

Riskhänsyn vid fysisk planering

- en detaljstudie av Malmö Hamn

Håkan Olsen
Maya Stål

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5034, Lund 1999

Riskhänsyn vid fysisk planering

-en detaljstudie av Malmö Hamn

Håkan Olsen
Maya Stål

Lund 1999

Riskhänsyn vid fysisk planering –en detaljstudie av Malmö Hamn

Håkan Olsen
Maya Stål

Report 5034
ISSN: 1402-3504
ISRN: LUTVDG/TVBB--5034--SE

Number of pages: 86

Keywords
urban planning, risk analysis, Malmö, harbour area

Abstract

The report brings up the matter of risk analysis in urban planning. A risk analysis of the harbour area in Malmö has been carried out. The purpose is to provide basic data for decision-making concerning construction of residential areas in the harbour area.

© Copyright: Håkan Olsen och Maya Stål, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 1999.

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

Snart står den fasta förbindelsen över Öresund färdig och Malmö kommer att spela en central roll i den nya så kallade Öresundsregionen. Man kan anta det innebär att hantering och transport av farligt gods kommer att öka. Byggnaderna i Malmö Hamn består nästan uteslutande av industrier och kontorslokaler och människor vistas där i begränsad omfattning. Tre nya översiktsplaner som innefattar byggandet av bostäder i hamnen har utarbetats. Den nya användningen av marken i kombination med en ökad risk i området kan ge upphov till en konflikt. Avsikten med studien är att bedöma risknivån i området och att jämföra dagens riskbild med morgondagens.

En riskinventering i hamnen visar att den enda anläggning som påverkar riskbilden är Rangerbangården. Av de ämnen som hanteras på rangerbangården väljs fyra ut för fortsatt analys; ammoniak, svaveldioxid, klor och gasol. Sannolikheten för utsläpp beräknas med hjälp av en modell framtagen av VTI (Väg- och transportforskningsinstitutet). Riskavståndet beräknas för ämnernas LC₅₀-värden. För att belysa osäkerheterna i utdata tas avståndet fram som en sannolikhetsfördelning. Sedan beräknas individ- och samhällsriskerna i området. Dessa jämförs med nationella och internationella riskacceptanskriterier.

Individrisken ligger på en acceptabel nivå med undantag från delar av Kirsebergsstaden som ligger i gränslandet för vad som anses acceptabelt. Samhällsriskerna ligger i det oacceptabla området och skillnaden mellan dagsläget och morgondagen är marginell. Även om individrisken medger nybyggnation skulle detta innebära en ökning av samhällsriskerna som redan i dag ligger på en oacceptabelt hög nivå. Problemet är att det redan vistas väldigt mycket människor söder om rangerbangården, mot centrum till.

Att spegla verkligheten med teoretiska modeller innebär alltid att man väger in en del osäkerheter i resultatet. Känslighetsanalyser visar att den faktor som påverkar resultatet mest är en konstant i VTI's modell som inte kan varieras. För att få ner riskerna vid rangeringen bör åtgärder vidtas som är inriktade på att minska sannolikheten för urspårning samt att vid urspårning minska sannolikheten för läckage. För att begränsa konsekvenserna av en olycka kan man se över ventilationen i bostäderna, utforma rutiner för att varna allmänheten och informera personalen om hur de ska agera då olyckan är framme.

Summary

The harbour area in Malmö is constantly changing. Due to the new connection to Copenhagen, the number of dangerous goods transports is about to increase. Today most of the buildings in the harbour area are either offices or industrial plants and the number of people in the area is very low. Three new extension-plans have been developed which include construction of several residential areas. The different usage of the land and the higher risk level in the area may cause a conflict of interest. The purpose of this study is to calculate the risk level in the area and then compare the situation today with the proposed future situation.

An inventory of the risks in the harbour shows that the only facility that contributes to the total risk is the marshalling yard. Four different dangerous compounds were selected for further analysis in the marshalling yard, namely Ammonia, Sulphur dioxide, Chlorine, and Liquid Propane Gas (LPG). To calculate the probability of a discharge of these compounds, a model from VTI (Väg- och transportforskningsinstitutet) was used. The safety distance was calculated for each compound's LC_{50} -value (lethal concentration 50%). To take into account of the uncertainties in the results, the distance was calculated as a probability distribution function. After that the individual- and societal risk was calculated for the area. These were then compared to national and international criteria for acceptable levels of risk.

The individual risk is acceptable except in certain parts of Kirsebergsstaden in which the risk is close to unacceptable. The societal risk is currently unacceptable and the proposed construction will only result in a small risk increase. Even if the individual risk criteria allows construction of residential areas, this would lead to an increase of the societal risk which is already unacceptably high. The problem is that too many people already live in the area south of the marshalling yard, towards the centre of the city.

When simplifying reality with theoretical models, a number of uncertainties are taken into the calculations. Sensitivity analysis shows that the most significant factor is a constant used in the model for calculating the probability. This constant can not be varied. To decrease the risks involved in marshalling, measures should be taken to prevent train derailment and, in case of derailment, prevent a discharge.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING	1
1.1 SYFTE	1
1.2 AVGRÄNSNINGAR	2
2. RISKHANTERING I FYSISK PLANERING	3
2.1 HÄLSA OCH SÄKERHET	3
2.2 LAGAR INOM RISKHANTERING	4
3. RISKKRITERIER.....	6
3.1 DIMENSIONERANDE SKADA	6
3.2 ACCEPTABEL RISK	6
4. SKYDDSBEHOV.....	9
4.1 I DAG	9
4.2 I MORGON	9
5. RISKINVENTERING.....	13
5.1 HAMNEN.....	13
5.2 RANGERBANGÅRDEN.....	14
5.3 CONTAINERTERMINALEN.....	15
6. RISKANALYS.....	16
6.1 BERÄKNINGSGÅNG	16
6.2 SANNOLIKHETSBERÄKNINGAR.....	17
6.3 KONSEKVENSBERÄKNINGAR	18
6.3.1 Ammoniak	19
6.3.2 Svaveldioxid	20
6.3.3 Klor	20
6.3.4 Gasol.....	21
6.4 BERÄKNING AV RISK.....	23
6.4.1 Individrisk	23
6.4.2 Samhällsrisk.....	24
6.5 TILLÄMPNINGSSOMRÅDE.....	25
7. KONFLIKTANALYS	28
8. DISKUSSION.....	30
8.1 OSÄKERHETER I ANALYSEN	30
8.2 ÅTGÄRDER	30
9. REFERENSER	31
APPENDIX 1. RISKINVENTERING	1
A1.1 HAMNEN	1
A1.2 RANGERBANGÅRDEN	3
A1.3 CONTAINERTERMINALEN	4
REFERENSER.....	5
APPENDIX 2. SANNOLIKHETSBERÄKNINGAR.....	6
A2.1 SANNOLIKHET FÖR UTSLÄPP	6
A2.2 SANNOLIKHETSFÖRDELNINGAR	9
REFERENSER.....	14
APPENDIX 3. KONSEKVENSBERÄKNINGAR.....	15
A3.1 LC ₅₀ -BERÄKNINGAR	15
A3.2 KÄNSLIGHETSANALYS	16

A3.3 STABILITETSKLASS	19
A3.4 JÄMFÖRELSE MELLAN HANDBERÄKNING OCH DATORBERÄKNING	22
A3.5 REGRESSIONSANALYS.....	24
A3.6 SIMULERINGAR I @RISK.....	34
A3.7 BLEVE-BERÄKNINGAR	40
A3.8 BERÄKNING AV INDIVIDRISK	41
A3.9 BERÄKNING AV SAMHÄLLSRISK.....	44
REFERENSER.....	48

1. Inledning

Riskhänsyn är ett begrepp som innefattar allt som rör hälsa och säkerhet i den fysiska planeringen av samhället. När nya planer upprättas över en kommun är det viktigt att i ett tidigt skede lyfta fram säkerhetsaspekterna och kommunen har enligt lag krav på sig att ta riskhänsyn i samhällsplaneringen.

Kommunfullmäktige i Malmö har beslutat att en ny kommunomfattande översiktsplan skall utarbetas över staden. Planen kallas ÖP2000 och skall ange mål och inriktning för den fysiska utvecklingen i Malmö som kommer att ske den närmsta framtiden. Om några år står den fasta förbindelsen över Öresund färdig och Malmö kommer att spela en central roll i den så kallade Öresundsregionen. Man kan anta att förändringen kommer att ha stor påverkan på omgivningen i form av att tung trafik och farlig verksamhet kommer att öka vid landanslutningarna.

I hamnen finns i dag många riskobjekt, däribland Malmö rangerbangård och containerterminal. Om transporten av farligt gods ökar i området innebär det en ökad hantering av farliga ämnen på dessa två anläggningar, och därmed en förhöjd risknivå för omgivningen.

I dag består byggnaderna i hamnen nästan uteslutande av industrier och kotorslokaler och människor vistas där i begränsad omfattning. De enda bostadsområden som finns ligger söder om hamnen, mot centrum till. Det har utarbetats nya översiktsplaner för tre områden i hamnen. Planerna innefattar byggandet av bostäder och en utbyggnad av högskoleområdet. Den nya användningen av marken kombinerat med en ökad risk i området kan ge upphov till en konflikt. Är det lämpligt att bygga bostäder här eller kommer tredje person att utsättas för en oacceptabelt hög olycksrisk?

I analysen skall utredas hur hög denna risk är men om det är en acceptabel risknivå eller ej är en politisk fråga. Likaså att ta hänsyn till den ekonomiska aspekten, det vill säga att väga kostnaden för åtgärderna mot hur mycket risken kan antas minskas.

Man kan på olika sätt minska riskerna i samhället. Antingen minskar man sannolikheten för och konsekvenserna av olyckor eller så reglerar man byggandet. På så sätt kan riskerna elimineras genom att placera olika typer av bebyggelse på strategiskt riktiga ställen. Det är svårare att gå in i efterhand och reglera funktionen i ett område än att redan i planeringsstadiet införa riskhänsyn för ett säkrare samhälle.

1.1 Syfte

Avsikten med studien är att bedöma risknivån i området och att jämföra dagens riskbild med morgondagens. Den ska kunna ge ett underlag för diskussion om acceptabel risknivå i kommunen och för beslut om kommande detaljplaner för det aktuella området. Målet är därför att presentationen av analysen skall kunna förstås även av icke-expert. Förutom att utgöra ett underlag för riskkommunikationen mellan berörda intressegrupper och beslutsfattare syftar analysen till att ligga till grund för mer generella slutsatser inom riskhantering vid fysisk planering.

1.2 Avgränsningar

Med anledning av den fasta tidsram arbetet omfattas av samt det begränsade statistiska underlaget har vi varit tvungna att föra in vissa avgränsningar som bör beaktas.

Analysen inriktar sig endast på personsäkerhet, den behandlar inte miljö- eller egendomsrisk. Vidare antas att det endast är de personer som vistas utomhus som drabbas av ett utsläpp.

På rangerbangården behandlas endast rangeringsprocessen eftersom det är här som det är mest sannolikt att ett tillbud kommer att inträffa.

Rapporten tar endast hänsyn till de fasta anläggningarna som finns i området. Det innebär att vi inte tagit hänsyn till de transporter av farligt gods som finns i området. Anledningen till detta är att transporterna varierar mycket från en tid till en annan och från industri till industri. Att spekulera i hur mycket som kommer att transporteras inom industriområdet är mycket svårt, det är dock troligt att transporterna kommer att finnas kvar så länge som industrierna finns där. Idag transporteras en stor mängd farligt gods till Nordöterminalen. Denna hantering kommer enligt planförslaget att upphöra vid en eventuell nybyggnation i området vilket vi satt som en förutsättning.

Vi har i våra sannolikhetsberäkningar valt att använda en metod som tagits fram av Väg- och transportforskningsinstitutet. Denna metod är svår att anpassa till olika typer av rangerbangårdar vilket medför att det kan finnas avvikelser. Metoden är utvecklad för en medelrangerbangård och det är svårt att avgöra hur rangerbangården i Malmö förhåller sig till en sådan.

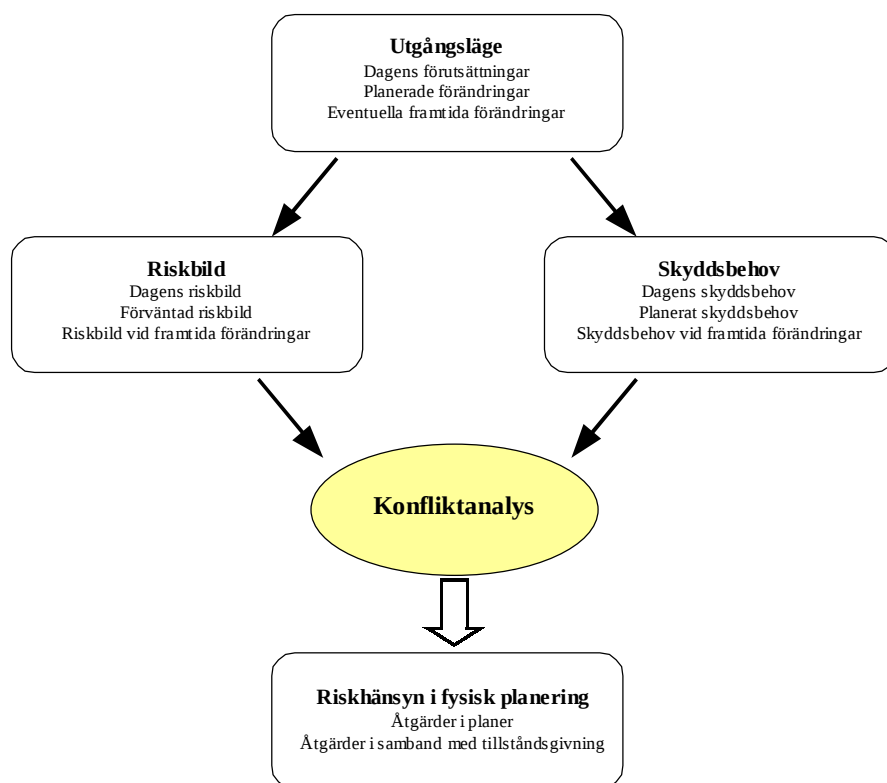
2. Riskhantering i fysisk planering

Det är viktigt att integrera riskhantering i ett tidigt skede av det fysiska planarbetet. Genom att tidigt lyfta fram säkerhetsaspekterna kan riskerna bearbetas i takt med att planen växer fram. Detta bör ske såväl i arbete med översiktsplan som med detaljplan. Kommunerna har ofta svårt att bedriva en effektiv och förutseende riskhantering och kopplingen till den fysiska planeringen är ofta bristfällig. Ekonomiska och politiska problem bidrar till svårigheten att integrera riskhantering och fysisk planering i den kommunala verksamheten.

Företag arbetar i ökande utsträckning med att förebygga olyckor som direkt skulle drabba den egna verksamhetens ekonomi och marknadsförutsättningar. Däremot är åtgärder för att minska risker som skulle kunna drabba tredje part inte lika intressanta. Sannolikheten uppfattas som låg, ansvaret otydligt och ofta är flera aktörer inblandade.

2.1 Hälsa och säkerhet

Det finns olika sätt att föra in riskhänsyn i planarbetet. Vi har valt att följa en planeringsprincip för hälsa och säkerhet som bygger på Boverkets rekommendationer /1/.



Figur 2.1 Planeringsprincip vid riskhänsyn i fysisk planering.

Skyddsbehovet utgör den samlade bilden av alla skyddsobjekt. Generella skyddsobjekt utgörs av människor, miljö, egendom samt viktiga samhällsfunktioner.

Utifrån de båda bilderna riskbild och skyddsbehov görs en konfliktanalys. Konfliktanalysen bör redogöra för var och i vilken form riskbilden och skyddsbehoven ”kolliderar”, dvs risker som hotar skyddsobjekt. Detta kan sedan utgöra grund för riskhänsyn i fysisk planering.

Vid utvecklingen av en översiktsplan är en kommuntäckande riskinventering ett bra underlag medan en mera djupgående riskanalys kan vara ett viktigt hjälpmedel vid beslut om detaljplaner.

Olika riskreducerande åtgärder kan vidtas för att minska olycksriskerna i samhället. Man kan dela in dessa i olycksförebyggande (minskar sannolikheten för en olycka) och skadebegränsande (minskar konsekvenserna vid en olycka). De viktigaste åtgärderna är följande:

- Lokalisering av verksamheter till lämpliga områden utifrån säkerhetsaspekter.
- Skyddsavstånd mellan bebyggelse och verksamheter som medför olycksrisker.
- Utformning och reglering av byggnader, tomter och övriga anläggningar

2.2 Lagar inom riskhantering

Det finns ett flertal olika lagar och förordningar för att minimera riskerna i vårt samhälle. Kommunen har ett övergripande ansvar för att minska riskerna inom kommunen. Den har ett allmänt socialt ansvar för att de människor som befinner sig inom kommunens gränser inte utsätts för onödigt lidande. Dessutom ska den se till att allmännyttiga verksamheter inte skadas av olyckor. Lagar som behandlar området riskhantering är PBL(Plan- och bygglagen), NRL (Naturresurslagen), och Räddningstjänstlagen.

PBL(1987:10)

Enligt PBL ska planeringen främja en samhällsutveckling med jämlika och goda sociala levnadsförhållanden och en långsiktig hållbar livsmiljö för människorna i dagens samhälle och för kommande generationer.

Lag (1987:12) om hushållning med naturresurser m.m

Naturresurslagen verkar övergripande över andra lagar som PBL, naturvårdslagen, miljöskyddslagen, vattenlagen med flera. Den innehåller regler om hushållningen med mark, vatten och naturresurser och kan i viss mån sägas utgöra en övergripande riksplan som tar tillvara riksintresset.

Räddningstjänstlag(1986:1102)

I räddningstjänstlagen ges bland annat stöd för riskhantering enligt följande:

- Kommunen ska planera och organisera en effektiv räddningstjänst i samverkan med andra intressenter i samhället. Detta kan uppnås genom att med fysisk planering styra samhällsutvecklingen så att effektiva räddningsinsatser kan genomföras och så att olyckor undviks.
- Kommunen ska verka för att olycksförebyggande och skadebegränsande åtgärder vidtas. Den har ett samordningsansvar och ska se till att säkerhetsbrister rättas till.
- Enskilda och verksamhetsansvariga har ett stort ansvar för att förhindra olyckor och begränsa skador.
- Verksamhetsansvariga för vissa externa riskfyllda verksamheter, sk §43-anläggningar, åläggs ett särskilt ansvar för att minska riskerna:

”Vid en anläggning, där verksamheten innebär fara för att en olyckshändelse skall orsaka allvarliga skador på människor eller i miljön, är anläggningens ägare eller innehavare enligt §43 räddningstjänstlagen (1986:1102) skyldig att i skälig omfattning hålla eller bekosta beredskap med personal och egendom och i övrigt vidta åtgärder för att hindra eller begränsa sådana skador”.

3. Riskkriterier

Både i Sverige och utomlands har man infört någon form av kriterier för värdering av risk. Oftast presenteras dessa kriterier i form av individrisk eller samhällsrisk.

Syftet med individriskkriteriet är att begränsa risker för enskilda individer i samhället som vistas nära den farliga verksamheten. Individrisker presenteras i form av riskkonturer som beskriver sannolikheten för att en person som oskyddad uppehåller sig utomhus på ett visst avstånd från verksamheten omkommer.

Syftet med samhällsriskkriteriet är att begränsa risken för lokala områden, t.ex. ett visst bostadsområde, eller för samhället i sin helhet. Samhällsrisk uttrycks i form av FN-kurvor (F= frekvens, N= antal omkomna) vilket beskriver sannolikheten för att en eller flera personer dör, baserat på den aktuella populationen och dess förutsättningar att skydda sig. Normalt delas FN-diagrammet in i tre delar. Oacceptabelt område, en ALARP-zon (As Low As Reasonable Practicable), där man avgör från fall till fall utifrån till exempel en ekonomisk analys om riskerna kan accepteras, och ett acceptabelt område.

3.1 Dimensionerande skada

Normalt presenteras denna typ av risker endast i antal omkomna, självklart kommer ytterligare personer att utsättas för utsläppet och kanske behöver komma under läkarvård. Att uppskatta hur många som kommer att utsättas för ett utsläpp och i vilken grad de utsätts är mycket svårt. Det finns heller inga acceptanskriterier uppsatta för de olika graderna av skador som vi kan jämföra resultaten mot.

