som räknades fram ur fallstudien. Hur skiljer sig då bedömningen av frekvensen och konsekvensen i form av utsläppsmängd från de som räknats fram?

7.3.1 Frekvens

Rörbrottet från beräkningarna ur fallstudien har både högre frekvens och större källstyrka än haveriet av vätskeledning i säkerhetsstudien. Frekvensen är ca 6 gånger större och källstyrkan är ca 4 gånger större. Det är framförallt svårt att hitta vad skillnaden i frekvens beror på. Det finns ingen detaljerad information om hur resonemanget kring varje enskilt scenario i säkerhetsstudien fördes. Skillnaden antas bero på hur problemet med att ett scenario skall ersätta flera har behandlats. Frekvensen från fallstudien beräknades genom att summera frekvensen för alla rörbrott som gav upphov till dödlig risk. Det verkar dock som man i säkerhetsstudien endast har beaktat 14 tums rör. Eftersom det specifikt var ett 14 tums rör som antogs haverera i säkerhetsstudien gjordes, som ett litet test, en summering av frekvensen för alla brott av 14 tums rör i fallstudien. Det gav nästan exakt samma frekvens ($1,1 \cdot 10^{-5}$) som den i säkerhetsstudien. Fallstudien visar dock att även tunnare rör kan ge upphov till dödlig risk och med bakgrund av detta anses att frekvensen i Säkerhetsstudie – Stenungsund är en aning låg.

Frekvensskillnaden mellan de momentana utsläppen följer samma mönster som ovan. Frekvensen som bedömts i säkerhetsstudien stämmer överens med frekvensen för haveri av **en** tank och antagligen har det inte beaktats att tre tankar innehåller tillräckligt med propen för att ge ett utsläpp av den givna mängden.

7.3.2 Konsekvens

Skillnaden i källstyrka mellan de rörbrotten kan kopplas direkt till hur själva brottet definierats. I fallstudien gjordes antagandet att utflödet motsvarande maximalt utflöde från ena sidan. I säkerhetsstudien är brottet modellerat som att vätskeledningen öppnas till 25 % eftersom det antogs att rena giljotinbrott är mycket ovanliga (Jacobsson). Här blir det svårare att direkt säga vad som är mest representativt. I Purple Book anses att utsläppet skall beräknas

som fullt utsläpp från båda sidor. Det kan sägas att det i fallstudien gjordes ett konservativt antagande om att allt flytande propen förångas direkt. I verkligheten kommer nog flytande propen till viss del bilda en pöl och källstyrkan bli en aning lägre. Här blir det en fråga om hur konservativ man vill vara i behandlingen av osäkerheterna kring källmodellen. Noterbart är att en källstyrka på 124 kg/s är för låg för att ge något utslag på samhällsriskerna. Frågan är då om inte risken som kylsystemet utgör underskattats i säkerhetsstudien.

När det gäller konsekvensen för det momentana scenariot så antas utsläppet i säkerhetsstudien antända och bilda en BLEVE. Fallstudien visar att utsläppet ger större skada om det inte antänder. Sannolikheten att en BLEVE uppstår vid ett stort momentant utsläpp är stor (CPRE 18E, 1999), så konsekvensen BLEVE kan anses mer representativ.

7.3.3 Sammanfattning

Jämförelsen ovan visar, precis som andra studier (Lauridsen et Al, 2001), att resultatet av en QRA är starkt beroende av vem som utför den. Specifika antaganden och skillnader i modeller kan i slutändan ge stora skillnader i resultat för samma objekt och scenario. Eftersom metoden i sin helhet är behäftad med osäkerheter går det inte heller att direkt säga om en modell är felaktig eller inte. En av de viktigaste aspekterna i en QRA blir därför att redovisa begränsningar och antaganden på ett bra sätt (Lauridsen et Al, 2001).

Sammanfattningsvis kan sägas att experter hittar de största riskerna och kan välja händelser som kan anses som representativa. Däremot så visar det sig att det kvantitativa resultatet är starkt beroende av vilka modeller som används vid frekvensberäkningar och konsekvensberäkningar. Specifika antaganden av den som utför analysen kan ge mycket stora skillnader i slutändan. För att säkerhetsstudien skall bli mer transparent behövs en redovisning av varför de utvalda scenarierna kan anses som representativa. I säkerhetsstudien framgår det inte riktigt hur problemet med att ett scenario ersätter flera möjliga händelser behandlas. Det kan anses att det konkreta sättet att addera frekvenser, som använts i resonemanget kring fallstudien, är lite för enkelt. Slutsatsen är nog ändå att det behövs klara riktlinjer för hur problemet skall behandlas.

8 Förslag till ny metod

Arbetet med fallstudien och jämförelsen med säkerhetsstudien har bidragit till en idé om en ny metod för val scenarier i en QRA. Den bygger på resonemanget om att representativa scenarier kan tas fram genom att summera frekvenser och bestämma ett genomsnitt av utsläppsmängder för enskilda scenarier. Metoden har även fått starka influenser av teorin bakom AFD (Anticipatory Failure Determination) (Kaplan et Al, 1999).

8.1 Teori

Metoden AFD är framtagen för att dels analysera en olycka eller händelse som redan uppstått, dels för att hitta alla tänkbara scenarier som kan störa ett system. Kortfattat så är det centrala i metoden att invertera problemställningen från hur en händelse kan uppstå till hur händelsen kan skapas. Fokus ligger sedan på vilka resurser som finns till handa i systemet för att skapa dessa händelser. Den inverterade frågan ger en innovativ process där det gäller att komma på sätt att klara sig förbi säkerhetsbarriärerna. Det är också enklare att hitta fullständig information om vad som behövs för att skapa något än information om något som mycket sällan händer (Kaplan et Al, 1999).

I vanlig QRA, som exemplet med säkerhetsstudien, så väljs först ett antal scenarier ut varefter frekvensen och konsekvensen beräknas. Den stora skillnaden i den nya metoden är nu att först specificera konsekvensen. Detta följer den inverterade problemställningen i AFD genom att en viss konsekvens skall skapas. Nästa steg är sedan att hitta alla eller åtminstone de flesta händelser som kan leda till den valda konsekvensen. Sista steget är slutligen att göra en analys av händelserna för att hitta en sammanvägd frekvens.

Det lite annorlunda angreppssättet borde ge en bra grund för att jämföra riskkällor sinsemellan. Eftersom det förutsätts att konsekvensen är lika, blir skillnaden i frekvens det enda som skiljer olika objekt från varandra.

8.1.1 Konsekvens

Konsekvensen eller konsekvenserna som riskanalysen skall bygga på väljs med utgångspunkt från riskanalysens syfte. Fortsättningsvis antas att våra riskanalyser skall visa risken att dö för den befintliga befolkningen i närheten av kemikalieindustrier. Konsekvensen som skall definieras är då "kemikalieutsläpp leder till dödsfall hos tredje man". Den här definitionen är väldigt allmän men den kan enkelt göras mer specifik. Syftet kan vara att titta på risken för de som bor allra närmast anläggningen men det vanligaste är att det är risken för ett stort område så som en hel stad som skall beräknas. Det kan då vara en idé att titta på risken vid olika avstånd från anläggningen. Konsekvensen definieras nu istället som "dödsfall på ett visst avstånd från riskkällan". Den parameter, som i fallstudien på propenkylsystemet och andra studier (WS Atkins Consultants Ltd, 2001), visat sig vara den mest betydande för avståndet är mängden utsläppt kemikalie eller källstyrkan. Med bakgrund av detta så borde vi kunna gå ett steg längre och beskriva konsekvensen som antingen ett momentant utsläpp av en viss mängd eller ett kontinuerligt utsläpp definierat med en källstyrka. Den stora fördelen med att konsekvensen nu är definierad med endast en utsläppsmängd och en källstyrka är att vi i beräkningar av resultatet kan använda oss av dataprogram som SAVE II. Först måste dock andra parametrar diskuteras.

Exempelvis spelar meteorologiska data också stor roll, en liten källstyrka kan vid stabilt väder och mild vind ge längre avstånd än stor källstyrka vid ostabilt väder och kraftig vind. Detta skapar ett problem när vi skall bestämma utsläppsmängd och källstyrka. För att undersöka vilka värden som skall väljas så börjar vi med att ge utsläppsmängden benämningen x och källstyrkan benämningen y . Sen tittar vi på extremvärdena x_{\min} och y_{\min} respektive x_{\max} och y_{\max} . Minimivärdena representerar då minsta möjliga utsläpp, som vid perfekta väderförhållanden kan ge ett tillräckligt stort riskavstånd och maximivärdena det utsläpp, som är tillräckligt stort för att riskavståndet skall bli tillräckligt även när utspädningen på grund av vädret är som störst. Vi definierar också frekvensen (sannolikheten) för utsläpp av de givna mängderna, $F_{x_{\min}}$ och $F_{y_{\min}}$ respektive $F_{x_{\max}}$ och $F_{y_{\max}}$, samt sannolikheten för ett visst väderförhållande, $P_{\text{väder}}$.

Den förväntade frekvensen för dödsfall på det valda avståndet blir således Frekvens $\cdot P_{\text{väder}}$. För de minimala extremvärdena kommer $P_{\text{väder}} \approx 0$ eftersom det behövs extrema väderförhållanden (extremt dålig luftinblandning) för att x_{\min} och y_{\min} skall kunna skapa ett tillräckligt stort riskavstånd. För de maximala är istället $P_{\text{väder}} = 1$ eftersom x_{\max} och y_{\max} ger död på valda avståndet oberoende av vädret. Frekvenserna $F_{x_{\max}}$ och $F_{y_{\max}}$ kommer dock att vara extremt låga eftersom det krävs mycket stora utsläpp för att det villkoret skall vara sant. I båda extremfallen blir alltså den slutliga sannolikheten att dö väldigt liten. Det x och y som vi vill använda oss av ligger alltså långt ifrån extremvärdena. Det behöver inte betyda att värdena ligger exakt mitt emellan extremvärdena, det är många parametrar som spelar in.

Istället görs ett antagande att representativa värden på x och y kan väljas genom att beräkna vilken mängd, respektive källstyrka, som krävs för att döda en person på valt avstånd vid de mest troliga väderförhållandena.

8.1.2 Frekvens

Nu gäller det att komma på hur utsläppen av storleken x och y kan skapas. Fokus skall ligga på vilka *resurser* som krävs för att utsläppen skall ske. Resursbegreppet är precis som det lite annorlunda angreppssättet en kraftfull del av AFD. Om någon av de identifierade resurserna inte finns så kan inte utsläppet skapas (Kaplan et Al, 1999). Om vi börjar med exemplet momentant utsläpp av mängden x , så är den kanske viktigaste resursen att x av kemikalien finns samlad på ett och samma ställe. Detta ger en begränsning av vilka komponenter i processen som är potentiella källor till utsläppet x . Analogt för källstyrka så behövs det ett tillräckligt stort hål och övertryck för att den skall skapas. Om ett rör eller kärl är för litet så kan aldrig källstyrkan uppstå.

Till att börja med så nöjer vi oss med de potentiella komponenterna som vår enda resurs. Värden från exempelvis Purple Book kan användas för att bestämma frekvensen för ett tillräckligt stort haveri av varje komponent. Den totala frekvensen fås sedan genom att addera alla värden. Summeringen följer resonemanget från de representativa scenarierna ur fallstudien.

Om vi istället går vidare i vår resursanalys så kan det vara ett stort antal faktorer som måste spela in för att utsläppen skall kunna ske. Vad behövs till exempel för att ett tillräckligt stort hål på någon komponent skall uppstå? Hålet kan antingen uppstå genom extern påverkan eller intern påverkan. Det kan också krävas att någon barriär bryts för att utsläpp skall ske. Sannolikheten för att barriären bryts kan vara det som bestämmer frekvensen.

8.2 Metod

Med teorin förklarad kan nu metoden presenteras i fyra steg. En schematisk bild av metoden finns i Bilaga 5.

8.2.1 Kemikalieanalys

För att vi skall kunna använda oss av konventionella riskberäkningsprogram så behöver vi behandla en kemikalie i taget. En kemisk industri eller ett helt industriområde hanterar ett stort antal kemikalier. Första steget blir alltså att bestämma vilka kemikalier som är farligast och som hanteras i tillräckligt stora mängder för att utgöra en risk för tredje man. Här kan förslagsvis någon indexerad metod användas. Ett exempel på en sådan metod presenteras i andra kapitlet i Purple Book. Det kan bli nödvändigt att göra fler begränsningar för att inte analysen skall bli för omfattande. En möjlighet kan vara att gruppera kemikalier som har liknande egenskaper när det gäller spridning och effekter (brandfarliga eller toxiska).

I detta steg delas också objektet för riskanalysen upp i delar. En del för varje vald kemikalie. Det är viktigt att definiera en geografisk utsläppspunkt för varje kemikalie. Om en och samma kemikalie behandlas i stora mängder på helt skilda platser, måste flera utsläppspunkter definieras.

8.2.2 Val av konsekvens

Steg två är nu att välja vilka avstånd som är intressanta för bedömningen av risken. För en allmän studie av en hel stad runt ett industriområde, som i exemplet med Stenungsund, är det

hela området utanför ”staketen” som är intressant. Förslagsvis definieras då ett minimiavstånd och ett maximiavstånd. Beroende på hur detaljerad studien skall vara så väljs också ett antal avstånd däremellan. Det är bättre och välja tätare avstånd närmare anläggningen och glesare en bit bort.

Nu kan x och y beräknas för alla avstånd och kemikalier. Det gäller att lösa ut x och y ur lämpliga formler för riskavstånd, exempelvis kan Turbulent jet-modellerna i FOA användas (FOA, 1997). Andra parametrar i dessa formler väljs, enligt antagandet i teorin, så vanliga som möjligt det vill säga medeltemperatur, den vanligaste vindhastigheten och stabilitetsklassen med mera.

8.2.3 Frekvensanalys

Enligt teorin skall fokus ligga på vilka komponenter som är aktuella för momentana utsläpp av mängden x eller kontinuerliga utsläpp med källstyrkan y . För momentant utsläpp av x krävs att mängden x finns samlat på ett ställe, i ett kärl av något slag. Frekvensen för momentant utsläpp av x ges av den sammanlagda frekvensen för totalhaveri av de kärl som har ett innehåll större än x . När det gäller kontinuerliga utsläpp behövs någon form av läckage genom ett hål eller ett avbrutet rör. Genom att studera hur stort hålet måste vara på olika kärl samt hur grova rör måste vara för att kunna ge upphov till y bestäms vilka komponenter som är aktuella.