Den metod som normalt används för att beräkna antal omkomna utgår från de olika ämnens LC₅₀-värde (Lethal Concentration 50%). Vi räknar alltså fram ett avstånd där risken att omkomma är 50% , förutsatt att ett utsläpp har skett. För att få fram antal omkomna görs antagandet att samtliga innanför detta område omkommer och att samtliga personer utanför området överlever. LC₅₀-värdena för de olika ämnena beräknas i appendix 3.1 med hjälp av probitfunktioner och beror av exponeringstid och andningsfrekvens.

3.2 Acceptabel risk

Sverige har i dag inga generella bestämmelser som talar om vad som är acceptabelt eller inte. Vad som är acceptabel risk varierar därför från region till region beroende på vilka säkerhetsåtgärder som anses vara praktiskt genomförbara. Två länder som har arbetat länge med att ta fram kriterier som är väl underbyggda är Holland och Storbritannien. Då dessa kriterier är väl etablerade bör de vara vägledande även för de svenska kriterierna. 1996 tog Det Norske Veritas fram ett förslag till riskkriterie som Statens Räddningsverk publicerat /2/. Detta förslag är ett mellanting mellan Hollands och Storbritanniens kriterier och kan ses som ett försök att få ett mer enhetligt risktänkande i Sverige.

Individerisk

För individriskkriteriet gäller tabell 3.1. Holland och Storbritannien definierar inte kriteriet exakt lika men nivåerna är ändå klart jämförbara.

Tabell 3.1 Individriskkriterie för Storbritannien och Holland presenterat som olika sannolikheter. /2/

Myndighet och tillämpning	Maximal tolerabel risk/år	Försumbar risk/år
Holland, nya anläggningar.	10^{-6}	Inte tillämpad
Holland, existerande anläggningar.	10^{-5}	Inte tillämpad
Storbritannien, nya bostadsområden nära existerande anläggningar	10^{-5}	10^{-6}

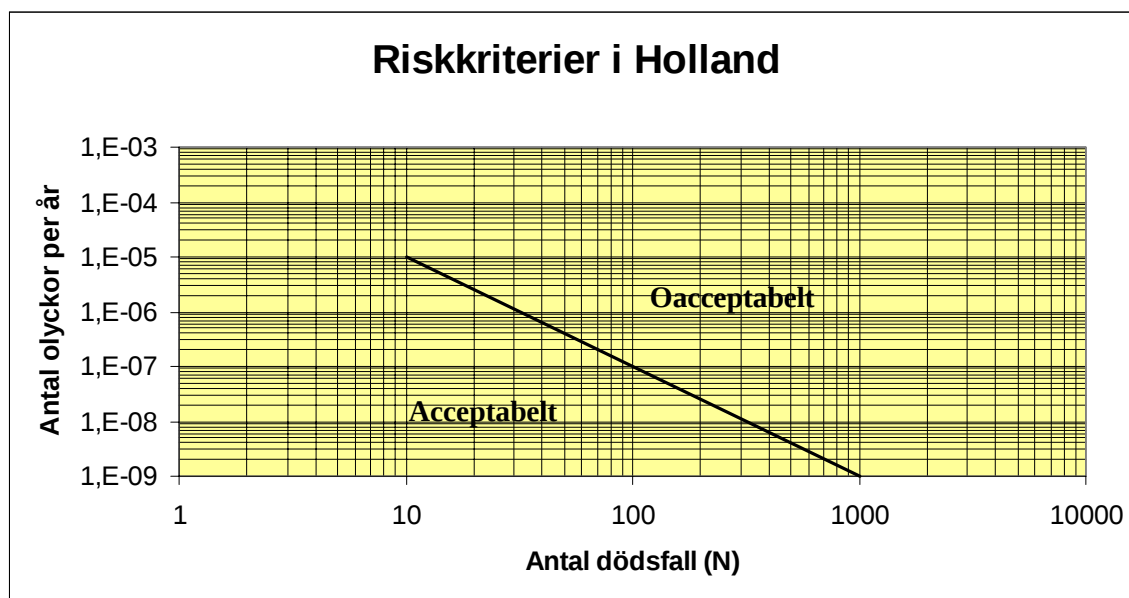
DNV formulerar sina kriterier enligt /2/:

Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras: 10^{-5} per år
 Övre gräns för område där risker kan anses små: 10^{-7} per år

Samhällsrisk

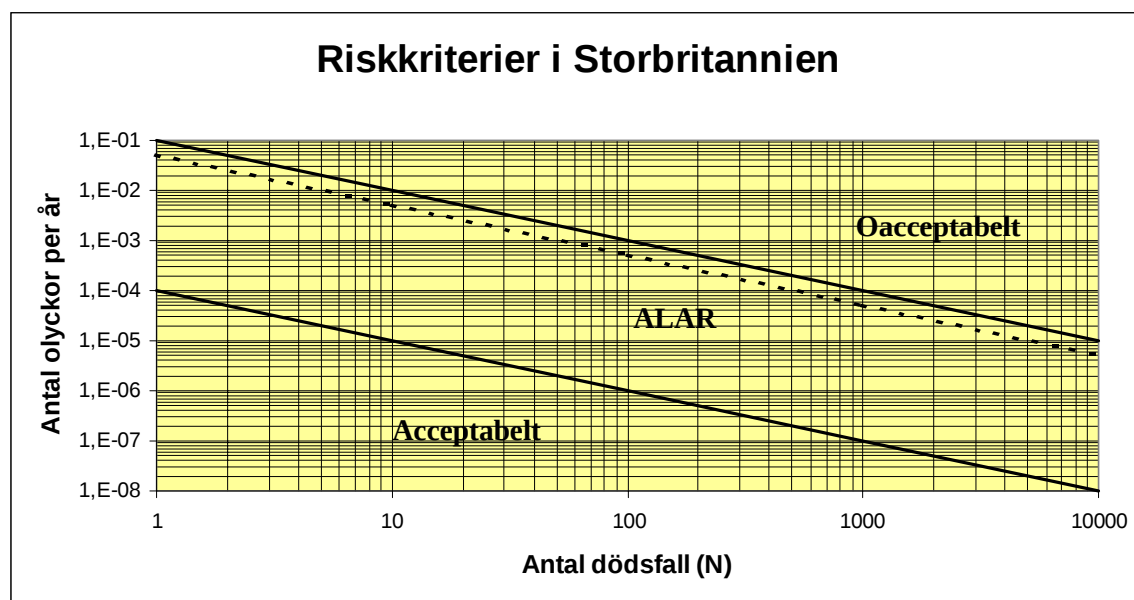
För samhällsriskkriteriet är det intressant att se hur gränserna för vad som är acceptabelt eller inte har utformats. De stora skillnaderna ligger i var FN-kurvan börjar (d.v.s. sannolikheten för att ett dödsfall inträffar) och lutningen på FN-kurvan (d.v.s. hur mycket mindre sannolikt det tillåts vara att en stor olycka inträffar). I de fall då en ALARP-zon tillämpas betyder det att risker i vissa fall kan accepteras.

Samhällsriskkriteriet delas normalt in i tre zoner, dock inte i Holland där de valt att inte ha någon ALARP-zon. De tillämpar inte samhällsriskkriteriet lika strikt som individriskkriteriet och då kriteriet överskrids kan detta accepteras om det finns lämpliga argument för att ge tillstånd. Dessa argument kan till exempel vara kostnad-nytta aspekter eller fler arbetstillfällen. Kriteriet presenteras i figur 3.1.



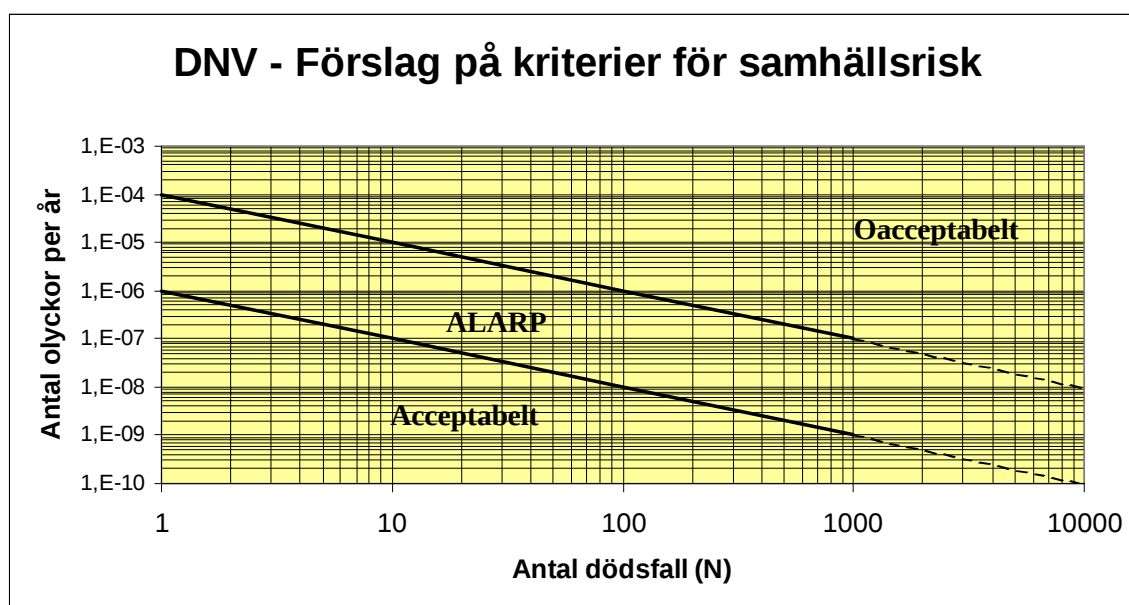
Figur 3.1 Holländska kriterier för samhällsrisk /2/.

I Storbritannien tillämpas kriterier för samhällsrisk för olika typer av områden. Den maximalt tolerabla risknivån för olyckor med 10 eller fler döda är 10^{-2} per år. Den försumbara risken är tusen gånger mindre och där emellan tillämpas ALARP-principen. När det gäller hamnar gäller förutom den maximala och försumbara risknivån en så kallad "scrutinity level". Detta är en variabel gränsnivå som beror på antalet ton farligt gods som hanteras. I figur 3.2 är denna gräns anpassad till den volym som hanteras på Malmö rangerbangård.



Figur 3.2 Samhällskriterie i Storbritannien. Streckad linje är en övre gräns "scrutinity level" anpassad efter den volym farligt gods som hanteras på Malmö rangerbangård idag /2/.

Det Norske Veritas (DNV) presenterar utförligt i sin rapport /2/ hur de resonerat då de tog fram sitt förslag till riskkriterie. De streckade partierna betyder att osäkerheterna kring olyckor där fler än 1000 dör är så stora att metodens giltighet kan ifrågasättas. Vi kommer fortsättningsvis att jämföra resultaten från denna rapport med DNV:s kriterier när det gäller samhällsrisk. Detta eftersom de är mer anpassade efter svenska förhållanden även om de inte på något sätt är sanktionerade av Räddningsverket.



Figur 3.3 Förslag till svenska kriterier framtagna av Det Norske Veritas /2/.

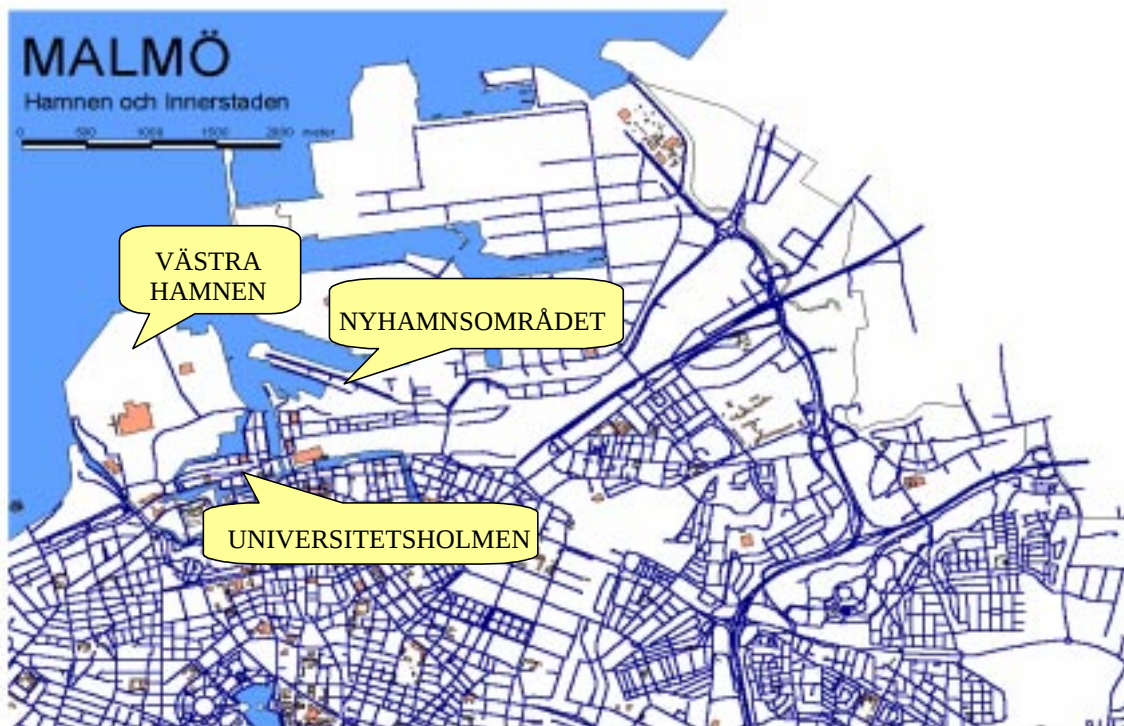
4. Skyddsbehov

4.1 I dag

I dag består byggnaderna i Hamnen till stora delar av industrier och kontorslokaler och människor vistas där i begränsad omfattning och under dagtid. Det finns inga skolor, vårdanläggningar eller äldreboende som har särskilda skyddsbehov. Dagens skyddsbehov utgörs framförallt av de bostäder som finns är belägna i riktning mot centrum.

4.2 I morgon

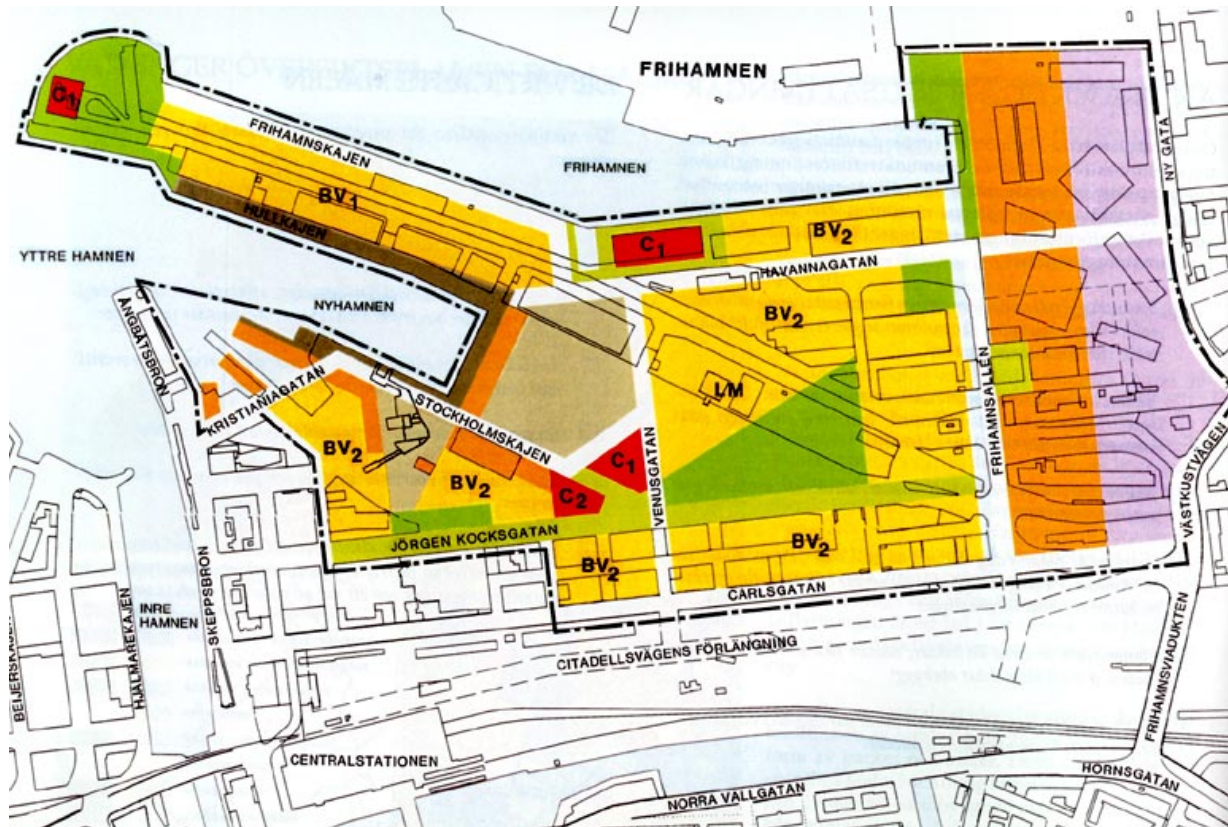
Det finns stora planer för området kring hamnen i Malmö. Det är attraktivt att bo vid vattnet och hamnens närhet till centrum gör det ytterligare intressant att exploatera marken. Man har upprättat tre nya översiktsplaner för delar av hamnen: Nyhamnsområdet, Universitetsholmen och Västra hamnen. I Västra hamnen och Nyhamnsområdet har man till stor del tänkt bygga bostäder, och mellan dessa ska ett högskoleområde växa upp. Den nya användningen av marken för med sig ett ökat skyddsbehov. Bostäder, högskola och även viss handelsverksamhet ställer ökade krav på säkerheten i området. En översiktsbild över hamnen med de tre områdena utmärkta visas i figur 4.1. Översiktsplanerna finns illustrerade i figur 4.2-4.4.



Figur 4.1 Malmö Hamn. I de utmärkta områdena planeras nybyggnation.

Nyhamnsområdet

Enligt planförslaget ska marken främst användas till bostäder och en del lokaler för publika ändamål. En låg- och mellanstadieskola planeras också uppföras i områdets mitt. Enligt uppgift från stadsbyggnadskontoret kommer inget att byggas före 2005 eftersom man måste hinna avveckla en del av hamnverksamheten först. Planområdet kommer att rymma nära 4200 boende och 3000-4000 arbetande.

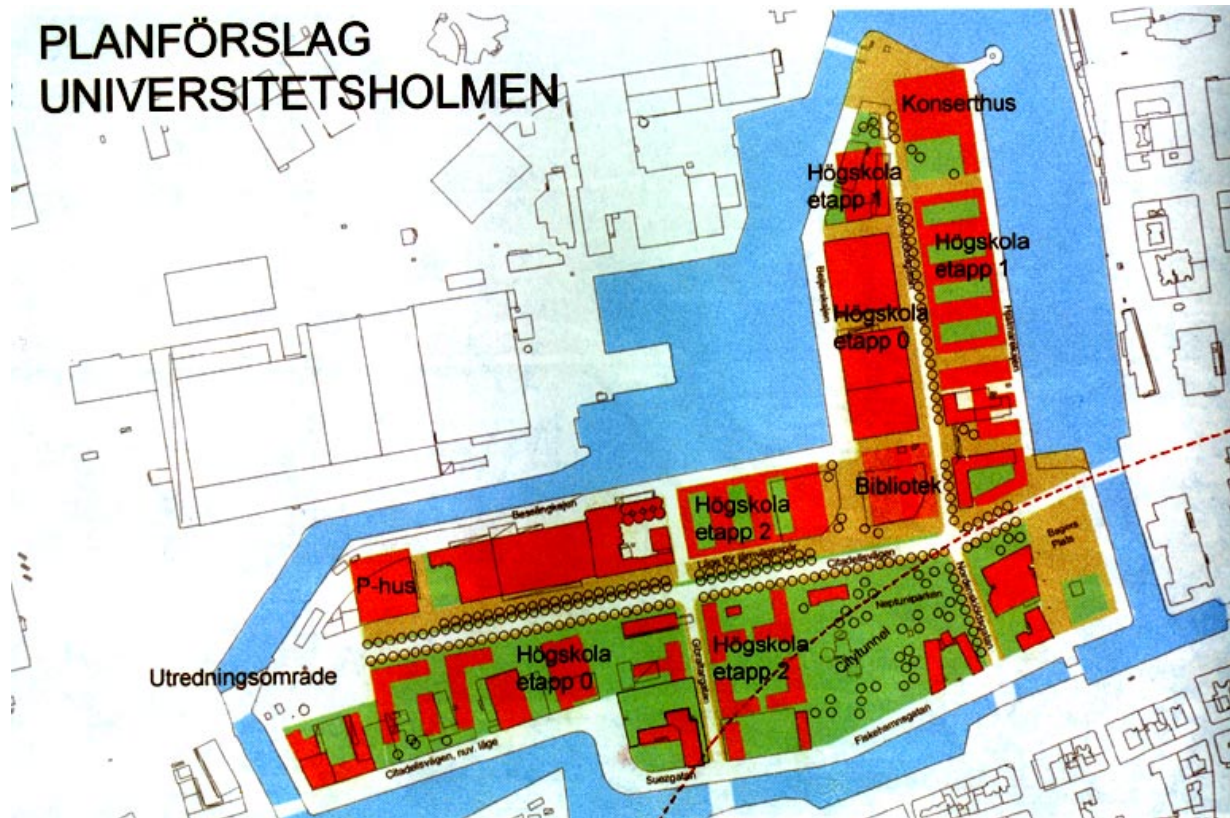


- C₁** Offentliga och publika ändamål. Ej handel
- C₂** Offentliga och publika ändamål, kontor. Bostäder i övervåningar.
- BV₁** Bostäder och kontor.
- BV₂** Bostäder med kontor och handel i bottenvåning.
- LM** Låg- och mellanstadieskola

Figur 4.2 Översiktsplan för Nyhamnsområdet /3/.