Komponenter som innehåller tillräcklig mängd eller är stora nog för att ge ett stort värde på x och y är självklart aktuella även för lägre värden på x och y . För att inte frekvensen skall överskattas rekommenderas därför att vid en studie där flera värden på x och y valts så börjar man med de största värdena och studerar vilka komponenter som är aktuella. När sedan lägre värden studeras väljs endast de komponenter som inte varit aktuella innan.

8.2.4 Resultatberäkning

Sista steget är att använda oss av alla x och y tillsammans med tillhörande frekvenser för att beräkna risken. Meteorologiska data och befolkningsdata ger tillsammans med våra scenarier individrisk och samhällsrisk.

8.3 Exempel

För att visa hur metoden fungerar används än en gång propenkylsystemet på Borealis krackeranläggning som underlag. Det första steget (kemikalieanalysen) behöver inte utföras eftersom systemet endast innehåller en kemikalie. Det kan också antas att en kemikalieanalys är utförd och propenkylsystemet är en delanläggning som skall ingå i QRAn.

8.3.1 Val av konsekvens

Syftet med vår riskanalys antas vara att titta på vilken risk propenkylsystemet utgör för tredje man i Stenungsund. Tidigare har nämnts att närmaste tredje man befinner sig ca 400-500 meter från utsläppspunkten och det kortaste avståndet väljs till 400 meter. Ett avstånd anses inte vara tillräckligt för att visa risken och därför väljs även avstånden 500 och 700 meter.

För att beräkna vilken utsläppsmängd och källstyrka, x respektive y , som ger tillräckligt stora riskavstånd studerar vi figurerna fyra och fem från tidigare avsnitt. I beräkningarna av diagrammen har genomsnittsvärden för vind och temperatur i Stenungsund använts vilket gör de lämpliga i valet av utsläppsmängd. Värdena på x och y redovisas i tabell 1.

Riskavstånd, m	Utsläppsmängd (x), ton	Källstyrka (y), kg/s
400	40	180 kg/s
500	90	280 kg/s
700	>100	550 kg/s

tabell 1, utsläppsmängd och källstyrka beroende av valda riskavstånd

8.3.2 Frekvensanalys

För att bestämma med vilken frekvens utsläpp av mängden x respektive källstyrkor av mängden y kan uppstå studeras först och främst vilka komponenter eller rör som kan ge upphov till utsläppen. När det gäller momentant utsläpp så är det endast den allra största tanken som innehåller över 40 ton propen vilket ger ett scenario med frekvensen $5 \cdot 10^{-7}$. Genom att en än gång använda formlerna [5:14] och [5:12] i FOA beräknades vilken dimension på rör samt storlek på hål som behövs för att skapa y. Beräkningar gjordes för 1,5, 6, 10 och 13 bars övertryck och visas i tabell 2.

Tryck (bar)	550 kg/s		280 kg/s		180 kg/s	
	Hål (Ø i m)	Rör (Ø i m)	Hål (Ø i m)	Rör (Ø i m)	Hål (Ø i m)	Rör (Ø i m)
1,5	0,29	0,48	0,21	0,34	0,17	0,27
6	0,21	0,32	0,15	0,23	0,12	0,19
10	0,19	0,27	0,13	0,20	0,11	0,16
13	0,18	0,25	0,13	0,18	0,10	0,14

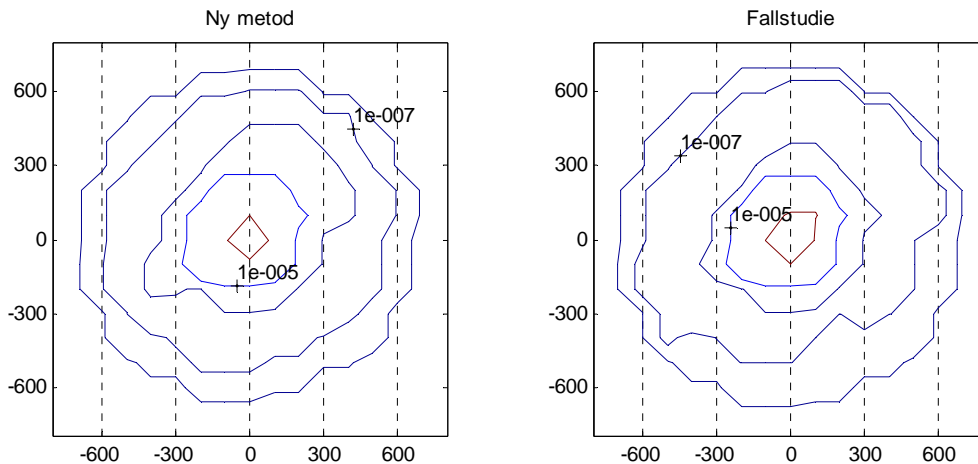
tabell 2, håldiameter och rördiameter beroende av källstyrka och tryck

Det är nu enkelt att säga vilka rör vars brott kan ge upphov till tillräckligt stor källstyrka men för hål på kärl är det lite mera komplicerat. Hur mycket större måste mantelytan hos kärlet vara jämfört med hålarean för att det ska anses realistiskt att ett hål av den storleken uppstår? För att formeln [5:12] överhuvudtaget skall vara giltig måste "kärlets minsta diameter väsentligt överstiga håldiametern" (FOA, 1997). Genom att anta att "väsentligt överstiger" betyder att den minsta diametern hos kärlet skall vara minst en faktor tio större än diametern på hålet fås vår begränsning. Begränsningen gör också att utsläppet kan betraktas som kontinuerligt och inte momentant.

Först studeras vilka komponenter som kan ge upphov till den största källstyrkan. Genom att jämföra värdena i tabell 2 med dimensionerna på kärl och rör fås att de tre största tankarna samt brott på sex rör klarar begränsningskraven. Grundfrekvensen för att ett hål av den framräknade storleken uppstår på ett kärl antas vara $5 \cdot 10^{-7}$ för tankar och $5 \cdot 10^{-5}$ för värmeväxlare. Antagandet görs på grunden av att scenariot anses vara ett mellanting av "momentant utsläpp av hela innehållet" och "utsläpp av hela innehållet inom tio minuter", som båda ges frekvenserna $5 \cdot 10^{-7}$ respektive $5 \cdot 10^{-5}$ i Purple Book. Frekvensen för den största källstyrkan beräknas således till $3 \cdot 5 \cdot 10^{-7} + 2,1 \cdot 10^{-5}$ (sammanlagda frekvensen för de sex rörbrotten) $\approx 2,2 \cdot 10^{-5}$. Vid nästa källstyrka är två värmeväxlare samt fem rör aktuella och frekvensen beräknas till $1,2 \cdot 10^{-4}$. Lägsta källstyrkan ger en värmeväxlare plus tre rörbrott och en frekvens av $6,5 \cdot 10^{-5}$.

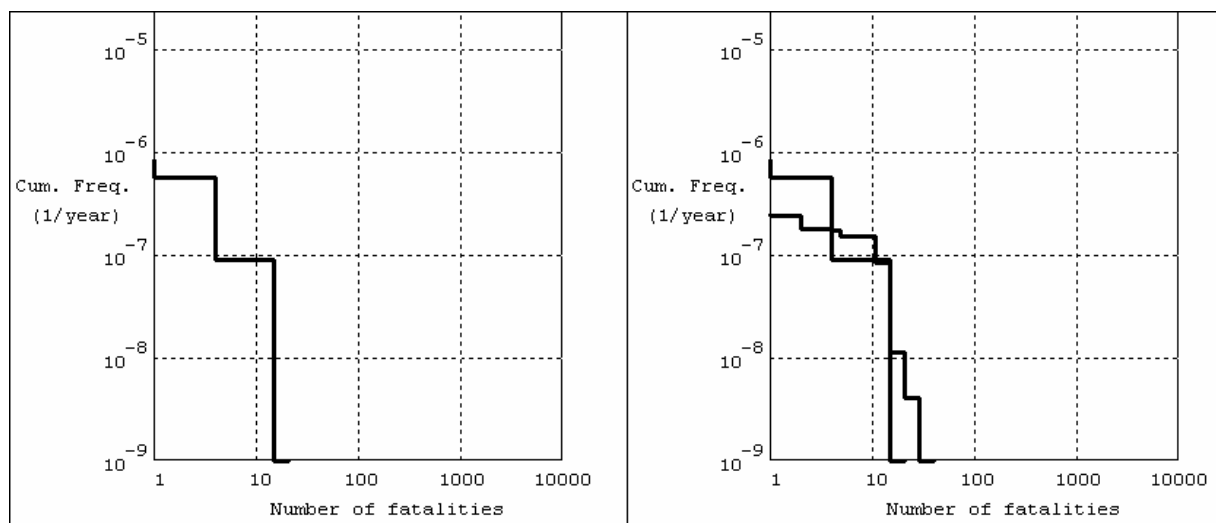
8.3.3 Resultatberäkning

För att beskriva den resulterande risken i form av individrisk och samhällsrisk görs beräkningar med programmet SAVE II. Inputen i programmet blir ett scenario för varje källstyrka och med övriga parametrar lika som i fallstudien. Resultatet ges i figur 10 och 11.



figur 10, individrisken beräknad enligt den nya metoden med hjälp av SAVE II (t.v.) och individrisken för hela fallstudien(t.h.).

Individrisken som beräknades med hjälp av den nya metoden skall jämföras med den som visar resultatet av hela fallstudien. Den enda skillnaden som kan märkas är att kurvan som visar risken 10^{-6} går lite längre ut från källan än i fallstudien. Detta beror på att genom att använda den nya metoden antogs stora kontinuerliga utsläpp kunna ske även från tankar och värmeväxlare. I fallstudien, som följde Purple Book, var det bara rörbrott som gav så stora kontinuerliga utsläpp.



figur 11, samhällsrisk beräknad enligt den nya metoden med hjälp av SAVE II (t.v.) och jämförelse med resultatet från fallstudien (t.h.).

I figur 11 jämförs resultatet från fallstudien med beräkningarna med hjälp av den nya metoden. Den nya metoden ger högre frekvens än fallstudien för ett fåtal dödsfall vilket orsakas dels av de kontinuerliga utsläppen från tankar och värmewäxlare, dels av den diskreta uppdelningen av utsläppsmängderna i tre nivåer. Diskretiseringen ger också en jämnare lutning på FN-kurvan än fallstudien. Den jämna lutningen orsakas av att riskavståndet valts i förhand. Antalet personer som riskerar att dö ökar med avståndet och det intervallet (400, 500 och 700 meter) ger en jämn lutning. Arean under respektive kurva uppskattas vara ungefär lika stor, vilket kan tolkas som att båda riskanalyserna ger samma förväntade totala risk.

9 Sammanfattande diskussion

När en QRA utförs enligt Purple Book gör den stora detaljeringsgraden att ett stort antal scenarier måste definieras. För fallstudien renderade det i att 137 scenarier beaktades för en del av en fabrik. För hela krackerfabriken skulle det troligtvis handla om uppemot tusen scenarier. Under arbetet med fallstudien och framförallt i utredningen av representativa scenarier framgick det dock att många scenarier är väldigt lika varandra. Det handlar egentligen bara om två former av utsläpp, ett momentant eller ett kontinuerligt utsläpp. Sen är det de olika mängderna som släpps ut som styr hur stort riskområdet blir. I Sverige, där vi inte måste följa Purple Book, är det till stor del ekonomiska resurser som styr detaljeringsgraden i en QRA. En riskanalys får inte kosta för mycket om den skall vara ekonomiskt försvarbar. Arbetet visar också att ett fåtal scenarier kan ersätta scenarierna som tas fram med hjälp av Purple Book. För att den totala risken inte skall underskattas behövs dock att de utvalda scenarierna verkligen är representativa för hela anläggningen och inte stickprov på vad som kan hända.

Om man i Sverige skall följa exemplet i Holland och införa kvantitativa riskkriterier behövs enligt Davidsson (1997) väl definierade metoder för QRA. Detta för att riskanalyser skall kunna jämföras med valt kriteriet samt kunna granskas av myndigheter. Det är viktigt att riskanalysens resonemang kan följas och att osäkerheter och antaganden är synliga. Davidsson menar också att metoden måste innehålla en standard för hur generiska värden skall behandlas. Metoden för att ta fram representativa scenarier som presenteras i arbetet uppfyller framförallt kraven på att riskanalyserna blir ett bra underlag för jämförelse. I rapporten presenteras också ett enkelt statistiskt resonemang för behandling och summering av generiska värden. Den nya metodens systematik borde också göra den enkel att följa i ett från myndighetshåll granskande syfte. Med mer specifika riktlinjer för hur osäkerheter skall redovisas samt vilka antaganden som får göras är metoden kanske precis vad Davidsson söker. Det skall också tilläggas att det behövs regler för hur avancerade modeller som skall användas i konsekvensberäkningar. Kravnivån borde kunna sättas högt eftersom det finns ett flertal programvaror på marknaden där modellerna som används är väl accepterade och mycket avancerade.

De dimensionerande skadefallen kommer inte att räcka som underlag för kvantitativa riskkriterier. Företagen måste arbeta med reducerande åtgärder som både minskar sannolikheten för och konsekvensen av att olyckor händer. Om man bara fokuserar på konsekvenser och riskavstånd är det möjligt att det leder till felprioriteringar av åtgärder. De dimensionerande skadefallen fyller dock en funktion i mindre projekt där ett specifikt säkerhetsavstånd skall preciseras eller som underlag för simulering av räddningsinsatser.

10 Referenser

10.1 Muntliga

Anders Jacobsson, A.J. Riskengineering AB, Brandteknik LTH.

Ulf Lorentzon, Borealis AB, Stenungsund.

10.2 Internet

<http://www.raddningstjansten.goteborg.se/prod/raddningstjansten/dalis.nsf/0/714B0D2375E626E9C1256E91004CAE31?OpenDocument>, 2004-10-13.

<http://www.stenungsund.se/vma/>, 2004-10-13.

<http://www.petrochemistry.net/templates/shwStory2.asp?TID=10&SNID=54>, 2004-10-13.

<http://www.borealisgroup.com/public/about/what/sweden.html>, 2004-10-13.

http://www.rivm.nl/milieu/risicos/externe_veiligheid/CPR18/cpr18.jsp, 2005-01-19.

<http://www.ma.slu.se/IM/station/Gard.html>, 2004-12-18.

10.3 Böcker och tidsskrifter

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

Bier, V.M., *Challenges to the Acceptance of Probabilistic Risk Analysis*, Risk Analysis, Vol. 19, No. 4, 1999.

Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers (CCPS), *Guidelines for CPQRA - Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, 2nd edition, USA, 2000.

Committee for the Prevention of Disasters, *Guideline for quantitative risk, "Purple book"*, CPR 18E, The Hague, Holland, 1999

COVO Commission, *Risk analysis of six potentially hazardous industrial objects in the Rijnmond area, a pilot study. A report to the Rijnmond public authority*, Central Environmental Control Agency Rijnmond, Schiedam, 1981.