Universitetsholmen

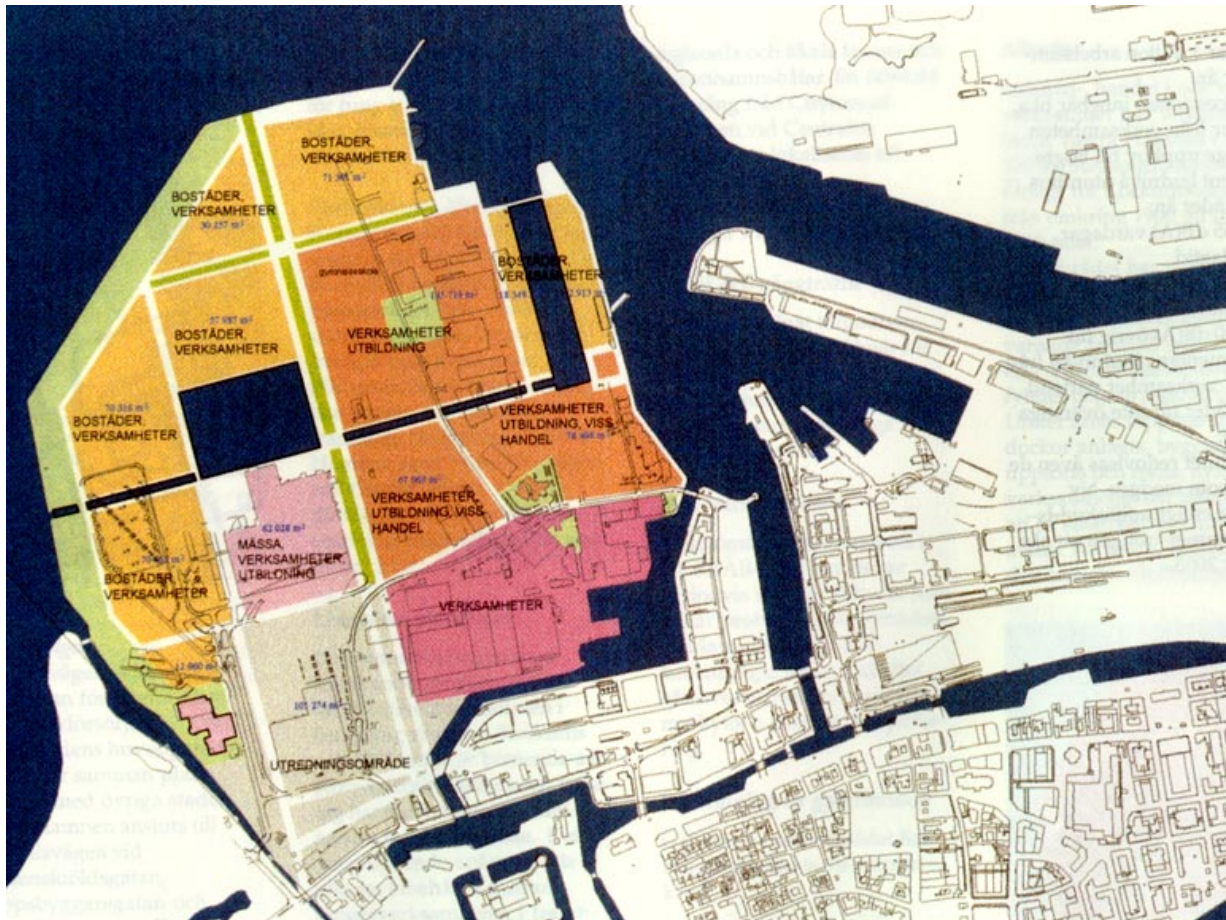
Marken är tänkt att användas till utbildning och forskning och högskolans olika byggnader kommer att dominera planområdet. Högskoleverksamheten planeras successivt utökas till 9000 nya studieplatser år 2005. Dessutom finns i Malmö omkring 5000 platser vid utbildningar som hittills ingått i Lunds Universitet.



Figur 4.3 Översiktsplan för Universitetsholmen /3/.

Västra hamnen

Den östra delen av området ska enligt förslaget användas för verksamheter med anknytning till forskning och utbildning, samtidigt som viss industriverksamhet kommer att finnas kvar. Marken på den västra delen är tänkt främst för bostäder men med inslag av verksamheter av olika slag. En summering för hela planområdet visar att ungefär hälften av området ska användas till verksamheter och hälften till bostäder. Verksamheterna antas sysselsätta 4800 personer och antalet boende uppgå till cirka 5000 stycken.



Figur 4.4 Översiktsplan för Västra Hamnen /3/.

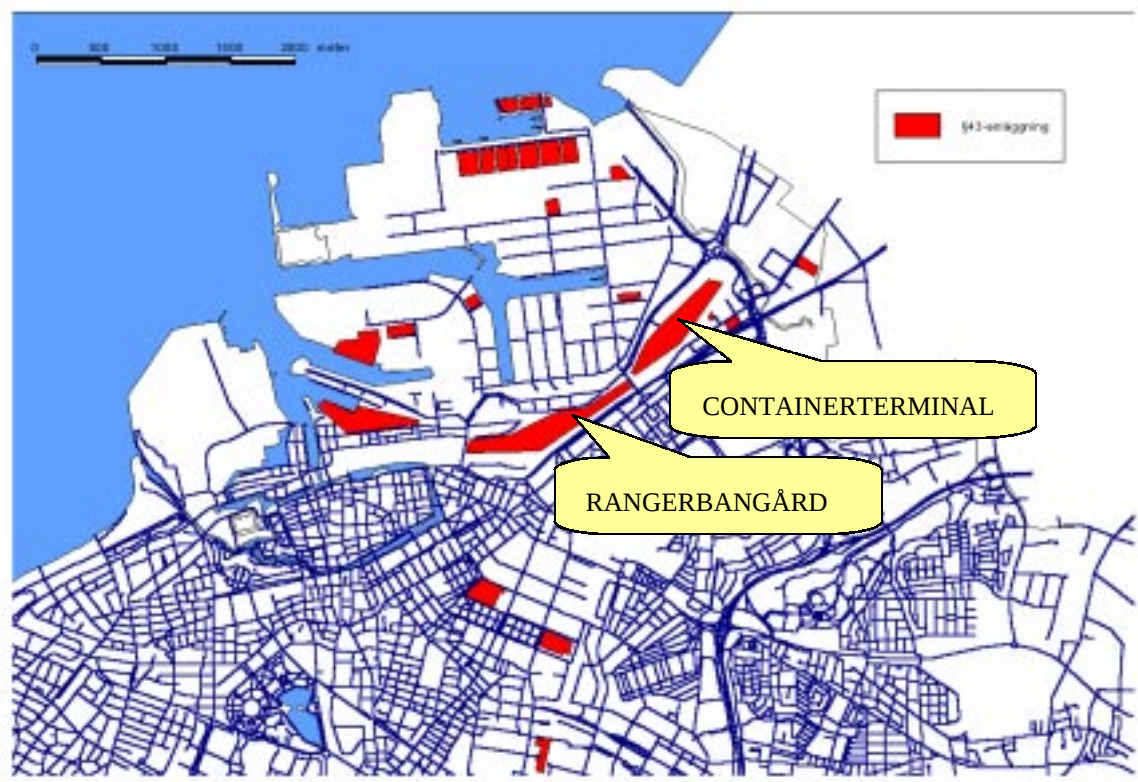
5. Riskinventering

5.1 Hamnen

För att få en riktig bild av risken som de boende i ett visst område är utsatta för krävs att hänsyn tas till alla riskfaktorer i närheten av området. I Malmö stad finns 27 stycken §43-anläggningar varav de flesta ligger i hamnområdet. Den totala risken i området är alltså summan av riskbidragen från alla anläggningar som ligger i närheten.

Malmö Brandkår har genomfört en riskinventering /4/ över staden och med den som utgångspunkt har vi kunnat kontrollera vilken inverkan de olika §43-anläggningarna har på riskbilden i hamnen.

Genomgången finns redovisad i appendix 1.1 och slutsatsen blir att de enda anläggningar som påverkar bostadsområdena är Rangerbangården och Containerterminalen. Ett tveksamt fall är Du Pont Chemoswed/Ferring AB vars riskavstånd sträcker sig över en del av bostadsområdena. Avståndet är dock beräknat för fri terräng och enligt Bergkvist /5/ kan detta avstånd halveras i tätbebyggt område. Riskbidraget från anläggningen kan då antas vara försumbart. En karta över §43-anläggningarna med rangerbangården och containerterminalen utmärkta finns i figur 5.1.



Figur 5.1 §43-anläggningarna i Malmö Hamn /4/.

5.2 Rangerbangården

Rangerbangården vid Malmö Centralstation är indelad i en personbangård där endast persontrafik hanteras och en godsbangård där man rangerar godsvagnar. Vi intresserar oss endast för den sistnämnda. Rangerbangården är klassad som en sk. §43-anläggning. Det innebär att ägaren eller innehavaren är skyldig enligt lag att vidta åtgärder för att hindra att en olycka inträffar som kan orsaka allvarliga skador på människor och miljö. Rangerbangården används i dag nästan uteslutande av SJ. Det är dock inte SJ som äger anläggningen utan Banverket. De äger och underhåller spåren och rangeringsanläggningen medan marken där bangården ligger ägs av SJ-fastighet som är ett dotterbolag till SJ. Detta förhållande gör att ansvarsfrågan för verksamheten är ett problem. Är det anläggningsägarna som bör ansvara för att reglerna enligt räddningstjänstlagen följs eller ligger det ansvaret på det företag som hanterar farligt gods?

Själva rangeringen går till så att man först kör upp vagnarna på en banvall. Därifrån släpper loket en eller flera vagnar som får rulla fritt nerför vallen. Vagnen passerar sedan en av tre bromsbalkar som känner av hur tung den är och bromsar dess hastighet tills den når gångfart, 5 km/h. Efter det går den förbi ett antal så kallade spiralbromsar som sänker hastigheten ytterligare. Hastigheten är oberoende av hur långt vagnen ska rulla men om den ska en mycket kort sträcka finns möjlighet att manuellt sänka hastigheten ännu mer. Det finns 25 olika spår att växla in vagnarna på.

I dag

I dag rangeras i genomsnitt cirka 4 tåg i timmen. Den svaga länken i systemet är balkbromsarna som inte alltid fungerar som de ska. Om balkarna inte bromsar vagnen tillräckligt kan det leda till hårda växlingsstötter som i värsta fall kan leda till urspårning. En alltför hög hastighet kan även leda till kollision med andra vagnar. Det finns planer på att byta ut balkbromsarna som går på hydraulik. Spiralbromsarna fungerar med tryckluft och är mer tillförlitliga.

En inventering av vilka ämnen som rangeras och i vilka mängder är gjord i appendix 1.2. Under ett år rangeras cirka 1.6 miljoner ton farligt gods. Eftersom vi inte kan göra konsekvensanalyser för alla ämnen måste vi välja ut de ämnen som antas utgöra störst risk vid rangeringen. Vi väljer utifrån hur stora konsekvenser ett utsläpp av ämnet kan ge och hur mycket som hanteras av just det ämnet. Slutsatsen blir att fyra olika ämnen kommer att analyseras närmre med avseende på konsekvens. Dessa presenteras i tabell 5.1.

Tabell 5.1 Utvalda ämnen på vilka konsekvensberäkningar kommer att utföras.

Ämne	Rangerad mängd / år (ton)
Ammoniak	30 310
Gasol	28 080
Svaveldioxid	17 580
Klor	5 390

Ammoniak, Svaveldioxid och Klor är toxiska ämnen som utgör stor risk för tredje person. Under transport är de vanligtvis tryckkondenserade och det gör att ett utsläpp ger långa riskavstånd.

Gasol är även den ofta tryckkondenserad. Den är en tung gas som utgör stor risk för brand och explosion. I de fall då gasen inte antänds kommer utsläppet inte att utgöra någon risk för tredje person.

I morgon

När Öresundförbindelsen står färdig är det meningen att Malmö ur transportsynpunkt ska komma att fungera som en språngbräda ut till kontinenten. Planerna på en riksbangård i södra Sverige har lagts ner och belastningen på Malmö rangerbangård kommer med all sannolikhet att öka. Enligt SJ är en 60%-lig ökning av rangeringen en rimlig prognos. Vi räknar med att andelen farligt gods kommer att vara densamma som i dag. Det betyder att endast sannolikheten för att en olycka inträffar kommer att öka, inte konsekvensen av ett utsläpp.

5.3 Containerterminalen

Containerterminalen i Malmö hamn ägs av Rail Combi som är ett självständigt dotterbolag inom SJ-koncernen. Rail Combi har 16 terminaler fördelade på 14 platser runt om i landet, från Trelleborg i söder till Luleå i norr. Terminalen i Malmö är den tredje största efter Stockholm och Göteborg. För ett år sedan byggdes terminalen om och man byggde till så att man nu har fyra spår som är 620 meter långa.

På terminalen sker endast lastning och lossning av hela containers, trailers och växelflak. Det förekommer alltså ingen som helst styckegodshantering. Hanteringen av farligt gods utgör en väldigt liten del av den totala verksamheten. Man har haft ytterst få tillbud med farligt gods och endast två gånger under åtta år har man varit tvungen att kalla dit räddningstjänsten. Man har två speciella uppställningsplatser för farligt gods och det finns en spolplatta med oljeavskiljare i fall något skulle läcka ut.

En inventering av vilka ämnen som hanteras och i vilken mängd finns i appendix 1.3. Denna visar på en förvånande liten hantering av farligt gods. På samtliga 16 terminaler i landet har man sammanlagt hanterat 82 stycken enheter farligt gods under ett års tid. Då har man visserligen bara räknat de containrar som endast innehåller farligt gods och inte de blandade containrarna. Trots detta kan man sluta sig till att anläggningen i Malmö inte utgör någon risk för tredje person i området. Vi ser därför ingen anledning att fortsätta utreda anläggningens säkerhet.

6. Riskanalys

Riskbegreppet definieras vanligtvis som en kombination av sannolikhet och konsekvensernas omfattning. Detta är en definition som kommer att användas genomgående i denna rapport.

6.1 Beräkningsgång

- ✓ Sannolikheten för utsläpp räknas fram med hjälp av en modell framtagen av VTI (väg- och transportforskningsinstitutet) om jämförande riskanalys för transport av farligt gods. Sannolikhetsberäkningarna finns redovisade i kap 6.2 och appendix 2.1.
- ✓ I konsekvensanalysen beräknas riskavståndet för ämnet som senare räknas om i antal dödsfall i det aktuella området. Som riskkriterie använder vi för de toxiska ämnena LC_{50} -värdet för respektive ämne. Beräkningen av LC_{50} -värdena görs i Appendix 3.1.
- ✓ Riskavståndet beror av ett antal parametrar. Vi vill veta vilka av dessa som inverkar mest på slutresultatet och gör därför en känslighetsanalys. Detta finns redovisat i appendix 3.2.
- ✓ En närmare undersökning av väderstabilitetsklassernas inverkan på riskavståndet görs i appendix 3.3. Detta för att avgöra om det är nödvändigt att dela upp beräkningarna i olika klasser.
- ✓ Riskavståndet beräknas dels med en handberäkningsmetod och dels med en datormodell. Dessa metoder jämförs för att kunna välja en metod för fortsatta beräkningar. Slutsatsen blir att vi gör konsekvensanalysen i datorprogrammet Chemsplus. Jämförelsen beskrivs i appendix 3.4.
- ✓ Vi vill ha fram ett samband mellan riskavståndet och indataparametrarna. Med hjälp av utdata från spridningssimuleringar i Chemsplus kan vi ta fram ett antal uttryck genom regressionsanalys av de parametrar som inverkar mest på riskavståndet. Vi tar fram ett uttryck för varje ämne och stabilitetsklass. En redogörelse för regressionsanalysen finns i appendix 3.5.
- ✓ För att belysa osäkerheterna i utdata vill vi ha riskavståndet som en sannolikhetsfördelning. Det får vi om vi lägger in indatavariablerna som fördelningar och låter de framtagna uttrycken i appendix 3.5 simuleras i datorprogrammet @Risk. Sannolikhetsfördelningarna är framtagna i appendix 2.2. Simuleringarna är beskrivna i appendix 3.6.
- ✓ Med hjälp av sannolikhetsberäkningarna kan vi räkna fram individsrisken i området. Denna är framtagen i appendix 3.8.
- ✓ Samhällsrisken presenteras i form av FN-kurvor. Antalet döda på olika avstånd från utsläppskällan beräknas utifrån befolkningstätheten i området. Då fås antalet döda som en funktion av sannolikheten för en olycka med just de konsekvenserna. Beräkningarna redovisas i appendix 3.9.

6.2 Sannolikhetsberäkningar

Sannolikheten skattas ofta utifrån relativa frekvenser. Det innebär att man skulle kunna skatta sannolikheten för till exempel en tågurspårning som det observerade antalet urspårningar under en given tidsperiod dividerat med det totala antalet tågrörelser under samma tid. Tillförlitligheten hos sannolikheten beror av den mängd observationer som finns tillgänglig och eftersom järnvägsolyckor är relativt sällsynta är det statistiska underlaget starkt begränsat. Ett annat uppenbart problem är när man ska försöka skatta sannolikheten för händelser som aldrig tidigare har inträffat.

Eftersom risken är en sammanvägning av sannolikhet och konsekvens är det viktigt att båda parametrarna har en hög tillförlitlighet. Det är meningslöst att genomföra noggranna konsekvensberäkningar om man ändå väger in stora osäkerheter i resultatet i form av dåligt underbyggda sannolikheter.

Räddningsverket har utarbetat en handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg. Denna bygger på Väg- och transportforskningsinstitutets rapportserie VTI rapport 387:1-6 /6/ om jämförande riskanalys för transport av farligt gods. Metoden bör inte användas för att uppskatta absoluta risknivåer utan är avsedd för jämförelser mellan olika alternativ. Eftersom ett av syftena med vår rapport är att jämföra två riskanalyser med varandra kommer modellen att användas vid sannolikhetsberäkningarna. Metoden och beräkningsgången finns beskriven i appendix 2.1. Där finns beräknat sannolikheten för utsläpp både för dagsläget och morgondagen och de är redovisade i tabell 6.1.

Tabell 6.1 Sannolikhet för utsläpp vid rangering.

	I dag	I morgon
Sannolikhet för utsläpp	0.0167 (ca 1 gång per 60 år)	0.0266 (ca 1 gång per 40 år)

6.3 Konsekvensberäkningar

Man kan ange konsekvensen av ett utsläpp på många olika sätt. Det vanligaste sättet är att beräkna riskområdet inom vilket ämnet i fråga kan ge upphov till en viss skada. Vi har valt att räkna på riskområdet för LC₅₀-värdet för ämnet (se kapitel 3.1 och appendix 3.1).

När riskavståndet beräknas tas hänsyn till en mängd parametrar såsom utsläppets storlek och art, omgivande terräng, väderförhållanden, mm. Då man inte med säkerhet vet vilka förhållanden som kommer att råda vid ett eventuellt utsläpp väver man in stora osäkerheter i resultatet genom att uppskatta dessa parametrar. I stället för att ge dem konstanta, diskreta värden kan man lägga in en eller flera som sannolikhetsfördelningar. Då fås även resultatet som en fördelning och man kan se inom vilket intervall riskavståndet sträcker sig. Detta för att man ska bli medveten om att avståndet inte är ett absolut värde utan kan variera väsentligt beroende på vilka förhållanden som råder vid tillfället för utsläppet. De parametrar som behövs för beräkning av riskavståndets utbredning finns angivna i tabell 6.2.

Tabell 6.2 Parametrar som inverkar på riskavståndets utbredning.

Parameter	Enhet
Tanktryck	Pa
Temperatur	K
Håldiameter	m
Kontraktionstalet, C _d	-
Vindhastighet	m/s
Väderstabilitetsklass	-

Väderstabilitetsklassen varierar mellan A-F och beror av årstid, tid på dygnet, molnighet och vindhastighet.

För att få ett användbart resultat måste antalet parametrar som man varierar begränsas. Det är lagom att variera två, tre stycken och att hålla resten konstanta. För att välja ut vilka som ska varieras måste man undersöka vilka parametrar som inverkar mest på slutresultatet. Detta är gjort i appendix 3.2. Resultatet visas i tabell 6.3 där parametrarna är rangordnade efter minskande inverkan på riskavståndet.

Tabell 6.3 Rangordning av parametrarnas inverkan på riskavståndet.

	Parameter
1.	Håldiameter
2.	Stabilitetsklass
3.	Vindhastighet
4.	Temperatur
5.	Kontraktionsfaktor

Vi väljer att variera de tre parametrar som inverkar mest: håldiametern, stabilitetsklassen och vindhastigheten.

Håldiametern och vindhastigheten kan varieras som sannolikhetsfördelningar medan stabilitetsklassen är lite mer komplicerad. Både hand- och datorberäkningsmodellerna antar att stabilitetsklassen har ett fixt värde. De kan alltså aldrig anta värden mellan två klasser. Därför måste beräkningarna delas upp i de olika klasserna för sig för att få ett riktigt resultat. Det finns sex stabilitetsklasser och att utföra alla beräkningar sex gånger för varje ämne innebär

mycket jobb. Vi bergränsar oss därför till att slå ihop klasserna två och två och räkna på tre olika klasser. En vidare utredning av stabilitetsklasserna och deras betydelse finns i appendix 3.3.

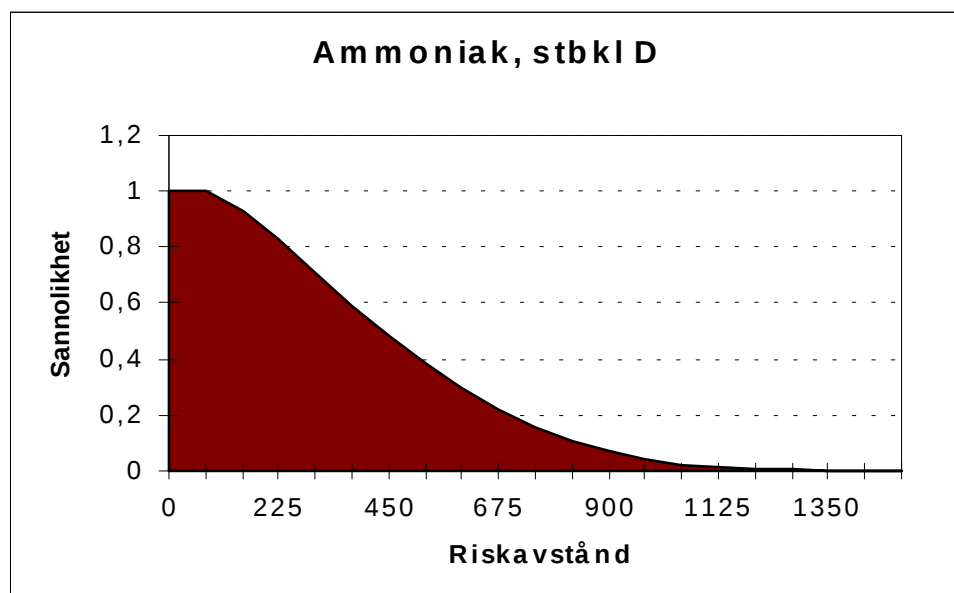
Beräkning av riskavståndet kan göras med handberäkningsmodeller eller med datormodeller. Handberäkningsmodellen vi använder oss av kommer från FOA och är en gaussisk spridningsmodell. Datorberäkningarna utförs i programmet Chemsplus. För att välja vilken metod som ger bäst resultat görs en jämförande analys mellan de två modellerna i appendix 3.4. Resultaten visar att i vårt fall stämmer troligtvis den gaussiska spridningsmodellen dåligt överens med verkligheten. Detta beror på att den dimensionerande koncentrationen är väldigt hög och då stämmer Chemsplus tunggasspridningsmodell bättre. Det blir stora skillnader mellan hand- och datorberäkningarna och handberäkningarna är bitvis orimligt höga. I fortsättningen använder vi datorprogrammet Chemsplus för att beräkna riskavstånden.

Vi vill ha riskavståndet som en funktion av håldiametern och vindhastigheten. För att få fram ett sådant uttryck görs en regressionsanalys på ett antal olika värden på riskavståndet. Datorn tar fram ett samband mellan in- och utdata från Chemsplus. Analysen finns närmare beskriven i appendix 3.5.

Med hjälp av det framtagna uttrycket fortplantas osäkerheterna i datorprogrammet @Risk. Håldiametern och vindhastigheten läggs in som sannolikhetsfördelningar och resultatet blir att även riskavståndet fås som en sannolikhetsfördelning.

6.3.1 Ammoniak

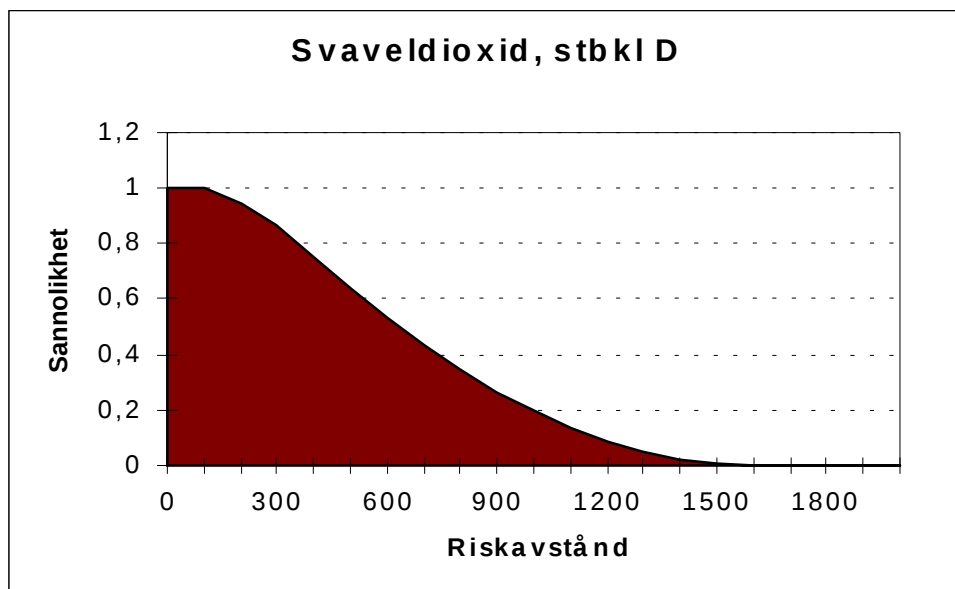
En undersökning i appendix 3.2 visar att stabilitetsklassen inte inverkar nämnvärt på riskavståndet vid ett ammoniakutsläpp. Detta beror på att den dimensionerande koncentrationen, LC_{50} -värdet, är väldigt högt för ammoniak (8500 ppm). Sannolikhetsfördelningen över riskavståndet för ammoniak visas i figur 6.1.



Figur 6.1 Sannolikhetsfördelning över riskavståndet för ammoniak.

6.3.2 Svaveldioxid

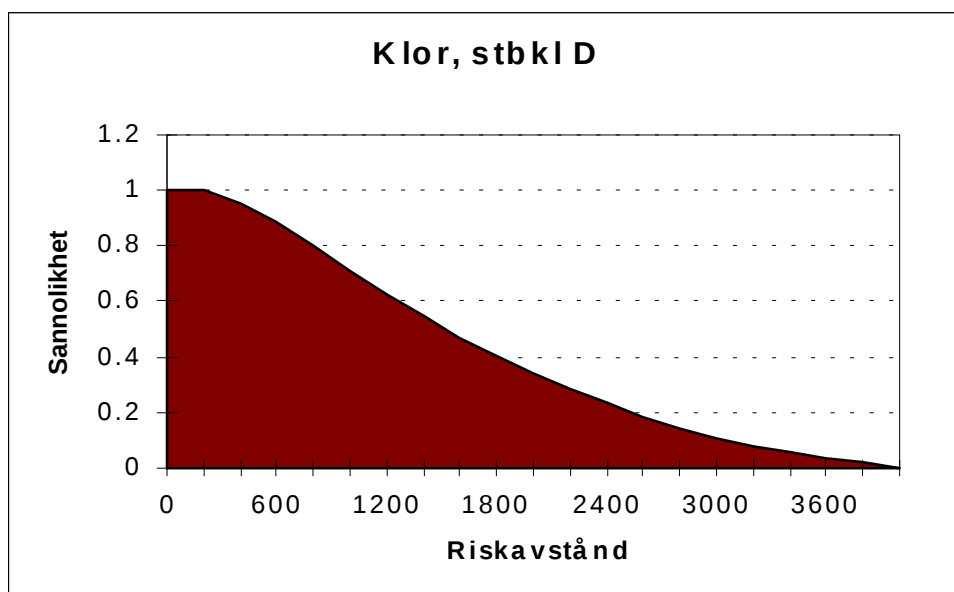
Riskavståndet för svaveldioxid skiljer sig inte mellan stabilitetsklass B och D. Beräkningarna för klass F däremot ger ett riskavstånd som är ungefär dubbelt så stort. Figur 6.2 visar sannolikhetsfördelningen över riskavståndet för stabilitetsklass D, som är den vanligast förekommande. Fördelningarna för de andra klasserna finns redovisade i appendix 3.6.



Figur 6.2 Sannolikhetsfördelning över riskavståndet för Svaveldioxid, stabilitetsklass D.

6.3.3 Klor

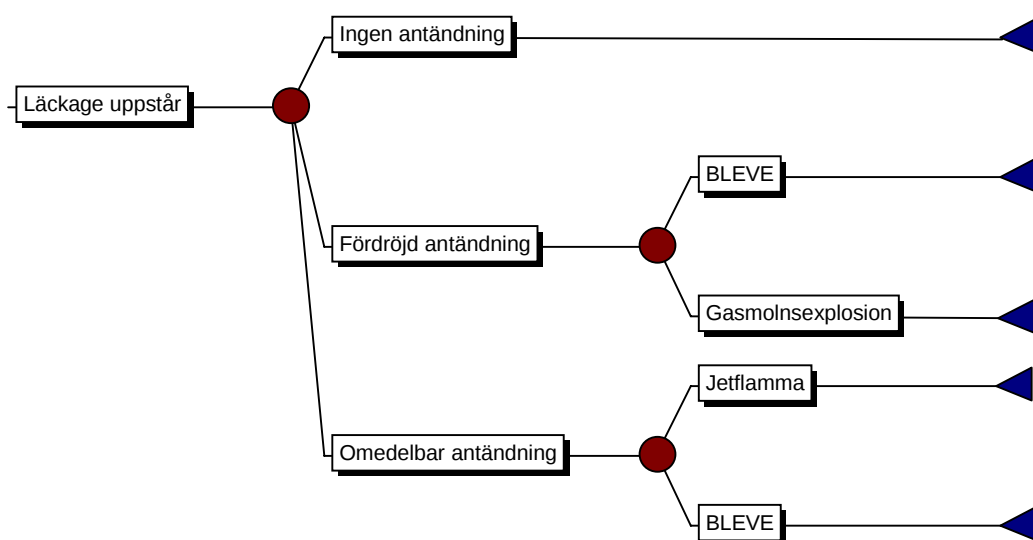
Riskavståndet för klor skiljer sig mycket mellan de olika stabilitetsklasserna. Avståndet för stabilitetsklass F blir väldigt långt, ungefär fem gånger längre än för klass D. Detta beror på de extrema väderförhållanden som råder för klass F och att LC_{50} -värdet för klor är relativt lågt (400 ppm). Figur 6.3 visar sannolikhetsfördelningen för klass D. Fördelningarna över de andra klasserna finns redovisade i appendix 3.6.



Figur 6.3 Sannolikhetsfördelning över riskavståndet för klor, stabilitetsklass D.

6.3.4 Gasol

Ett utsläpp av gasol kan ge flera olika konsekvenser. Beroende på till exempel om gasolmolnet antänds direkt eller inte finns olika möjliga utfall. Sluthändelserna är enligt FOA BLEVE, gasolnsexplosion/flambrand eller jetflamma. Ett händelseträd illustrerar de olika utfallen i figur 6.4.



Figur 6.4 Händelseträd över möjliga utfall vid läckage av gasol /7/.

BLEVE

Vid ett plötsligt brott på en trycktank med överhettad vätska eller en kondenserad gas uppkommer en situation som ger upphov till en BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion). Det handlar alltså om ett våldsamt tankbrott som innebär att en stor mängd vätska plötsligt släpps ut i atmosfären. Vid brottet på tanken kan stora tank-fragment slungas iväg mycket långt från ursprungspositionen. Om den utsläppta gasolen antänds bildas ett eldklot, som genom sin strålning kan åstadkomma ytterligare skador.

Studier har visat att den dimensionerande skadan vid BLEVE av gasol uppkommer av värmestrålning /8/. Vi begränsar därför beräkningarna av riskavstånd till att endast räkna på värmestrålning. Det bör dock nämnas att skador på byggnader såsom krossade fönsterrutor m.m. kan uppstå utanför detta område. Då dessa skador inte anses vara livshotande bortses de här.

Resultaten av beräkningarna i Appendix 3.7 visar på ett riskavstånd på 220 m vilket inte påverkar tredje person.

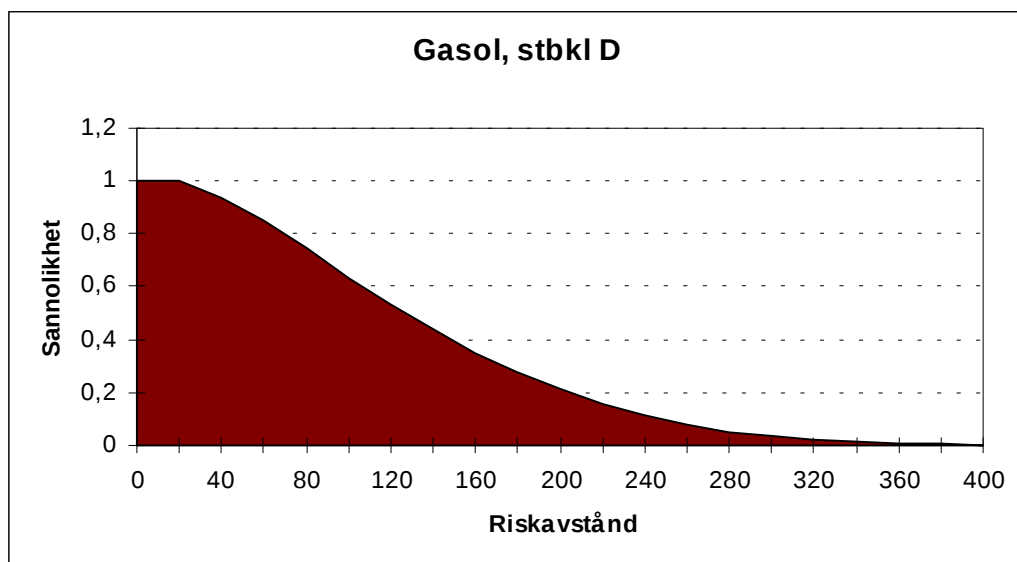
Jetflamma

Både överslagsberäkningar och datorsimuleringar ger väldigt korta riskavstånd när det gäller jetflammar, kortare än 50 m. Detta kommer alltså inte direkt att påverka tredje person. Faran är om flammen är riktad mot ett annat föremål, till exempel en närliggande tankvagn eller liknande. Då skulle det vara tänkbart att scenariot utvecklas och får stora konsekvenser. Att räkna på sannolikheten att detta inträffar är i detta fall näst intill omöjligt. Vår bedömning är att sannolikheten är så liten att det inte kommer att påverka slutresultatet.

Gasmolnsexplosion/flambrand

Om det sker en fördröjd antändning av gasen kommer en av två saker att inträffa, en gasmolnsexplosion eller en flambrand. För att gasmolnsexplosion ska inträffa krävs att man får ett kraftigt utsläpp samtidigt som vissa yttre omständigheter råder. I annat fall uppstår en flambrand. Enligt FOA är konsekvenserna av flambrand större och eftersom det också är vanligare att en sådan inträffar blir denna dimensionerande.

För att vara på den säkra sidan räknar vi på $\frac{1}{4}$ av brännbarhetsområdet /7/. Vi simulerar liksom för de andra ämnena spridningen av gasmolnet i @Risk. Då får vi riskavståndet som en sannolikhetsfördelning enligt figur 6.5.



Figur 6.5 Sannolikhetsfördelning över riskavståndet för gasol.

6.4 Beräkning av risk

Som vi tidigare nämnt är risk en sammanvägning av sannolikheten för olycka och konsekvensen av denna. Man kan mäta risken på två olika sätt, som individrisk och som samhällsrisk. Individrisken anger sannolikheten för att en enskild person som befinner sig på en bestämd plats ska avlida på grund av en olycka av viss typ. Den antar alltså olika värde beroende på var personen befinner sig geografiskt. Med samhällsrisk, eller kollektiv risk, menas den risk som allmänheten utsätts för. Den inkluderar risker för alla personer som utsätts för en risk även om detta bara sker vid enstaka tillfällen. Man definierar den vanligtvis som antalet omkomna som en funktion av frekvensen för olycka.

6.4.1 Individrisk

Individrisken är detsamma som sannolikheten för att en person ska dö till följd av verksamheten på rangerbangården. Eftersom det blåser olika ofta i olika riktningar skiljer sig risken för de olika vädersträcken. Den totala individrisken i varje riktning är summan av individrisken för de olika ämnena, ammoniak, svaveldioxid, klor och gasol. För varje vindriktning fås en fördelning över individrisken på olika avstånd.

Om man redovisar konsekvensen av att det blåser olika ofta i olika riktningar får man en äggformad riskkontur. Figur 6.6 visar individrisken i alla vindriktningar både för nuläget och morgondagen.



Figur 6.6 Individrisk i Malmö Hamn med omnejd.

Tabell 6.4 anger medelavståndet inom vilket risken att dö till följd av en olycka är en gång på en miljon år respektive en gång på 10 miljoner år.

Tabell 6.4 Medelindividrisken i dag och i morgon.

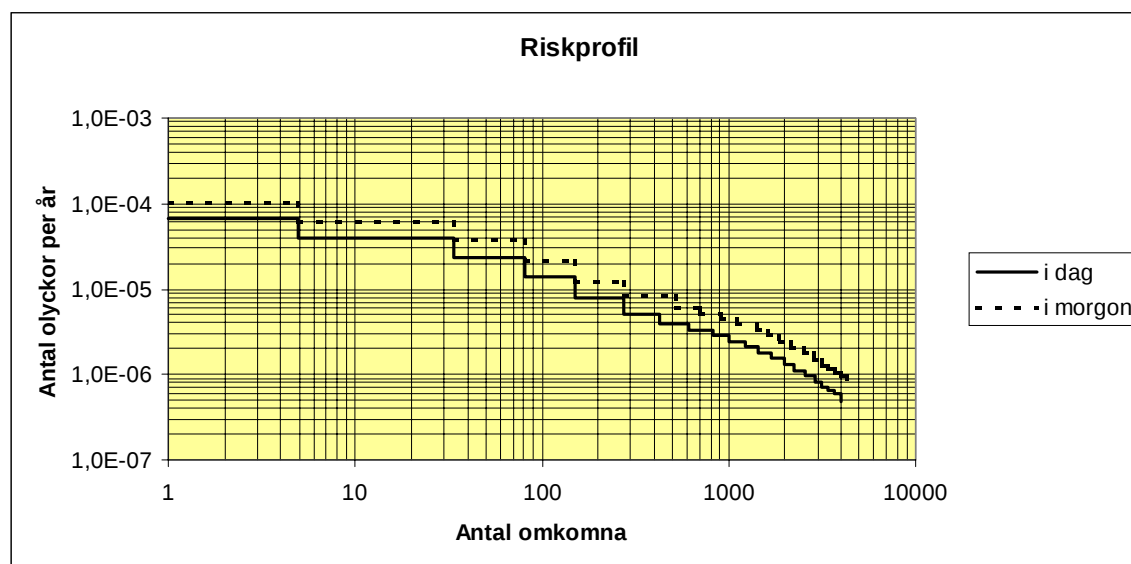
Medelindividrisk	Riskavstånd, i dag	Riskavstånd, i morgon
10^{-6}	700 m	900 m
10^{-7}	2900 m	3600 m

6.4.2 Samhällsrisk

För att redovisa samhällsrisker använder man sig ofta av FN-kurvor. Dessa visar frekvensen av en olycka i förhållande till antalet döda.