Davidsson, G., Lindgren, M., Mett, L., *Värdering av risk*, Räddningsverket, 1997.

Försvarets Forskningsanstalt, *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor*, 1997.

Goble, W.M., *Comparing failure rates*, Hydrocarbon Processing, February 2001.

Goyal, R.K., *Understand Quantitative Risk Assessment*, Hydrocarbon Processing, January, 1995.

Hoffman, O.F., Kaplan, S., *Beyond the Domain of Direct Observation : How to Specify a Probability Distribution that Represents the "State of Knowledge" About Uncertain Inputs*, Risk Analysis, Vol. 19, No. 1, 1999.

Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), *Skydd mot fria gasmolnsexplosioner i processindustrin*, Meddelande 238, Stockholm, 1981.

Ingvarson, J., Roos, A., *Metoder för risk- och sårbarhetsanalys*, Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2003.

Jacobsson, A., Lamnevik, S., *Tolerabel Risk inom kemikaliehanterande verksamhet*, Intresseföreningen för Processsäkerhet, Tumba 2001.

Jacobsson A., *Säkerhetsstudie-Stenungsund*, AJ Risk Engineering AB, 2004.

Kaplan, S., Haimes, Y.Y., Garrick, B.J., *Fitting Hierarchical Holographic Modeling into the Theory of Scenario Structuring and a Resulting Refinement to the Quantitative Definition of Risk*, Risk Analysis, Vol. 21, No 5, 2001.

Kaplan, S., Visnepolschi, S., Zlotin, B., Zusman, A., *New Tools for Failure and Risk Analysis: Anticipatory Failure Determination (AFD) and Theory of Scenario Structuring*, Ideation International Inc, 1999.

Kemikontoret, *Riskhantering 3 – Tekniska riskanalysmetoder*, 2001

Lauridsen, K. et. al., *Assessing the uncertainties in the process of risk analysis of chemical establishments: Part I-II*, Proceedings ESREL conference Towards a Safer World, Torino, 2001.

Lemmon, E.W., McLinden, M.O., Friend, D.G., *Thermophysical Properties of Fluid Systems*, NIST Chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database Number 69, Eds. Linstrom, P.J., Mallard, W.G., National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD, 20899 (<http://webbook.nist.gov>), March, 2003.

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

Paté-Cornell, E.M., *Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment*, Reliability Engineering and System Safety, Vol 54, 1996.

Riskkollegiet, *Kemiska risker – beslutsfattandets problem*, Skrift Nr 8, Stockholm, 1995.

Riskkollegiet, *Kriterier för tolerabel risk - behövs det?*, Risknytt, nr 3, 2004.

WS Atkins Consultants Limited, *Calculation of input data importances for toxic release risk assessments: Gastar and Crunch*, Contract Research Report 338, 2001.

11 Förteckning över bilagor

Bilaga 1. Scenarier i fallstudien

Bilaga 2. Populationsdata för Stenungsund

Bilaga 3. Meteorologiska data för Stenungsund

Bilaga 4. Beräkningar av hur riskavståndet beror av utsläppsmängd

Bilaga 5. Schema över metod för att välja representativa scenarier i en QRA för en processindustrianläggning.

Bilaga 1. Scenarier i fallstudien

Scenarier som ingår i beräkningarna av risken för propenkylsystemet. En stjärna (*) i kolumnen "Scenario" anger att scenariot gett konsekvenser i form av dödlig risk och har varit med i resonemanget om representativa scenarier i kapitel 7.

TANKAR OCH FILTER

Namn	Volym	Vätskevolym	Övertryck	Scenario	Frekvens	Mängd/Källstyrka
D-1983	151 m ³	"endast gas"	0,2 bar	1 a	$1 \cdot 10^{-7}$	417 kg
				1 b	$4 \cdot 10^{-7}$	417 kg
D-1984	116 m ³	35 m ³	1,5 bar	1 a	$3,5 \cdot 10^{-7}$	20 770 kg
				1 b*	$1,5 \cdot 10^{-7}$	20 770 kg
				2	$5 \cdot 10^{-7}$	35 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-5}$	0,64 kg/s
D-1882	3 m ³	3 m ³	6 bar	1 a	$2,5 \cdot 10^{-7}$	1 606 kg
				1 b	$2,5 \cdot 10^{-7}$	1 606 kg
				2	$5 \cdot 10^{-7}$	2,7 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-5}$	1,2 kg/s
D-1985	136 m ³	41 m ³	6 bar	1 a	$3,5 \cdot 10^{-7}$	23 348 kg
				1 b*	$1,5 \cdot 10^{-7}$	23 348 kg
				2	$5 \cdot 10^{-7}$	39 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-5}$	1,2 kg/s
D-1982	188 m ³	141 m ³	13 bar	1 a	$3,5 \cdot 10^{-7}$	70 547 kg
				1 b*	$1,5 \cdot 10^{-7}$	70 547 kg
				2	$5 \cdot 10^{-7}$	120 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-5}$	1,7 kg/s
Fil-1950 (2st)	0,35 m ³	0,35 m ³	1,5	1 a	$2 \cdot 10^{-7}$	203 kg
				1 b	$8 \cdot 10^{-7}$	203 kg
				2	$5 \cdot 10^{-7}$	0,34 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-5}$	0,64 kg/s
Fil-1850 (2st)	0,07 m ³	0,07 m ³	13	1 a	$2 \cdot 10^{-7}$	36 kg
				1 b	$8 \cdot 10^{-7}$	36 kg
				2	$5 \cdot 10^{-7}$	0,06 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-5}$	1,7 kg/s

VÄRMEVÄXLARE

Propen i manteln

Namn	Volym	Vätskevolym	Övertryck	Scenario	Frekvens	Mängd/Källstyrka
E-1904 (2st)	9 m ³	4,5 m ³	0,2 bar	1 a	$5 \cdot 10^{-5}$	2 732 kg
				1 b	$5 \cdot 10^{-5}$	2 732 kg
				2	$1 \cdot 10^{-4}$	4,6 kg/s
				3	$2 \cdot 10^{-3}$	0,24 kg/s
E-1708 (2st)	7,5 m ³	3,75 m ³	0,2 bar	1 a	$5 \cdot 10^{-5}$	2 277 kg
				1 b	$5 \cdot 10^{-5}$	2 277 kg
				2	$1 \cdot 10^{-4}$	3,8 kg/