För att beräkna antalet döda vid en olycka använder vi oss av LC_{50} -värdet (se kapitel 3.1 och appendix 3.1). För att människorna ska avlida måste de befinna sig utomhus. Det är mycket svårt att uppskatta hur mycket folk som vistas i området och det finns ingen schablonmässig metod att använda. Ett sätt att gå till väga är att ställa sig och räkna personer i det aktuella området för att få en uppfattning om antalet. Vi har dock inte resurser för att göra en sådan analys utan har använt en annan modell. Denna finns beskriven i appendix 3.9 liksom beräkningarna av antalet drabbade för i dag och i morgon.

Med hjälp av sannolikhetsfördelningarna över riskavståndet för de olika ämnena som är framtagna i kapitel 6.3 kan vi ta fram den totala riskprofilen för området. Den fås som summan av riskerna för de enskilda ämnena och vi ritar upp FN-kurvor både för dagsläget och morgondagen. Dessa finns presenterade i figur 6.7.



Figur 6.7 Riskprofil för dagsläget och morgondagen.

6.5 Tillämpningsområde

För att underlätta framtida riskanalyser och undvika onödigt arbete görs här en beskrivning av vad som är specifikt för just den här situationen och vad som är mer generella resultat.

- ✓ Beräkningarna av sannolikhet för utsläpp är baserade på statistik från Malmö rangerbangård och är inte överförbara till andra rangerbangårdar. VTI's beräkningsmodell är däremot tillämpbar och finns beskriven i appendix 2.1.
- ✓ För beräkning av riskavståndet kan uttrycken i tabell 6.5 tillämpas om förutsättningarna för vindhastighet och håldiameter uppfylls. Uttrycken är framtagna i appendix 3.5.

Tabell 6.5 Uttryck för beräkning av riskavstånd för vissa vindhastigheter och håldiametrar.

Ämne	Stabilitetsklass	Vindhastighet, u (m/s)	Håldiameter, D (cm)	Uttryck
Ammoniak	Alla	0-12	1-20	$X = 9270.8 \cdot D^{0.928} \cdot u^{-0.480}$
Svaveldioxid	A + B	0-4	1-20	$X = 8946.0 \cdot D^{0.923} \cdot u^{-0.411}$
	C + D	2-12	1-20	$X = 8412.7 \cdot D^{0.926} \cdot u^{-0.130}$
	E + F	0-4	1-20	$X = 45326.6 \cdot D^{1.147} \cdot u^{-0.397}$
Klor	A + B	0-4	1-20	$X = 16129.4 \cdot D^{0.950} \cdot u^{-0.367}$
	C + D	2-12	1-20	$X = 30077.7 \cdot D^{1.036} \cdot u^{-0.209}$
	E + F	0-4	1-20	$X = 203621.9 \cdot D^{1.204} \cdot u^{-0.356}$
Gasol	Alla	0-12	1-20	$X = 2874.7 \cdot D^{0.941} \cdot u^{-0.503}$

X = Riskavståndet för ämnets LC₅₀-värde (1/4 av brännbarhetsområdet för gasol)

u = Vindhastigheten i m/s

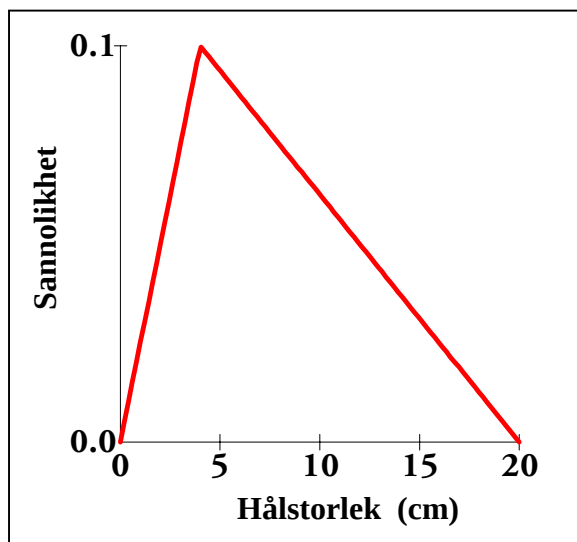
D = Håldiametern i cm

Förutom ovanstående variabler beror uttrycken av ett antal konstanter. Dessa påverkar uttrycken i mindre omfattning men förhållandena bör om möjligt vara desamma som i tabell 6.6.

Tabell 6.6 Konstanter vid beräkning av regressionsuttrycken.

konstanter	namn	värde
T	Temperatur	288 K
P _a	Luftryck	101325 Pa
C _d	kontraktionsfaktor	~0.6
Z ₀	Ytskrovlighet	0.1

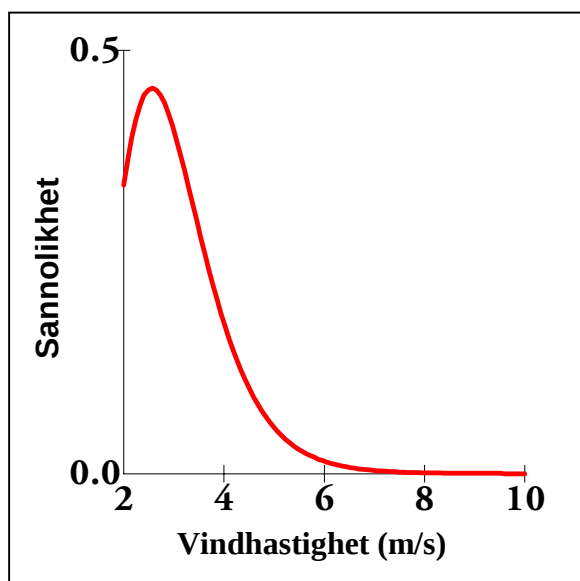
- ✓ I uttrycken kan antingen diskreta värden eller sannolikhetsfördelningar stoppas in. Fördelningen vi tagit fram över håldiametern är tillämpbar vid transport av farligt gods på väg eller järnväg. I annat fall får en ny fördelning konstrueras. Fördelningen visas i figur 6.8 och är en triangulärfördelning där min=0, max=20 och mest sannolika värdet=4. Den är framtagen i appendix 2.2.



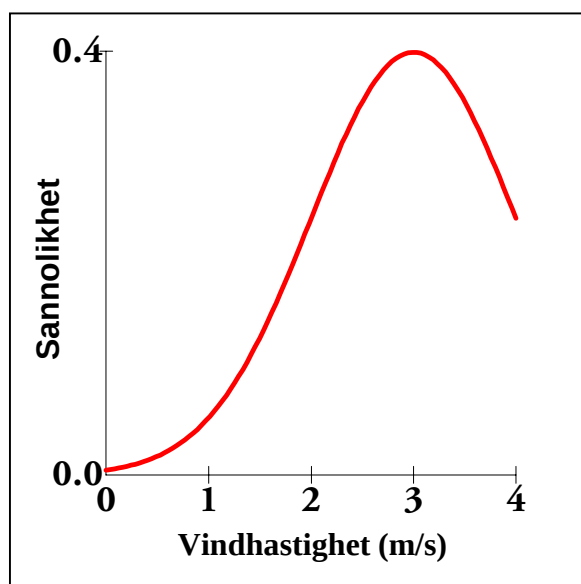
Figur 6.8 Sannolikhetsfördelning över håldiametern. Triangulärfördeln (0, 4, 20)

Fördelningen över vindhastigheten är anpassad efter väderförhållandena i Malmö stad. Mätvärdena som fördelningarna bygger på kommer från Miljöförvaltningens mätstation vid Heleneholms brandstation. Fördelningarna kan tillämpas i hela Malmö men finns tillgång till mer precisa data ska dessa naturligtvis användas.

Figur 6.9-6.10 visar sannolikhetsfördelningarna över vindhastigheten för stabilitetsklass B, D och F. Även dessa är framtagna i appendix 2.2.



Figur 6.9 Vindhastigheten lognormalfördelas (3,98;1,46) för stabilitetsklass C eller D.



Figur 6.10 Vindhastigheten normalfördelas $(2,47;0,95)$ för stabilitetsklass A eller B och $(1,97;0,71)$ för stabilitetsklass E eller F.

- ✓ Förekomsten av de olika stabilitetsklasserna är även de framtagna från väderdata uppmätta vid Heleneholms brandstation. Sannolikheten för de olika klasserna gäller alltså i Malmö stad och presenteras i tabell 6.7. Detsamma gäller för vindriktningen, vars fördelning visas i tabell 6.8.

Tabell 6.7 Förekomsten av de olika väderstabilitetsklasserna i Malmö stad.

Stabilitetsklass	Frekvens (%)
A	0,3
B	2,0
C	13,7
D	62,9
E	8,7
F	12,3

Tabell 6.8 Procentuell fördelning över vindriktningen (vilken riktning det blåser mot).

Vindriktning	Frekvens (%)
Norr	12
Nordöst	17
Öst	15
Sydöst	12
Syd	8
Sydväst	9
Väst	15
Nordväst	12

7. Konfliktanalys

Utifrån de båda bilderna riskbild och skyddsbehov görs en konfliktanalys. Syftet med den här analysen är att ta reda på om och i så fall på vilket sätt skyddsobjekt och riskobjekt kolliderar. Vi gör sedan en jämförelse med riskkriterierna för att se om förhållandena kan anses vara acceptabla. Om de inte är acceptabla finns två möjligheter: att minska på skyddsbehovet eller att begränsa riskbilden. Detta måste tas hänsyn till i den fysiska planeringen.

Redan i dag finns det bostadsbebyggelse söder om rangerbangården. I figur 6.6 kan man se att delar av Kirsebergsstaden ligger innanför linjen där individrisken uppgår till 10^{-6} . Detta innebär enligt riskacceptanskriterierna i kapitel 3 att området ligger i gränslandet för vad som anses acceptabelt.

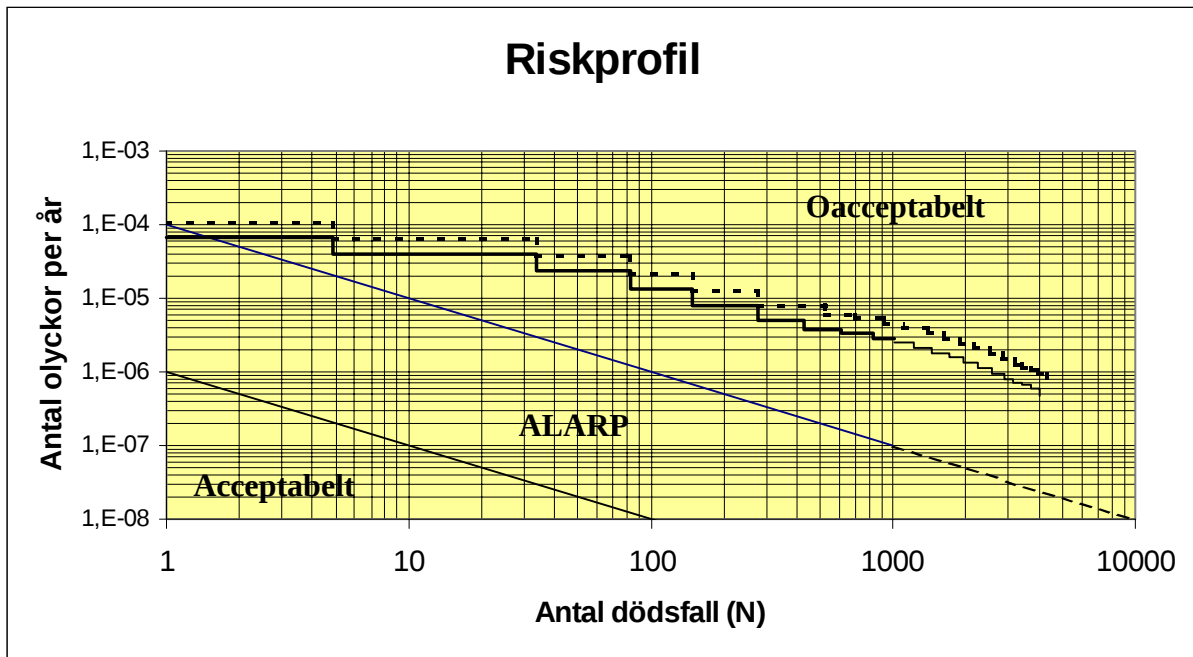
De planer som finns i dag på nybyggnation i områdena Västra Hamnen, Universitetsholmen och Nyhamnsområdet innebär ett ökat skyddsbehov i hamnen. Hur stort detta skyddsbehov är varierar dock beroende på vilken typ av bebyggelse som är planerad för respektive område.

Området Västra Hamnen ligger enligt figur 6.6 på gränsen till 10^{-7} i individrisk. Detta innebär att riskerna i området i princip är försumbara. I området är det inte planerat några skolor, vårdhem eller andra särskilt skyddsvärda anläggningar. Någon kollision mellan riskbild och skyddsobjekt finns därför inte här.

Individrisken ligger mellan 10^{-6} och 10^{-7} på Universitetsholmen. Här kommer det att vistas ett stort antal människor dagtid. Det rör sig nästan uteslutande om vuxna, friska människor vilket innebär att skyddsbehovet är något lägre. Detta innebär att riskbild och skyddsbehov inte står i nämnvärd konflikt med varandra.

Nyhamnsområdet ligger nära gränsen för 10^{-6} och här ser skyddsbehovet annorlunda ut. Förutom ett stort antal bostäder är här planerat bland annat en låg- och mellanstadieskola. Denna typ av markanvändning kan innebära vissa konflikter men enligt de individriskkriterier vi presenterat är det inte att anses som oacceptabelt.

Hittills har vi bara jämfört resultaten med individriskkriterierna. I det här sammanhanget är det kanske mer intressant att titta på samhällsriskerna eftersom den direkt ger en bild av konflikten mellan skyddsbehov och riskbild. I figur 7.1 visas samhällsriskerna för dagsläget och morgondagen i jämförelse med DNV's riskacceptanskriterier. Denna visar att risknivån redan idag ligger i området för oacceptabel risk. Även om individrisken medger nybyggnation skulle detta innebära en ökning av samhällsriskerna som redan i dag ligger på en oacceptabel nivå.



Figur 7.1 Dagens och morgondagens riskprofil i jämförelse med acceptanskriterier framtagna av Det Norske Veritas.

8. Diskussion

Resultatet visar att samhällsriskerna i området är helt oacceptabla. Man bör dock inte nöja sig med det utan fråga sig vad det beror på. Som vi visat ligger individrisken på en acceptabel nivå vilket innebär att den enskilde individen inte utsätts för någon märkbar ökad risk då han eller hon vistas i området kring rangerbangården. Vi kan se utifrån figur 7.1 att den ökning av antal utsatta som det innebär att bygga ut Västra Hamnen, Universitetsholmen och Nyhamnsområdet har ytterst liten betydelse. Problemet är att det redan vistas väldigt mycket människor söder om rangerbangården.

8.1 Osäkerheter i analysen

Att spegla verkligheten med olika teoretiska modeller innebär alltid en förenkling av de förhållanden som råder. Fastän vi har använt oss av väl beprövade metoder så finns här vissa osäkerheter. I konsekvensanalysen har vi tagit hänsyn till de lokala omständigheter som råder i Malmö. Tillgång till värdefull statistik för beräkning av konsekvenserna i området gjorde det möjligt att räkna med fördelningar istället för diskreta värden i de fall då det påverkade slutresultatet väsentligt. Sannolikhetsanalysen är baserad på en metod från VTI. Den är så långt som möjligt anpassad till rangerbangården i Malmö men då det statistiska underlaget är begränsat finns även här utrymme för osäkerheter. Vi utförde känslighetsanalyser och kunde konstatera att den faktor som påverkar resultatet mest är en konstant som används i VTI:s modell och som inte kan varieras (ekvation 2.1 i appendix 2.1).

8.2 Åtgärder

Även då det finns vissa osäkerheter med denna typ av analys står det klart att samhällsriskerna i området är för stora. Enligt det kriterie vi jämfört med i figur 7.1 är sannolikheten cirka hundra gånger större än vad som kan anses acceptabelt och detta ligger klart utanför ramen för de osäkerheter som finns. Följer Malmö stad detta acceptanskriterie blir slutsatsen att ingen nybyggnation bör ske i områdena kring rangerbangården innan förebyggande åtgärder på anläggningen utförts. Dessa åtgärder bör inriktas på att minska sannolikheten för urspärning samt att vid urspärning minska sannolikheten för läckage.

Då dessa åtgärder är vidtagna bör det ses över vilka övriga åtgärder som reducerar riskerna för allmänheten. Idag finns det stora möjligheter att begränsa konsekvenserna vid en olycka, exempel på detta kan vara:

- Ventilationen i omkringliggande bostäder kan vara utförd så att det är säkert att vistas inomhus då giftig gas läckt ut.
- Larmsystem och rutiner bör utformas så att allmänheten snabbt kan sätta sig i säkerhet.
- Personalens agerande är av stor betydelse i inledningsskedet, det är därför lämpligt att det upprättas rutiner i samarbete med räddningstjänsten för att kunna begränsa de skador som uppstår.

9. Referenser

/1/ *Sex kommuners arbete med risker för hälsa och säkerhet*. Boverket, 1992, PBL/NRL underlag nr 40, Hälsa och säkerhet:4.

/2/ Davidsson, Lindgren, Mett, *Värdering av risk*, Räddningsverket, Karlstad, 1997, ISBN 91-88890-82-1, P21-182/97.

/3/ Malmö Stadsbyggnadskontor, Översiktsplaneavdelningen, *Översiktplan för Västra Hamnen (ÖP2013)*, *Universitetsholmen (ÖP2021)* och *Nyhamnsområdet (ÖP2011)*.

/4/ Malmö Brandkår, skyddsavdelningen, *Riskinventering Malmö*, 1996 rev B.

/5/ Bergqvist, Anders, Stockholms Brandförsvär, *Insats vid olycka med kemikalier*, Räddningsverket, Karlstad, 1997, U26 - 562/97

/6/ Statens väg- och transportforskningsinstitut, *Farligt gods -riskbedömning vid transport*, Räddningsverket, Karlstad, 1996, B20-194/96

/7/ Fischer, Forsén, Hertzberg, Jacobsson, Koch, Runn, Thaning, Winter, *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor*, Försvarets forskningsanstalt, 1997, ISSN 1104-9154.

/8/ *Guidelines for Evaluating the Characteristics of vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs*, American Institute of Chemical Engineers, 1994, ISBN 0-8169-0474-X

Appendix 1. Riskinventering

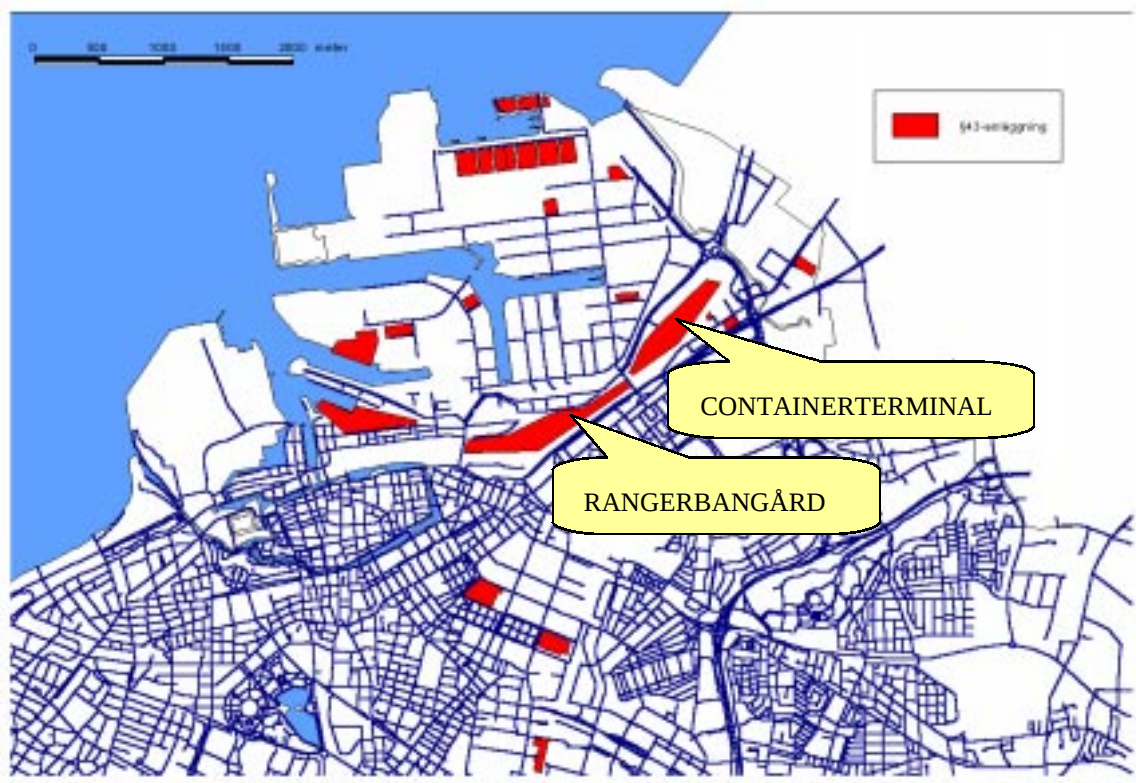
A1.1 Hamnen

Malmö brandkår har gjort en riskinventering över staden där riskområden har beräknats för de 204 riskobjekten. Vi har valt att endast titta på §43-anläggningarna eftersom dessa anläggningar ger värst konsekvenser.

Riskområdet grundar sig på konsekvensberäkningar av kemikaliespridning, området för undre brännbarhetsgräns, värmepåverkan på människa vid brandförlopp, explosionstryck, gasmolnsbrand mm.

Vid förgiftning av människa har kända värden som ger livshotande skador vid kort påverkan använts som dimensionerande koncentration. Koncentrationen för skada är TGV (takgränsvärde) eller KTV (korttidsvärde) för ämnet. För giftiga ämnen har LD₅₀ / LO₅₀ värden använts. Vid brännskada har beräknad strålningsnivå för livshotande skada varit 10kW/m² och för skada 3 kW/m².

Resultaten redovisar spridning i fri terräng. Spridningsförhållanden i bebyggelse måste därför bedömas i respektive aktuella fall. Figur A1.1 och tabell A1.1 visar riskobjekten i Hamnen.



Figur A1.1 §43-anläggningarna i Malmö Hamn.

Tabell A1.1 Riskobjektsregister för Malmö Hamn /1/.

nr	Objektsnamn	Gatuadress	Riskverksamhet	Avst. bost.	Riskavst.	Våra kommentarer
1	Bayer / Gullvik Fabrik AB	Hemsögatan 10	Gift/bek.medelslager-brand	1900 m	950 m	Riskavst.< Avst. bost.
2	Sydgas Gasoldepå AB	Kusthamnsgatan 5	Gasolhantering-läckage, explosion	2600 m	2000 m	Riskavst.< Avst. bost.
3	Oljehamnspar	Oljehamnen	Kemikalieinlastn.-läckage, brand	2700 m	300 m	Riskavst.< Avst. bost.
4	Rangerbangården	Carlsgatan	Kemikalietransport-läckage, brand	150 m	2000 m	Analyseras i denna rapport
5	Containerterminal	Västkustvägen	Kemikalietransport-läckage, brand	200 m	2000 m	Analyseras i denna rapport
6	Stadex AB	Kopparbergsgatan 31	Kemikaliehantering-läckage, brand	75 m	1400 m	ligger utanför aktuell stadsdel
7	Ferring AB	Agneslundsvägen 27	Kemikaliehantering-läckage, brand	100 m	500 m	ligger utanför aktuell stadsdel
8	Du Pont Chemoswed/Ferring	Agneslundsvägen 27	Kemikaliehantering-läckage, brand	100 m	500 m	ligger utanför aktuell stadsdel
9	Sydgas AB Naturgasverket'	Sankt Knuts väg 19	Naturgashantering-explosion	300 m	500 m	ligger utanför aktuell stadsdel
10	AGA Gas AB	Sandsjögatan 1	Kemikaliehantering-explosion	1100 m	200 m	Riskavst.< Avst. bost.
11	Air Liquide Gas AB	Lundavägen 147	Kemikaliehantering-explosion	500 m	200 m	Riskavst.< Avst. bost.
12	MB-Sveda AB	Peroliumgatan 1	Kemikaliehantering-utflöde, brand	2800 m	500 m	Riskavst.< Avst. bost.
13	Haltermann AB	Peroliumgatan 7	Kemikaliehantering-utflöde, brand	2800 m	500 m	Riskavst.< Avst. bost.
14	Bona Kemi AB	Krusegränd 42	Kemikaliehantering-utflöde, brand	300 m	700 m	ligger utanför aktuell stadsdel
15	Bona Kemi AB	Murmansgatan 128	Kemikaliehantering-utflöde, brand	300 m	700 m	ligger utanför aktuell stadsdel
16	Ferring AB	Soldattorpsvägen 5	Kemikaliehantering-brand	50 m	400 m	ligger utanför aktuell stadsdel
17	Du Pont Chemoswed	Celsiusgatan 35	Gift/bek.medelslager-brand	500 m	750 m	Utgör eventuell risk ¹
18	Malmö Frihamn	Terminalgatan 16	Kemikaliehantering-utflöde, brand	800 m	650 m	Riskavst.< Avst. bost.
19	Coldsped AB	Lodgatan 15	Ammoniakantering-utflöde	1500 m	500 m	Riskavst.< Avst. bost.
20	Kemiavfall i Skåne AB	Spillepengsgatan	Kemikaliehantering-utflöde, brand	1900 m	500 m	Riskavst.< Avst. bost.
21	Malmö Värme (Depå V)	Oljevägen 20	Petroleumhantering-utflöde, brand	2600 m	150 m	Riskavst.< Avst. bost.
22	Preem 1	Oljevägen 6	Petroleumhantering-utflöde, brand	2600 m	150 m	Riskavst.< Avst. bost.
23	Preem 2	Oljevägen 24	Petroleumhantering-utflöde, brand	2600 m	150 m	Riskavst.< Avst. bost.
24	Preem 3	Oljevägen 14	Petroleumhantering-utflöde, brand	2600 m	150 m	Riskavst.< Avst. bost.
25	Paktank AB	Oljevägen 18	Petroleumhantering-utflöde, brand	2600 m	150 m	Riskavst.< Avst. bost.
26	Kuwait Petroleum	Oljevägen 22	Petroleumhantering-utflöde, brand	2600 m	150 m	Riskavst.< Avst. bost.
27	Statoil Depå	Oljevägen 10	Petroleumhantering-utflöde, brand	2600 m	150 m	Riskavst.< Avst. bost.

¹ Diskuteras i Kapitel 5.1 där det framkommer att risktillskottet från denna industri är försumbart.

A1.2 Rangerbangården

Tabell A1.2 visar hur mycket av varje ämne som rangerats under perioden 980801-981030. Vi har endast tagit med de ämnen som det har rangerats mer än 1000 ton av. Slutsatsen blir att vi väljer ut fyra ämnen att utföra konsekvensberäkningar på: Ammoniak, gasol, svaveldioxid och klor.

Tabell A1.2 Ämnen som det rangerats mer än 1000 ton av under tre månader /2/.

vikt netto (ton)	antal vagnar	UN-nr	Namn	Nr i FG-pärm	Våra kommentarer
18819,7	331	1824	Natriumhydroxidlösning	21	Frätande vid direktkontakt, ingen risk för tredje person.
9678,6	184	2014	Väteperoxid vattenlösning	541	ingen risk för tredje person
7577,7	183	1005	Ammoniak, vattenfri	2	toxisk, stor risk för tredje person.
7020	158	1965	Gasol, kondenserad	41	brand/explosion, måttlig risk för tredje person
5092,9	216	1977	Kväve, kyld vätska	228	ingen risk för tredje person
4395,6	94	1079	Svaveldioxid	27	toxisk, stor risk för tredje person.
4184,5	162	1073	Syre (oxygen), kyld vätska	175	explosionsrisk vid upphettning, bortses här.
2837	64	1942	Ammoniumnitrat	37	farlig vid förtäring, ingen risk för tredje person.
2763,7	51	1089	Acetaldehyd	54	brand/explosion, ingen risk för tredje person
2675,2	195	2794	Batterier våta fyllda med syra		ingen risk för tredje person
2436,4	51	1129	Butyraldehyd	74	brand/explosion, ingen risk för tredje person
2234,5	42	1010	1.2-Butadien, inhiberad	169	brand/explosion, ingen risk för tredje person
2104,4	33	1935	Cyanidlösning n.o.s.	528,535	toxisk, liten risk för tredje person.
1988,6	34	1830	Svavelsyra	506,28	ingen risk för tredje person
1926,1	34	2031	Salpetersyra	504,24	ingen risk för tredje person
1346,9	24	1017	Klor	16	toxisk, stor risk för tredje person.
1319,9	29	1495	Natriumklorat	43	ingen risk för tredje person
1290,2	26	2187	Koldioxid, kyld vätska	369	ingen risk för tredje person
1211,2	37	3082	Miljöfarliga ämnen	124,215	ingen risk för tredje person
1205	26	1131	Koldisulfid	79	
1089,1	17	2312	Fenol smält	8	

A1.3 Containerterminalen

Tabell A1.3 visar hanterade enheter som innehåller farligt gods under tiden 980601-981130. Statistiken är för Rail Combis samtliga 16 terminaler i landet och gäller bara de containrar som endast innehåller farligt gods, dvs inga styckegodsenheter.

Tabell A1.3 Hanterade enheter innehållande endast farligt gods under tiden 980601-981130 /3/.

Vikt netto (ton)	Antal enheter	UN-nr	Namn	Nr i FG-pärm	Farlighetsnummer
407	27	1824	Natriumhydroxidlösning	21	
222	10	3082	Miljöfarliga ämnen	124,215	90
169	12	1593	Diklormetan	83	60
121	5	2735	Frätande aminer flytande		
84	4	3257	Vätska med förhöjd temp.		99
82	4	1247	Metylmetakrylat	157	339
52	3	3092	1-metoxi-2-propanol		30
46	2	3259	Aminer	337	80,88
44	4	1280	Propylenoxid	84	339
30	1	2211	Polystyren		90
25	1	1848	Propionsyra	152	80
25	1	3272	Estrar		30,33
24	1	1382	Kaliumsulfid		40
24	1	3295	Kolväten		33
18	3	1790	Flourvätesyra	10	886
4	1	1090	Aceton	1	33
4	1	1293	Tinkurer		33
4	1	2265	Dimetylformamid	198	30
1385	82				

Referenser

/1/ Malmö Brandkår, skyddsavdelningen, *Riskinventering Malmö*, 1996 rev B.

/2/ SJ, Listor över vagnar med farligt gods som avkopplas i Malmö tiden 980801-981030

/3/ .Rail Combi, Listor över hanterade enheter med farligt gods tiden 980601-981130.

Appendix 2. Sannolikhetsberäkningar

A2.1 Sannolikhet för utsläpp

Förväntat antal urspårningar och kollisioner per rangeringstillfälle ges av /1/:

$$N = \text{TAF} \cdot 1.2 \cdot 10^{-6} \quad (2.1)$$

N = antal urspårningar eller kollisioner

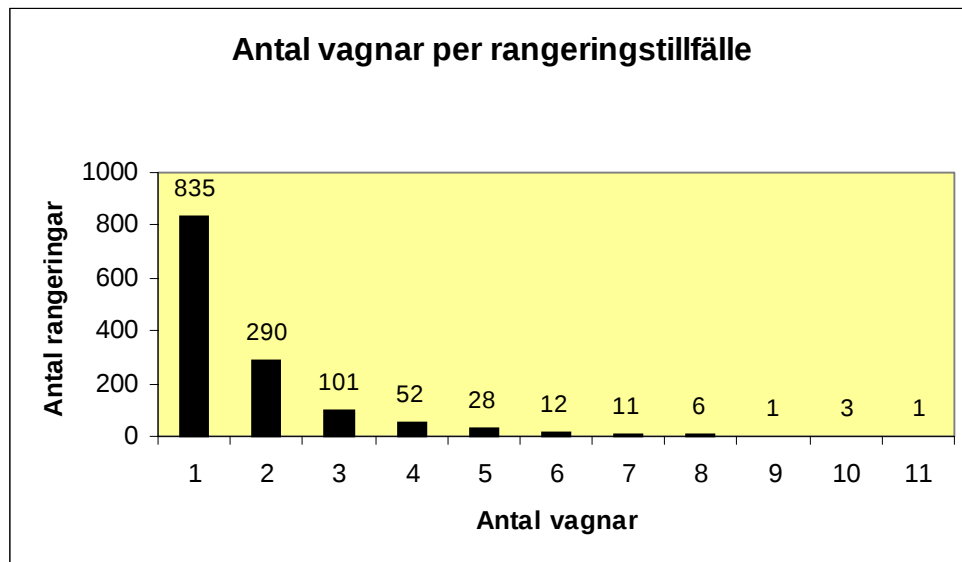
TAF = Tågets medelstorlek uttryckt i antal vagnaxlar

För att erhålla sannolikheten för utsläpp skall den skattade olycksfrekvensen multipliceras med det sannolika skadeutfallet i form av olika skador på tanken. Litet utsläpp motsvarar några cm² hålstorlek. Medelstort motsvarar ca 1 dm² och stort flera dm². Sannolikheten skiljer sig om tanken är tunnväggig (ej trycksatt) eller tjockväggig (trycksatt) och redovisas i tabell A2.1.

Tabell A2.1 Sannolikt skadeutfall vid urspårning eller kollision /1/.

Tanktyp	litet utsläpp	medelstort utsläpp	stort utsläpp
tunnväggig	0.1	0.01	0.01
tjockväggig	0.01	0.01	0.01

För att få fram tågens medelstorlek vid rangering använder vi listor som samlats i övervakningstornet under två dygn /2/. Listorna ger information om hur många vagnar som släppts vid varje rangeringstillfälle och sammanställningen visas i figur A2.1.



Figur A2.1 Antal släppta vagnar per rangeringstillfälle.

Vi räknar ut ett medelvärde på antalet vagnar som släpps vid varje rangeringstillfälle:

Totalt antal vagnar	2329 st
Antal rangeringar	1341 st

$$\text{Medelantal vagnar per släpp} = 2329/1341 = 1.737 \text{ st}$$

Enligt uppgift från SJ förekommer det ungefär lika många två- som fyraxlade vagnar. Det betyder att varje vagn i genomsnitt har tre vagnaxlar. Då blir tågens medelstorlek:

$$\text{TAF} = 1.737 \cdot 3 = 5.21$$

Nu kan sannolikheten för urspårning eller kollision per rangeringstillfälle beräknas enligt (2.1):

$$N = 5.21 \cdot 1.2 \cdot 10^{-6} = \underline{6.25 \cdot 10^{-6}}$$

I dag

För att få sannolikheten för urspårning eller kollision under ett år används statistik över hur många vagnar som i dagsläget rangeras per år /3/: Siffrorna redovisas i tabell A2.2.

Tabell A2.2 Antal rangerade vagnar under 1997 och 1998 /3/.

	1997	1998 (tom oktober)
Antal rangerade vagnar	406 648	441 740

Nu kan medelrangeringen per år beräknas:

$$\frac{406648 + 441740}{22} \cdot 12 = 462757 \text{ vagnar / år}$$

$$\frac{462757}{1.737} = 266448 \text{ rangeringar / år}$$

Antal urspårningar per år fås då som:

$$N \cdot 266\,448 = 6.25 \cdot 10^{-6} \cdot 266\,448 = 1.67 \underline{\text{urspårningar/år}}$$

I morgon

Att uppskatta den maximala ökningen av rangeringen under en tioårsperiod är mycket svårt. Den totala mängden gods i Sverige kommer förmodligen inte att förändras, däremot kommer Malmö att avlasta rangeringen i Helsingborg och Trelleborg. Malmö uppskattas därför öka sin hantering med ca 60% fler rangeringar.

$$266\,448 \cdot 1.6 = 426\,317 \text{ rangeringar / år}$$

Antal urspårningar per år fås då som:

$$N \cdot 426\,317 = \underline{2.66 \text{ urspårningar / år}}$$

För att få sannolikheten för utsläpp multipliceras sannolikheten för urspårning med en faktor enligt tabell A2.1. Tabell A2.3 redovisar den totala sannolikheten för i dag och i morgon:

Tabell A2.3 Sannolikhet för utsläpp, idag och imorgon.

	I dag	I morgon
Sannolikhet för utsläpp	0.0167	0.0266

Sannolikheten för vilket ämne som läcker ut vid ett läckage kan räknas fram enligt följande:

Totalt antal rangerade vagnar/år $N_{\text{Tot}} = 462\,757 \text{ st}$

$$\text{Andel}(i) = \frac{N_i}{N_{\text{Tot}}}$$

Resultatet visas i tabell A2.4.

Tabell A2.4 Andel av rangerade vagnar för olika ämne.

Ämne	Antal rangerade vagnar/år	Andel i %
Ammoniak	732	0.158
Svaveldioxid	376	0.081
Klor	96	0.021
Gasol	632	0.137
Cyanidlösning	132	0.029

För att verifiera sannolikheterna har vi sökt historiska data över olyckstillbud. Vi har tagit del av räddningstjänstens insatsrapportering och viss tillbudsstatistik från SJ. Dessa data har varit bristfälliga och därmed inte tillräckliga för att kunna dra några slutsatser om sannolikhet för utsläpp på rangerbangården.

A2.2 Sannolikhetsfördelningar

Fördelning av håldiametern

Det är svårt att dra några generella slutsatser om utformningen på de tankar som man fraktar farligt gods i. De kan vara väldigt olika beroende på vilket ämne som avses, vem som tillverkar dem och vem som använder dem. Det finns heller ingen standard för storlek på ventiler och flänsar, dock kan man konstatera att det oftast är här som ett läckage uppstår om olyckan är framme.

I litteraturen är det heller inte lätt att hitta statistik som visar hur hålstorleken är fördelad. Nedan följer en beskrivning av hur man valt dimensioner på utsläppshål i några olika studier:

I *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances* /4/ konstateras att man helt saknar olycksstatistik för tankar som transporterar gaser i vätskeform. Därefter gör de bedömningen att 90% av skadorna på tanken skulle ge upphov till ett hål som är 5 cm.

I *VTI's rapport* /1/ har man använt sig av tre olika utsläppsstorlekar: Några cm², ca 1 dm² respektive flera dm². Vi gör den bedömningen att "några cm²" motsvarar 0-50 cm², "ca 1dm²" motsvarar 50-150 cm² och "flera dm²" motsvarar >150cm². Vi räknar om area till diameter av utsläppshålet och jämför sannolikheten inbördes i tabell A2.5.

Tabell A2.5 Sannolikheter för olika håldiametrar från VTI /1/.

Diameter	Sannolikhet i %
0-8 cm	82
8-14 cm	16
>14 cm	2

I *Classification of hazardous locations* /5/ finns motsvarande data för rörbrott enligt tabell A2.6 (A= rörets tvärsnittsarea).

Tabell A2.6 Sannolikheter för olika hålstorlekar från *Classification of hazardous locations* /5/.

Läckagearea	Sannolikhet i %
0.01A	90
0.1A	9
A	1

För att kunna jämföra denna data med vårt tankutsläpp gör vi antagandet att totalt rörbrott motsvarar ett utsläpp av 0.5m². Räknar vi efter detta antagande fram diametern får vi värden enligt tabell A2.7.

Tabell A2.7 Hålstorlekarna i tabell A2.6 omräknade till diametern på hålet.