				3	$2 \cdot 10^{-3}$	0,24 kg/s
E-1812	5,7 m ³	2,85 m ³	0,2 bar	1 a	$2,5 \cdot 10^{-5}$	1 730 kg
				1 b	$2,5 \cdot 10^{-5}$	1 730 kg
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	2,9 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-3}$	0,24 kg/s
E-1833	1,9 m ³	0,9 m ³	0,2 bar	1 a	$1 \cdot 10^{-5}$	565 kg
				1 b	$4 \cdot 10^{-5}$	565 kg
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	0,94 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-3}$	0,24 kg/s
E-1823 (4st)	6,4 m ³	3,2 m ³	0,2	1 a	$1 \cdot 10^{-4}$	1931 kg
				1 b	$1 \cdot 10^{-4}$	1931 kg
				2	$2 \cdot 10^{-4}$	3,2 kg/s
				3	$4 \cdot 10^{-3}$	0,24 kg/s
E-1848	0,75 m ³	0,75 m ³	1,5 bar	1 a	$1 \cdot 10^{-5}$	436 kg
				1 b	$4 \cdot 10^{-5}$	436 kg
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	0,73 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-3}$	0,64 kg/s
E-1883	2,8 m ³	1,4 m ³	1,5 bar	1 a	$1 \cdot 10^{-5}$	809 kg
				1 b	$4 \cdot 10^{-5}$	809 kg
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	1,3 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-3}$	0,64 kg/s
E-1832	1,7 m ³	0,9 m ³	1,5 bar	1 a	$1 \cdot 10^{-5}$	510 kg
				1 b	$4 \cdot 10^{-5}$	510 kg
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	0,85 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-3}$	0,64 kg/s
E-1811	4,6 m ³	2,3 m ³	1,5 bar	1 a	$2,5 \cdot 10^{-5}$	1354 kg
				1 b	$2,5 \cdot 10^{-5}$	1354 kg
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	2,3 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-3}$	0,64 kg/s
E-1903	1,4 m ³	0,7 m ³	1,5 bar	1 a	$1 \cdot 10^{-5}$	404 kg
				1 b	$4 \cdot 10^{-5}$	404 kg
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	0,67 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-3}$	0,64 kg/s
E-1821 (2st)	6,6 m ³	3,3 m ³	1,5 bar	1 a	$5 \cdot 10^{-5}$	1935 kg
				1 b	$5 \cdot 10^{-5}$	1935 kg
				2	$1 \cdot 10^{-4}$	3,2 kg/s
				3	$2 \cdot 10^{-3}$	0,64 kg/s
E-1733	9,5 m ³	4,75 m ³	1,5 bar	1 a	$2,5 \cdot 10^{-5}$	2785 kg
				1 b	$2,5 \cdot 10^{-5}$	2785 kg
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	4,6 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-3}$	0,64 kg/s
E-1849	2 m ³	2 m ³	6 bar	1 a	$2,5 \cdot 10^{-5}$	1071 kg
				1 b	$2,5 \cdot 10^{-5}$	1071 kg
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	1,8 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-3}$	1,2 kg/s
E-1836	1,6 m ³	1,6 m ³	6 bar	1 a	$1 \cdot 10^{-5}$	830 kg

				1 b	$4 \cdot 10^{-5}$	830 kg
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	1,4 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-3}$	1,2 kg/s
E-1882	1,5 m3	0,75 m3	6 bar	1 a	$1 \cdot 10^{-5}$	413 kg
				1 b	$4 \cdot 10^{-5}$	413 kg
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	0,69 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-3}$	1,2 kg/s
E-1902	1,1 m3	0,6 m3	6 bar	1 a	$1 \cdot 10^{-5}$	353 kg
				1 b	$4 \cdot 10^{-5}$	353 kg
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	0,59 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-3}$	1,2 kg/s
E-1705	9,7 m3	5,8 m3	6 bar	1 a	$2,5 \cdot 10^{-5}$	3157 kg
				1 b	$2,5 \cdot 10^{-5}$	3157 kg
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	5,3 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-3}$	1,2 kg/s
E-1808	2,7 m3	1,6 m3	6 bar	1 a	$1 \cdot 10^{-5}$	867 kg
				1 b	$4 \cdot 10^{-5}$	867 kg
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	1,4 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-3}$	1,2 kg/s
E-1952 (4st)	0,9 m3	0,7 m3	13 bar	1 a	$1 \cdot 10^{-5}$	358 kg
				1 b	$4 \cdot 10^{-5}$	358 kg
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	0,6 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-3}$	1,7 kg/s
E-1955	10 m3	10 m3	13 bar	1 a	$2,5 \cdot 10^{-5}$	4904 kg
				1 b	$2,5 \cdot 10^{-5}$	4904 kg
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	8,2 kg/s
				3	$1 \cdot 10^{-3}$	1,7 kg/s
E-1953 (3st)	1,2 m3	1,2 m3	13 bar	1 a	$3 \cdot 10^{-5}$	564 kg
				1 b	$1,2 \cdot 10^{-4}$	564 kg
				2	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0,94 kg/s
				3	$3 \cdot 10^{-3}$	1,7 kg/s
E-1954 (2st)	5,6 m3	“endast gas”	13 bar	1 a	$2 \cdot 10^{-5}$	167 kg
				1 b	$8 \cdot 10^{-5}$	167 kg
E-1951 (2st)	0,9	“endast gas”	13 bar	1 a	$2 \cdot 10^{-5}$	25 kg
				1 b	$8 \cdot 10^{-5}$	25 kg

Propen i tuberna

Namn	Volym	Vätskevolym	Övertryck	Scenario	Frekvens	Mängd/Källstyrka
E-1824 (4st)	10 m3	10 m3	6 bar	1 a	$2 \cdot 10^{-6}$	5 354 kg
				1 b	$2 \cdot 10^{-6}$	5 354 kg
E-1820 (2st)	10 m3	10 m3	10 bar	1 a	$1 \cdot 10^{-6}$	5 080 kg
				1 b	$1 \cdot 10^{-6}$	5 080 kg
E-1837	6 m3	6 m3	13 bar	1 a	$5 \cdot 10^{-7}$	2 942 kg
				1 b	$5 \cdot 10^{-7}$	2 942 kg

RÖR

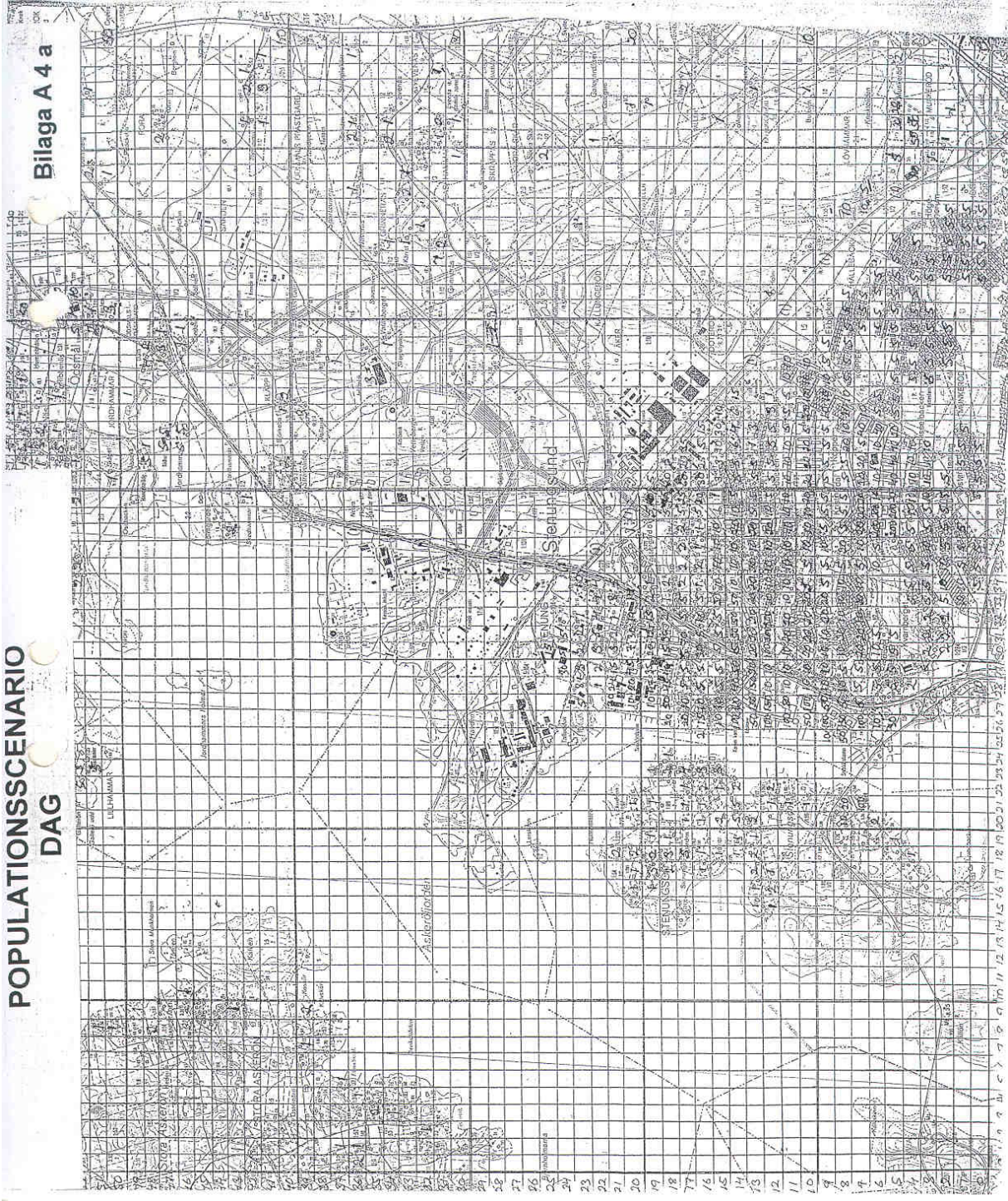
Segment	Diameter	Längd	Tryck	Scenario	Frekvens	Källstyrka
4	0,15 m	24 m	6 bar	1	$7,2 \cdot 10^{-6}$	118 kg/s
				2	$3,6 \cdot 10^{-5}$	2,8 kg/s
5	0,3 m	52 m	6 bar	1*	$5,2 \cdot 10^{-6}$	472 kg/s
				2	$2,6 \cdot 10^{-5}$	11,1 kg/s
7	0,25 m	48 m	10 bar	1*	$4,8 \cdot 10^{-6}$	456 kg/s
				2	$2,4 \cdot 10^{-5}$	9,7 kg/s
11	0,35 m	10 m	13 bar	1*	$1 \cdot 10^{-6}$	1006 kg/s
				2	$5 \cdot 10^{-6}$	21,3 kg/s
12	0,3 m	10 m	13 bar	1*	$1 \cdot 10^{-6}$	778 kg/s
				2	$5 \cdot 10^{-6}$	15,6 kg/s
13	0,3 m	7 m	13 bar	1*	$7 \cdot 10^{-7}$	778 kg/s
				2	$3,5 \cdot 10^{-6}$	15,6 kg/s
14 a	0,25 m	100 m	13 bar	1	$1 \cdot 10^{-5}$	560 kg/s
				2	$5 \cdot 10^{-5}$	19 kg/s
14 b	0,1 m	20 m	13 bar	1	$6 \cdot 10^{-6}$	89,6 kg/s
				2	$3 \cdot 10^{-5}$	1,7 kg/s
16 a	0,35 m	44 m	6 bar	1*	$4,4 \cdot 10^{-6}$	643 kg/s
				2	$2,2 \cdot 10^{-5}$	15,1 kg/s
16 b	0,3 m	60 m	6 bar	1*	$6 \cdot 10^{-6}$	472 kg/s
				2	$3 \cdot 10^{-5}$	11,1 kg/s
17 a	0,2 m	73 m	6 bar	1*	$7,3 \cdot 10^{-6}$	212 kg/s
				2	$3,7 \cdot 10^{-6}$	4,9 kg/s
17 b	0,35 m	35 m	6 bar	1*	$3,5 \cdot 10^{-6}$	650 kg/s
				2	$1,75 \cdot 10^{-5}$	15,1 kg/s
19 a	0,4 m	52 m	1,5 bar	1*	$5,2 \cdot 10^{-6}$	382 kg/s
				2	$2,6 \cdot 10^{-5}$	10,3 kg/s
19 b	0,35 m	21 m	1,5 bar	1*	$2,1 \cdot 10^{-6}$	293 kg/s
				2	$1,1 \cdot 10^{-5}$	7,9 kg/s
19c	0,3 m	31 m	1,5 bar	1*	$3,1 \cdot 10^{-6}$	215 kg/s
				2	$1,6 \cdot 10^{-5}$	5,8 kg/s
20	0,3 m	48 m	1,5 bar	1*	$4,8 \cdot 10^{-6}$	219 kg/s
				2	$2,4 \cdot 10^{-5}$	5,8 kg/s