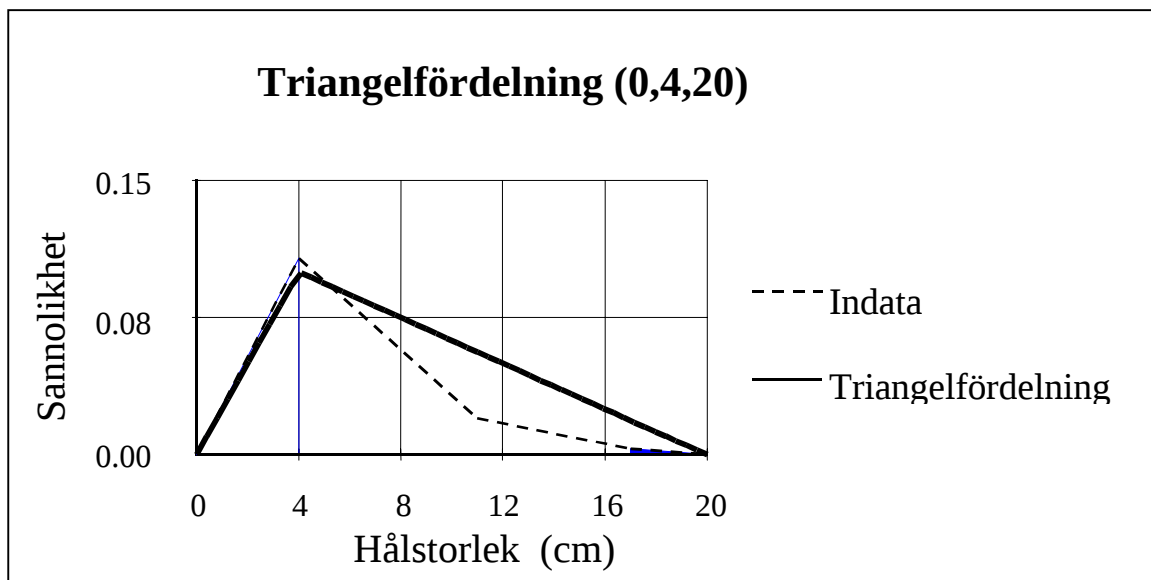
Diameter	Sannolikhet i %
0-8cm	90
8-25 cm	9
25-80 cm	1

Med denna något osäkra indata skapar vi en ny tabell, tabell A2.8, som beskriver hur diametern av utsläppshålet varierar.

Tabell A2.8 Sammanvägd sannolikhet för håldiametern.

Diameter	Sannolikhet i %
0-8 cm	86
8-14 cm	12
14-25 cm	1
25-80 cm	1

Utifrån ovanstående tabell skapar vi nu en fördelning som stämmer väl överens med indata. De största diametrarna finns inte med vilket motsvarar ca 2%. En triangelfördelning motsvarar inte verkligheten men det speglar de osäkerheter som finns i indata. Att föra in en mer detaljerad fördelning vore därför vilseledande. Fördelningen presenteras i figur A2.2.



Figur A2.2 Håldiametern som triangelfördelning.

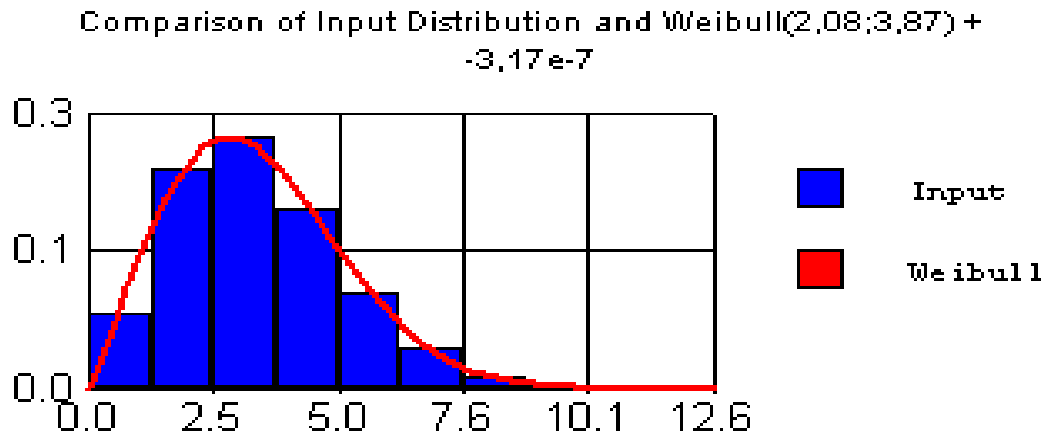
Denna triangelfördelning skiljer sig en aning från indata. Tabell A2.9 visar hur diametern fördelar sig enligt triangelfördelningen. Denna kan jämföras med indata, Tabell A2.8.

Tabell A2.9 Jämförelse mellan några olika triangelfördelningar.

(0;4;20)	(0;3;20)	(0;2;20)	(0;1;20)	(0;0,5;20)	Sannolikhet %
2,8 cm	2,4 cm	2,0 cm	1,5 cm	1,3 cm	10
7,4 cm	7,0 cm	6,6 cm	6,2 cm	6,0 cm	50
12,0 cm	11,8 cm	11,5 cm	11,3 cm	11,2 cm	80
14,3 cm	14,2 cm	14,0 cm	13,8 cm	13,8 cm	90
16,0 cm	15,9 cm	15,8 cm	15,6 cm	15,6 cm	95

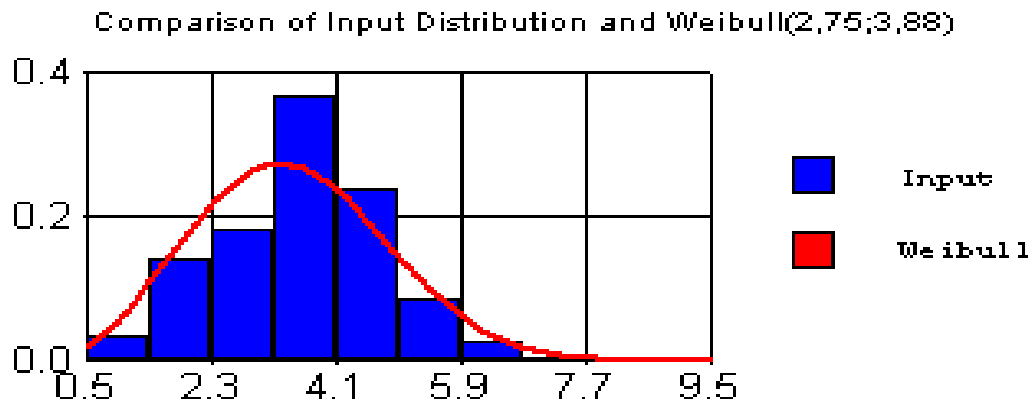
Fördelning av vinddata

Dessa vinddata baseras på över 16000 mätningar mellan 1995-1998. Mätningarna kommer från Miljöförvaltningens mätstation vid Heleneholms brandstation i Malmö. För att få en fördelning som stämmer väl överens med mätdata användes funktionen *Best fit* i datorprogrammet *@Risk*. Resultatet blev att en Weibullfördelning (2,08;3,87) stämmer bäst överens med verkligheten.

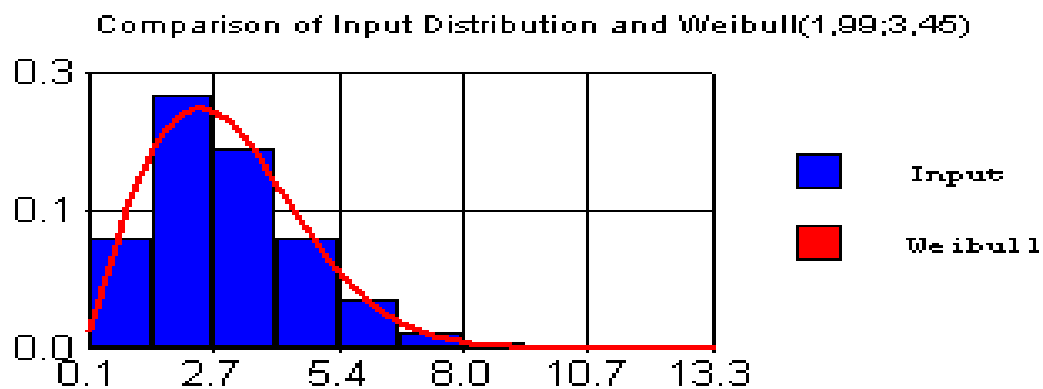


Figur A2.3 Jämförelse mellan indata och Weibullfördelning, Heleneholms brandstation.

Denna fördelning kan jämföras med något äldre och osäkrare vinddata från Bulltofta flygplats och från Rådhuset i Malmö.



Figur A2.4 Jämförelse mellan indata och Weibullfördelning, Bulltofta flygplats.



Figur A2.5 Jämförelse mellan indata och Weibullfördelning, Rådhuset i Malmö.

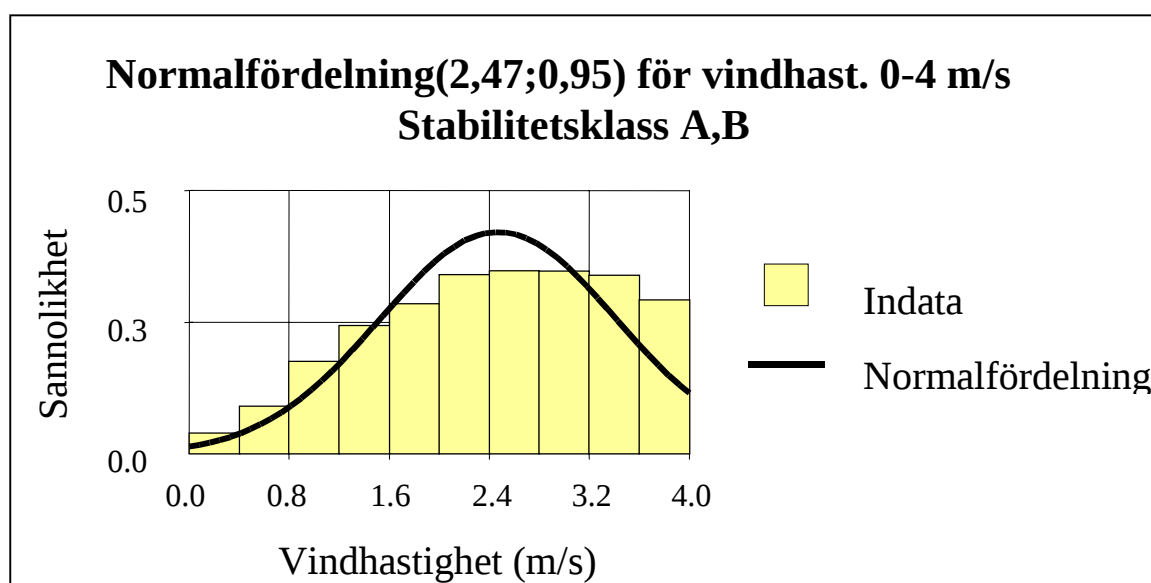
Vi väljer att använda de vinddata som kommer från Heleneholms brandstation (figur A2.3) eftersom dessa mätningar från miljökontorets sida anses säkrast.

De olika stabilitetsklasserna gäller endast för vissa vindhastigheter, se tabell A2.10. Därför får vindhastigheten fördelas olika för de olika klasserna.

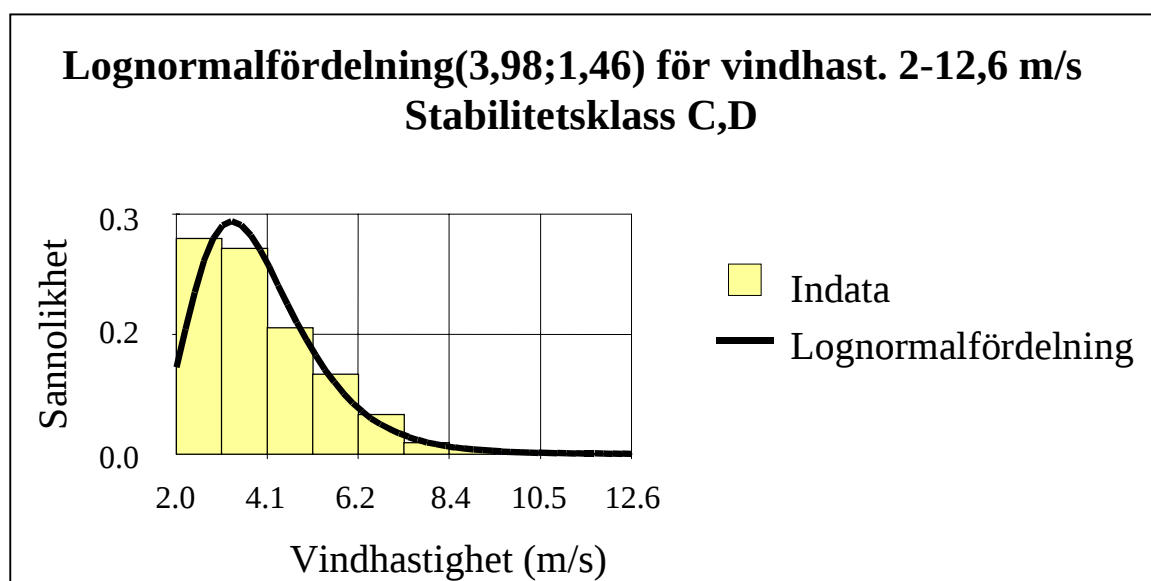
Tabell A2.10 Tabellen visar vilka vindhastigheter som gäller för de olika stabilitetsklasserna

Stabilitetsklass	vindhastighet
A+B	0-4
C+D	2-
E+F	0-3

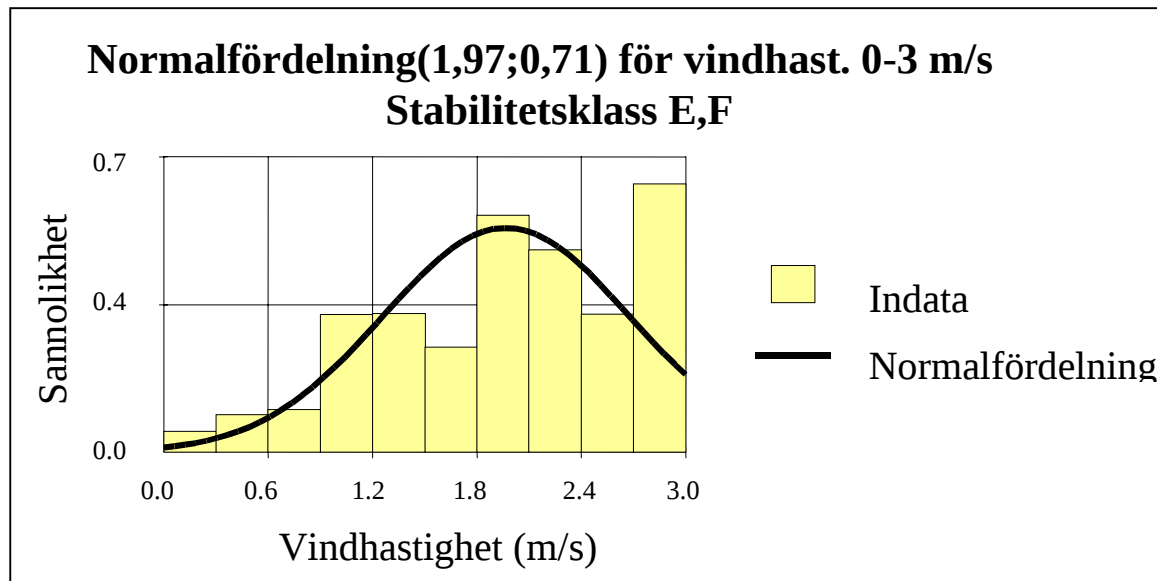
Sannolikhetsfördelningarna över vindhastigheten för stabilitetsklass B, D och F visas i figur A2.6-A2.8.



Figur A2.6 Fördelning av vindhastigheten för stabilitetsklass A och B.



Figur A2.7 Fördelning av vindhastigheten för stabilitetsklass C och D.



Figur A2.8 Fördelning av vindhastighet för stabilitetsklass E och F.

Referenser

/1/ Väg- och transportforskningsinstitutet, VTI-rapport 387:1-6 /94.

/2/ SJ, Listor över planerade vagnar till spår eller tåg tiden 981104-981106.

/3/ SJ, Terminalhanterade vagnar, Malmö godsbangård, 1997 och 1998 (t.o.m oktober).

/4/ Health and safety Commission, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances*, Sheffield 1991, ISBN 0118856766.

/5/ Cox A.W, Lees F.P, Ang M.L ,*Classification of hazardous locations*, Institution of Chemical Engineers, 1990, ISBN 0-85295258-9.

Appendix 3. Konsekvensberäkningar

A3.1 LC₅₀-beräkningar

För att beräkna koncentrationen LC₅₀ använder vi oss av probitfunktioner enligt FOA:s modell. Exponeringstiden är satt till 10 minuter och andningsfrekvensen 15 l/min motsvarar låg fysisk aktivitet. Formler och tabellvärden är hämtade från FOA /1/.

$$Pr = \alpha + \beta_1 \cdot \ln C + \beta_2 \cdot \ln t$$

Pr = ett mått på toxisk effektivitet

α, β_1, β_2 = regressionsfaktorer

C = koncentration

Denna formel kan också skrivas $Pr = \alpha + \beta_2 \cdot \ln (C^n \cdot t)$ där $n = \beta_1 / \beta_2$

För att få fram LC₅₀ sätts Pr = 0 och C löses ut, vilket ger oss uttrycket:

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

För att få koncentrationen i ppm multipliceras C enligt nedan:

$$C_{ppm} = C \frac{R \cdot T}{M \cdot P} = C \frac{0.082 \cdot 293}{M \cdot 1.0}$$

Resultatet och använda konstanter redovisas i tabell A3.1.

Tabell A3.1 Konstanter för beräkning av LC₅₀ samt dimensionerande koncentration i ppm.

	n	α	β_2	t [min]	C [mg/m ³]	M [kg/kgmol]	C [ppm]
Ammoniak	2.0	-19.72	1.0	10	6055.41	17	8558
Klorgas	2.0	-12.39	0.75	10	1222.57	71	414
Svaveldioxid	4.0	-25.36	0.75	10	2637.77	64	990

A3.2 Känslighetsanalys

För beräkning av riskavståndet används följande formel /2/:

$$C_{ppm} = \frac{Q}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u} \cdot \frac{R \cdot T}{M \cdot P} \cdot 10^6 \quad (3.1)$$

C_{ppm} = Koncentration [ppm]

Q = Utsläppshastighet [kg/s]

σ = Spridningsparametrar för y respektive z-led

u = Vindhastighet [m/s]

R = Allmänna gaskonstanten (0.082 (atm·m³)/(kg·mol·K))

T = Omgivningstemperaturen [K]

M = Molekylvikten för ammoniak (17 g/mol)

P = Atmosfärstrycket (1 atm)

Utsläppshastigheten, Q , beräknas enligt följande /1/:

$$Q = A \cdot C_d \sqrt{\frac{2 \cdot (P_0 - P_a)}{V_f}} \quad (3.2)$$

A = Hålarean [m²]

C_d = Kontraktionsfaktorn

P_0 = Trycket i tanken [Pa]

P_a = Atmosfärstrycket (1 atm)

V_f = Specifik volym hos vätskefas [m³/kg]

Spridningsparametrarna i y respektive z-led ges av /3/:

$$\sigma_y = a \cdot x^b \quad (3.3)$$

$$\sigma_z = c \cdot x^d \quad (3.4)$$

x = Riskavståndet [m]

a, b, c, d = Dimensionslösa variabler som styrs av väderstabilitetsfaktorn.

Vi löser ut x :

$$x = \sqrt[b+d]{\frac{A \cdot C_d \sqrt{\frac{2 \cdot (P_0 - P_a)}{V_f}}}{C_{ppm} \cdot \pi \cdot u \cdot a \cdot c} \cdot \frac{R \cdot T}{M \cdot P} \cdot 10^6} \quad (3.5)$$

Trycket i tanken beror av temperaturen som råder vid den aktuella tidpunkten. Trycket varierar med temperaturen enligt ångtryckskurvan för ämnet.

Riskområdets utbredning beror alltså av ett antal variabler som kan anta värden inom vissa rimliga gränser. För att undersöka vilka av parametrarna som inverkar mest på riskavståndet görs en enkel överslagsberäkning för varje variabel.

Vi ansätter ett värde som anses som mest sannolikt och sedan varierar vi parametrarna en efter en enligt tabell A3.2 för att se hur riskavståndet påverkas. Vi väljer min- och maxvärden efter vad som kan anses rimligt utifrån de förhållanden som råder i Malmö.

Tabell A3.2 Värden som parametrarna varierar inom.

Variabel	Normalvärde	Min	Max	Enhet
Temperatur	293	263	303	K
Tanktryck	857	280	1300	kPa
Håldiameter	0.05	0.01	0.5	m
Kontraktionstalet, C_d	0.6	0.5	1.0	-
Vindhastighet	3	0.5	12	m/s
Stabilitetsklass	D	A	F	-

Vi väljer att göra beräkningen för ammoniak och sätter koncentrationen till 2000 ppm. Konstanterna i tabell A3.3 används i beräkningarna.

Tabell A3.3 Konstanter som används i beräkningarna.

Konstanter	
V_f	0,001299 m ³ /kg
P_a	101325 Pa
R	8314
M	17 g/mol
C	2000 ppm

Resultaten från beräkningarna visas i tabell A3.4-A3.8. Kolumnen procent visar hur mycket parametern varierar jämfört med normalvärdet.

Tabell A3.4 Variation av temperaturen.