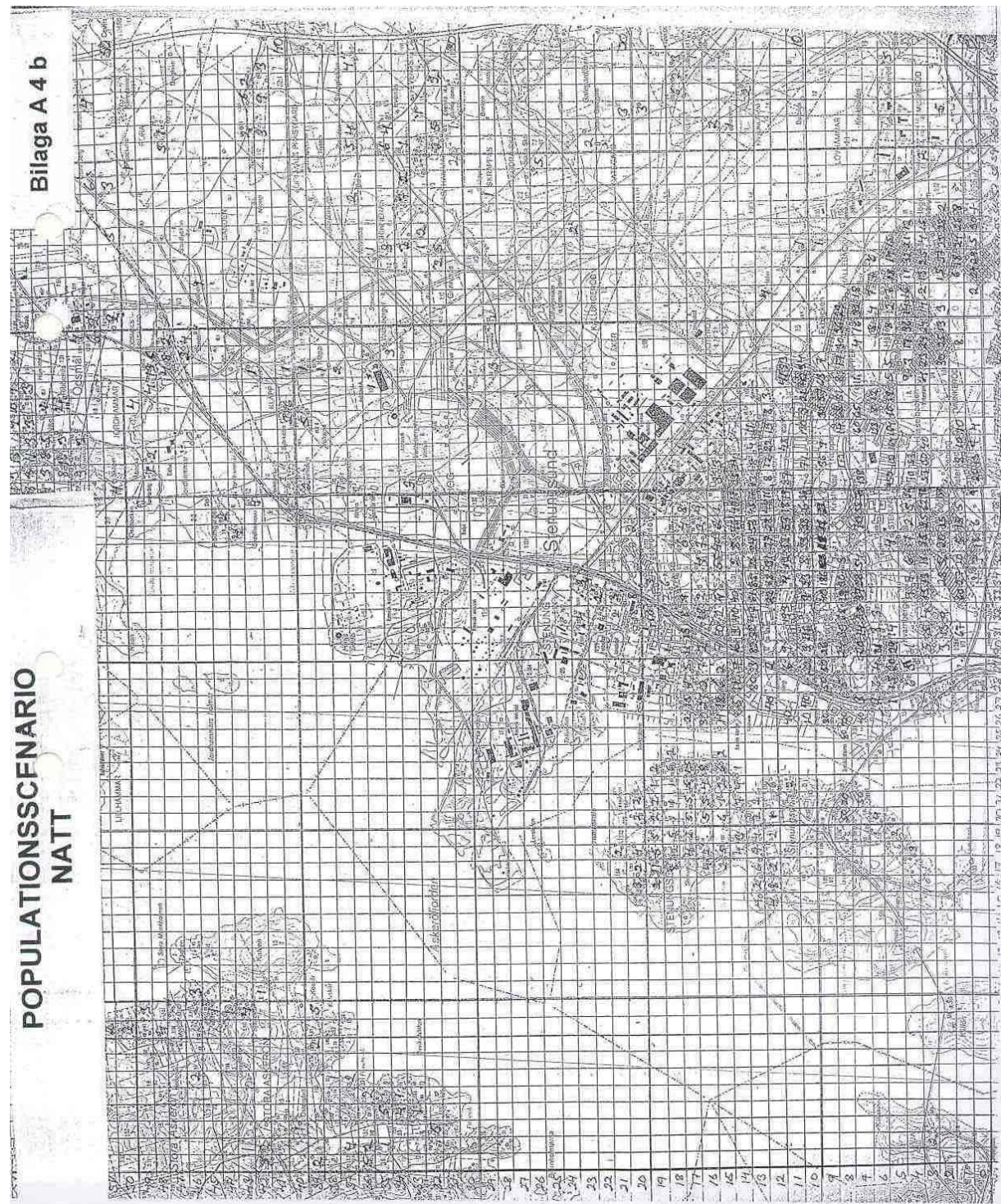
KOMPRESSORN

Scenario	Frekvens	Källstyrka
1	$1 \cdot 10^{-4}$	119 kg/s
2	$5 \cdot 10^{-4}$	12 kg/s

Bilaga 2. Populationsdata för Stenungsund

DAG





Bilaga 3. Meteorologiska data för Stenungsund

Säkerhetsstudie
Stenungsund
2004

Bilaga A5

METEOROLOGISKT SCENARIO

Frequency Distribution of Weather Types in Wind Direction

St. Cl.	N - NE	NE - E	E - SE	SE - S	S - SW	SW - W	W - NW	NW - N	TOTAL
B - 1.5	0.0040	0.0150	0.0110	0.0140	0.0110	0.0060	0.0030	0.0030	0.0670
B - 4.0	0.0020	0.0060	0.0040	0.0040	0.0080	0.0070	0.0020	0.0010	0.0340
B - 8.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
D - 1.5	0.0110	0.0460	0.0320	0.0410	0.0320	0.0160	0.0080	0.0070	0.1930
D - 4.0	0.0140	0.0430	0.0280	0.0310	0.0620	0.0440	0.0150	0.0070	0.2440
D - 8.0	0.0040	0.0160	0.0080	0.0150	0.0620	0.0700	0.0410	0.0040	0.2200
F - 1.5	0.0110	0.0410	0.0290	0.0360	0.0270	0.0140	0.0070	0.0060	0.1710
F - 4.0	0.0040	0.0130	0.0080	0.0090	0.0180	0.0130	0.0040	0.0020	0.0710
F - 8.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TOTAL	0.0500	0.1800	0.1200	0.1500	0.2200	0.1700	0.0800	0.0300	1.0000

STABILITETSKLASSER

Vindhastighet m/s	Stabilitet (%)		
	B	D	F
1.5	15	45	40
4.0	10	70	20
8.0	0	100	0

Bilaga 4. Beräkningar av hur riskavståndet beror av utsläppsmängd

```
clear all
FOA.patm=101510;
FOA.Tatm=280;
FOA.cpatm=1e3; %Tabeller o Diagram
FOA.g=9.81;
FOA.Rkonst=8.314; %Gaskonstanten
FOA.hc=46.2e6;
FOA.hgf25=18e3*42.1; %S I Chemical Data Third Edition
FOA.Tc=91; %http://www.airliquide.com/en/business/products/gases/gasdata/index.asp?GasID=54,
2004-09-01.
FOA.bdot=0.069;
FOA.M=42.1; %S I Chemical Data Third Edition
FOA.Matm=29; %Luft
FOA.rhoprop=2.329;
FOA.rhoa=1.29;
FOA.Tb=273.15-47.7; %S I Chemical Data Third Edition
FOA.C1=0.02; %FOA Tabell 10.2
FOA.C2=0.111; %FOA Tabell 10.2
FOA.Cstock=0.045; %FOA Tabell 10.2
FOA.rad=radiation(FOA);
FOA.z0=1; %CPR 18E Table 4.4 (Stenungsund som förort inga höga hus...)
[LOclist,labels]=xlsread('RavQ.xls'); %Fil med scenariodata
INS.T=LOclist(:,1);
INS.p=LOclist(:,2);
INS.cf=LOclist(:,3);
INS.cpg=LOclist(:,4);
INS.Q=LOclist(:,5);
FOA.uw=4;
FOA.class=6;
[Rmom,R2mom,Rexpl,R2expl]=momentan(INS,FOA);
[LOclist,labels]=xlsread('RavQkon.xls'); %Fil med scenariodata
KON.Q=LOclist(:,1);
KON.F=LOclist(:,2);
Rkon=kontinuerlig(KON,FOA);
Q=INS.Q;
plot(Q,R2mom,'-');
Q=KON.Q;
plot(Q,Rkon);

function [R,R2,Rexpl,R2expl]=momentan(INS,FOA);
cf=INS.cf;
Tf=INS.T;
Tb=FOA.Tb;
E=foa630(cf,Tf,Tb);
mass=INS.Q;
M=FOA.M;
Vgo=foa631(mass,M);
uw=FOA.uw;
ta=foa632(E,Vgo,uw);
Tc=FOA.Tc;
hgf25=FOA.hgf25;
hgf=hgf25.*(((273.15+Tc)-Tf)./(Tc-25)).^0.38; %FOA [6:47]
cpg=INS.cpg;
Mge=foa633(M,hgf,cpg,Tf);
[rhog,Voo,tb]=foa63678(M,Mge,E,Vgo);
C1=FOA.C1;
```

```

C2=FOA.C2;
C1=C1.*ones(size(E));
C2=C2.*ones(size(E));
t=(Vgo./(0.134.*E.^(9/16).*Vgo.^(5/8).*C1)).^(8/9);
texpl=(Vgo./(0.134.*E.^(9/16).*Vgo.^(5/8).(C2./2))).^(8/9);
ttest1=t>=tb;
pos1=find(~ttest1);
ttest2=t<=ta;
pos2=find(ttest1&ttest2);
pos3=find(~ttest2);
R=zeros(size(t));
Ruw=uw.*t;
R(pos1)=foa634(t(pos1),E(pos1),Vgo(pos1));
R(pos2)=foa635(t(pos2),E(pos2),Vgo(pos2),rhog(pos2),Voo(pos2),tb(pos2));
R(pos3)=zeros(size(pos3));
R2(pos1)=Ruw(pos1)+R(pos1);
R2(pos2)=Ruw(pos2)+R(pos2);
R2(pos3)=Ruw(pos3)+R(pos3);

function R=kontinuerlig(KON,FOA);
Q=KON.Q;
F=KON.F;
M=FOA.M;
uw=FOA.uw;
rhoa=FOA.rhoa;
rhog=0.0409*M;
C1=FOA.C1;
Y1=C1*(rhog/rhoa)/(1-C1*(1-rhog/rhoa)); %FOA [10:6]
Yxtr=0.37*Q*uw./(F-Q*uw);
test=Yxtr<(2*C1);
pos1=find(test);
pos2=find(~test);
R=zeros(size(Q));
R(pos1)=5.95*Q(pos1)./(sqrt(rhoa*(F(pos1)-Q(pos1)*uw))*Y1); %FOA [6:21a]

```

Bilaga 5. Schema över metod för att välja representativa scenarier i en QRA för en processindustrianläggning.