T	P_0	Q	x	procent
293	857000	40,2	1113,2	100
263	280000	19,6	676,9	60,8
308	1300000	50,6	1317,4	118,4

Tabell A3.5 Variation av C_d .

C_d	Q	x	procent
0,6	40,2	1113,2	100
0,5	33,5	997,7	89,6
1	67,0	1512,9	135,9

Tabell A3.6 Variation av vindhastigheten.

u	Q	x	procent
3	40,2	1113,2	100
0,5	40,2	3265,2	293,3
12	40,2	484,1	43,5

Tabell A3.7 Variation av Stabilitetsklassen.

Klass	a	b	c	d	Q	x	procent
D	0,128	0,905	0,2	0,76	40,2	1113,2	100
A	0,527	0,865	0,28	0,9	40,2	277,3	24,9
F	0,065	0,902	0,12	0,67	40,2	3590,3	322,5

Tabell A3.8 Variation av håldiametern.

D	A	Q	x	procent
0,05	0,00197	40,2	1113,2	100
0,01	7,9E-05	1,6	161,0	14,5
0,5	0,19635	4019,3	17691,3	1589,3

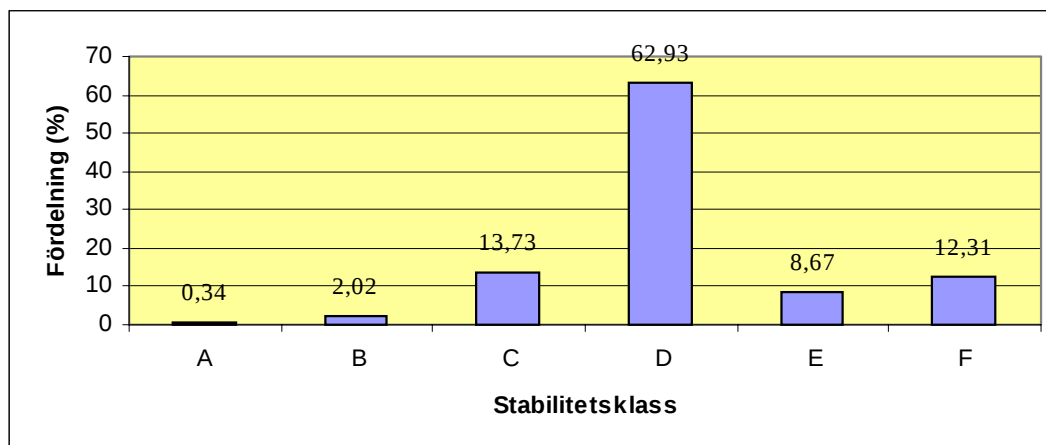
En sammanställning av resultatet visas i tabell A3.9. Man kan se att temperaturen påverkar riskavståndet minst och att håldiametern, dvs storleken på utsläppet, har störst inverkan.

Tabell A3.9 Sammanställning av beräkningsresultaten.

Variabel	Min (%)	Max (%)
Temperatur	61	118
C _d	90	136
Vindhastighet	293	44
Stabilitetsklass	25	323
Håldiameter	14	1589

A3.3 Stabilitetsklass

Stabilitetsklasserna A-F beror i huvudsak på fyra parametrar: tid på dygnet, mängden moln, vindhastighet och årstid. Mätningar från Heleneholms brandstation i Malmö under åren 1995-1998 gav oss fördelningen över stabilitetsklasserna enligt figur A3.1.



Figur A3.1 Fördelning över stabilitetsklasserna i Malmö under åren 1995-1998.

A = Mycket ostabilt.

B = Ostabilt

C = Lite ostabilt

D = Neutralt. (Används oftast då man ej vet väderförhållanden.)

E = Stabilt

F = Mycket stabilt

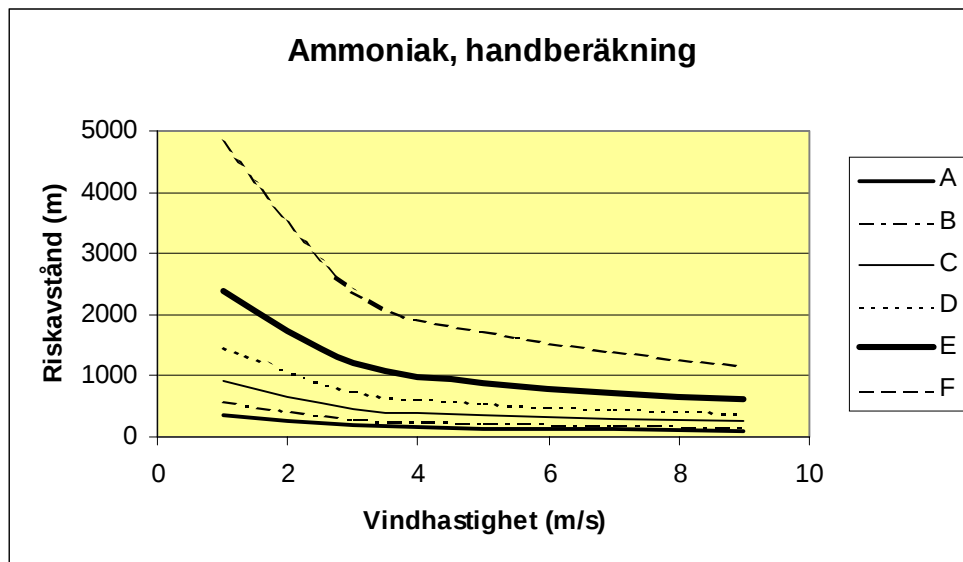
På grund av tidsbrist begränsar vi oss till att endast räkna på tre klasser. Eftersom riskavstånden succesivt blir längre från A till F kan vi slå ihop klasserna enligt följande och fortfarande vara på säkra sidan:

B = A och B

D = C och D

F = E och F

Det är intressant att titta på stabilitetsklassens inverkan på riskavståndet. Enligt känslighetsanalysen i A3.2 påverkar stabiliteten väsentligen längden på riskavståndet. Detta verifieras av handberäkningar gjorda på alla klasser. Resultatet redovisas i figur A3.2. Diagrammet visar riskavståndet som funktion av vindhastigheten vid en håldiameter på 8 cm. Ju större håldiameter desto större blir skillnaden mellan klasserna.



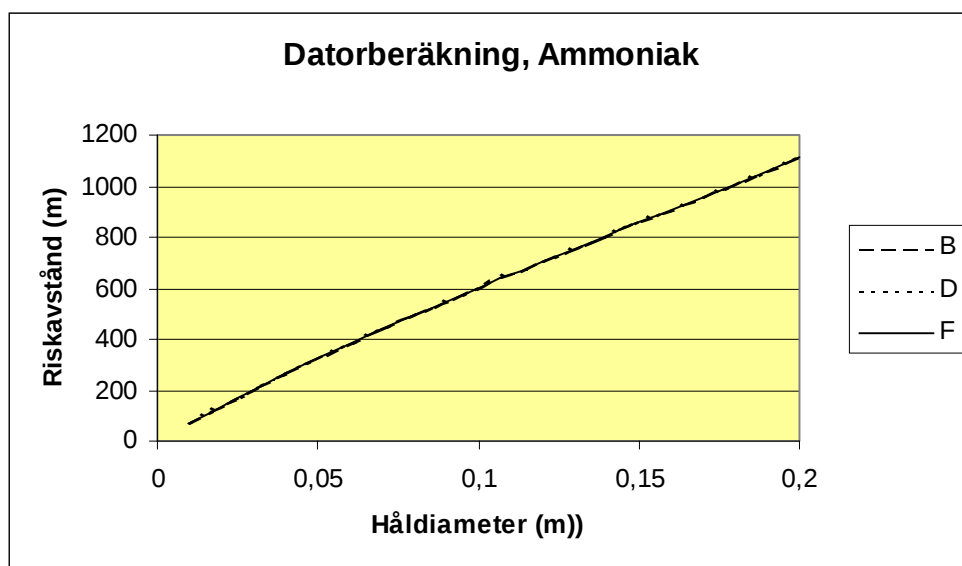
Figur A3.2 Stabilitetsklassens inverkan på riskavståndet vid handberäkning.

En liknande jämförelse gjordes för datorberäkningarna över stabilitetsklass B,D och F. Eftersom stabilitetsklasserna råder under vissa bestämda vindförhållanden kan inte alla klasser kombineras med alla vindhastigheter. Tabell A3.10 visar inom vilka intervall de olika klasserna är giltiga.

Tabell A3.10 Tabellen visar vilka vindhastigheter som gäller för de olika stabilitetsklasserna

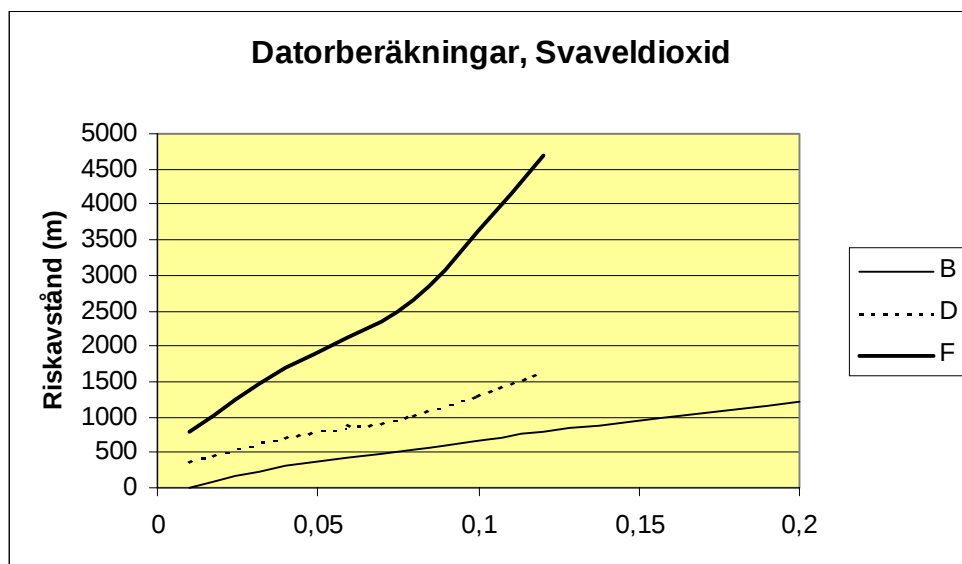
Stabilitetsklass	vindhastighet
A+B	0-4
C+D	2-
E+F	0-4

Vi väljer ut en vindhastighet som gäller för alla tre klasserna, 3 m/s. För att jämföra klasserna på ett giltigt sätt plottas riskavståndet för denna vindhastighet och håldiameter 1, 4, 8, 12 och 20 cm. För ammoniak blir det exakt samma värden för alla klasser. Resultatet för Ammoniak redovisas i figur A3.3.



Figur A3.3 Stabilitetsklassens inverkan på riskavståndet för ammoniak vid datorberäkning. Vindhastighet 3 m/s.

För Svaveldioxid däremot skiljer de sig väsentligt. Detta illustreras i figur A3.4.



Figur A3.4 Stabilitetsklassens inverkan på riskavståndet för svaveldioxid vid datorberäkning. Vindhastighet 3 m/s.

För ammoniak beräknas riskavståndet endast för en stabilitetsklass då det inte skiljer något mellan klasserna och Vi väljer att räkna på klass D som är neutral skiktning. Det samma gäller för Gasol.

Diagrammen visar att för svaveldioxid har stabilitetsklassen stor inverkan även vid datorberäkningar. Detta kan inte bortses ifrån utan riskavståndet beräknas för de tre klasserna B, D och F. Det samma gäller för Klor.

A3.4 Jämförelse mellan handberäkning och datorberäkning

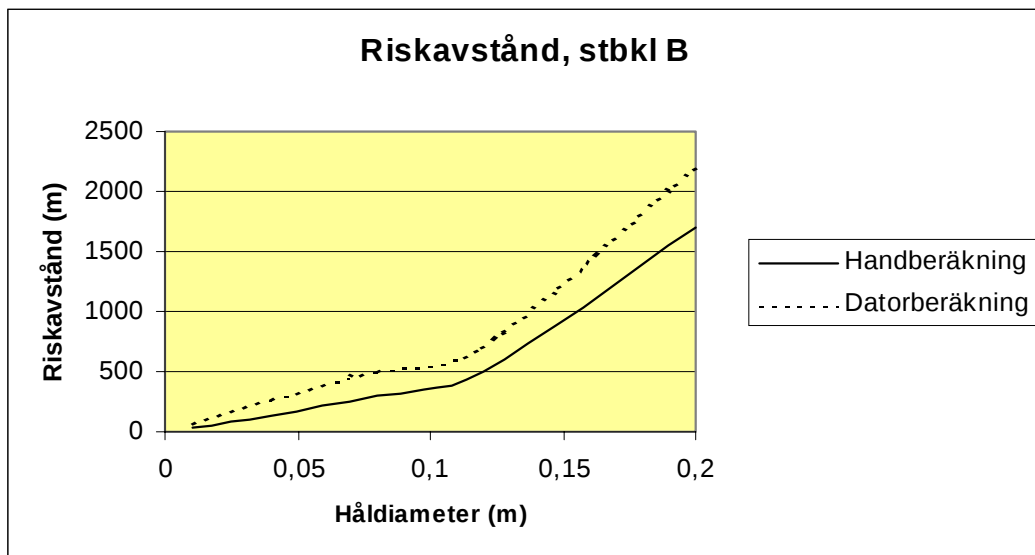
För att kunna välja mellan att utföra konsekvensberäkningarna med hjälp av handberäkningsmodeller eller datorprogram gör vi en jämförande analys av metoderna. Analysen genomförs för ammoniak där riskavståndet beräknats för LC_{50} -värdet, 8500 ppm. Vi sätter vindhastigheten till 3 m/s och varierar håldiametern och stabilitetsklass enligt följande:

$D = 1, 4, 8, 12, 20$ cm

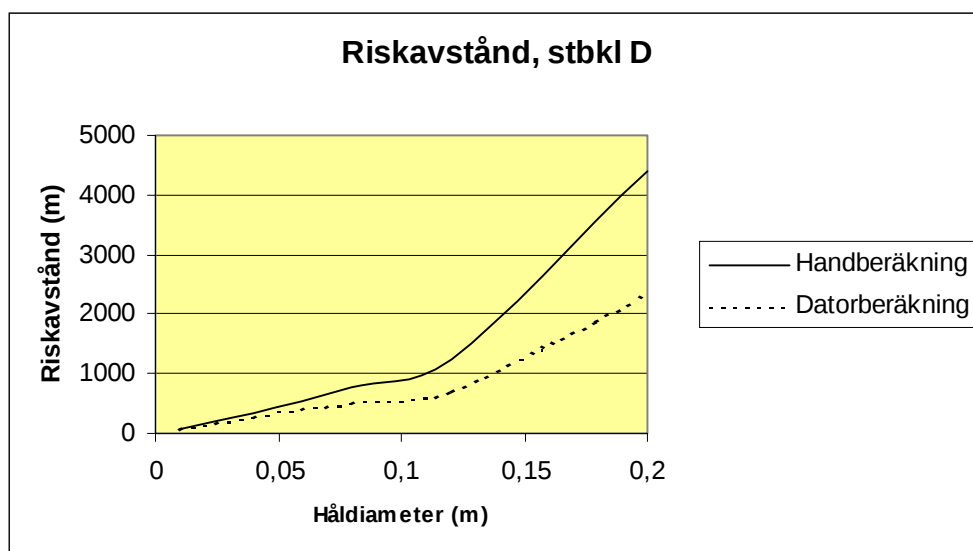
$U = 3$ m/s

Stabilitetsklass = B, D, F

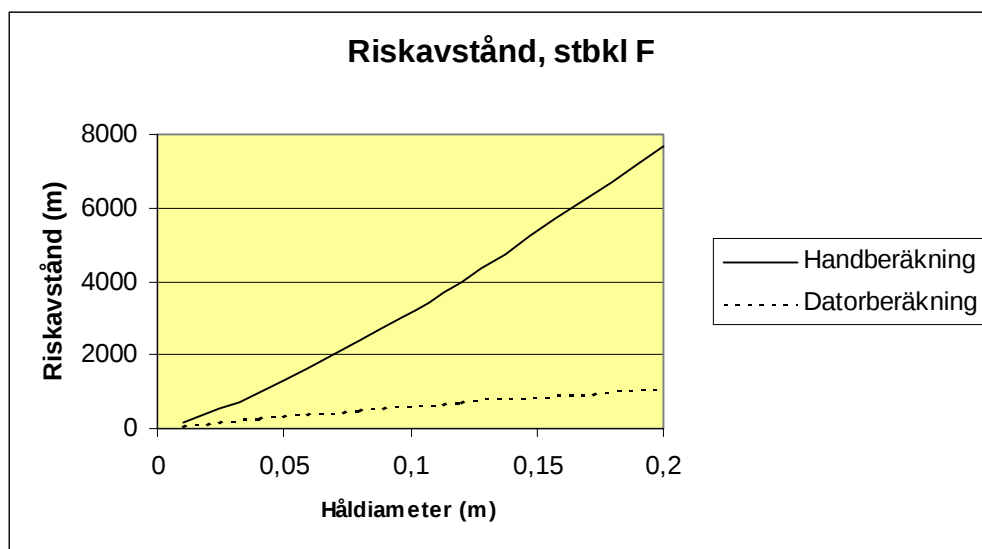
I handberäkningarna används ekv. 3.1-3.4 och datorberäkningarna utförs i programmet Chemsplus. Figur A3.5-A3.7 visar jämförelsen av resultaten från de båda metoderna för de tre stabilitetsklasserna.



Figur A3.5 Jämförelse mellan hand- och datorberäkningar för stabilitetsklass B.



Figur A3.6 Jämförelse mellan hand- och datorberäkningar för stabilitetsklass D.



Figur A3.7 Jämförelse mellan hand- och datorberäkningar för stabilitetsklass F.

Diagrammen visar att för stabilitetsklass B, som ger ett kortare riskavstånd, stämmer beräkningarna någorlunda överens. För D och F ger handberäkningarna ett mycket högre riskavstånd och i flera fall orimligt höga värden. Detta kan förklaras med att FOA's spridningsmodell gäller för gaussisk spridning, vilket innebär en förenkling av verkligheten. Man antar att gasen efter en kortare tid blandas ut så mycket med luften att den inte längre är tyngre än denna. Om den dimensionerande koncentrationen är väldigt hög räknar Chemsplus med tunggasspridning och då spelar inte stabilitetsklassen in. Körningarna i Chemsplus visar att passiv spridning inträffar långt från källan och den gaussiska spridningsmodellen kan då inte anses giltig.

A3.5 Regressionsanalys

Ett regressionsuttryck för riskavståndet skall tas fram som innehåller parametrarna håldiameter och vindhastighet. Uttrycket skall vara av typen:

$$x_{LC_{50}} = K \cdot D^{n_1} \cdot u^{n_2} \quad (3.6)$$

Där K , n_1 och n_2 är konstanter. Vi tar fram en responsyta genom att beräkna riskavståndet med hjälp av datorprogrammet Chemsplus. Håldiametern och vindhastigheten varieras och x beräknas för varje värde.

För att göra uttrycket linjärt logaritmeras D , u och x . Då fås uttrycket på formen:

$$\ln x_{LC_{50}} = \ln K + n_1 \cdot \ln D + n_2 \cdot \ln u \quad (3.7)$$

Konstanterna K , n_1 och n_2 räknas sedan fram av datorprogrammet Excel genom regressionsanalys och det sökta sambandet tas fram.

In- och utdata för respektive ämne finns redovisade nedan.

Ammoniak

Indata

Enligt undersökningen av stabilitetsklassens betydelse i appendix 3.3 har denna ingen eller liten inverkan på spridningen av ammoniak. Därför räknar vi endast med stabilitetsklass D.

Tankens storlek är inte heller den av betydelse för längden på riskavståndet utan storleken på utsläppshålet blir dimensionerande. Däremot har tankstorleken inverkan på under hur lång tid utsläppet varar. Vi väljer dimensionerna på tanken efter uppgifter från Helsingborgs brandförsvär, ursprungligen hämtade från Hydro /4/. Tanken antas vara full eftersom olyckan sker under transport. Fyllnadsgraden sätts till 80%, vilket är ungefär maximalt för en tryckkondenserad gas.

Skrovlighetslängden, Z_0 , är ett mått på ytskrovligheten hos underlaget. Denna har också visat sig inverka väldigt lite på riskavståndet vid beräkning i Chemsplus. Det är relativt öppen terräng runt utsläppskällan, men vagnar och containrar skapar ändå viss turbulens. Därför har Z_0 satts till 0.1, vilket egentligen motsvarar jordbruksområde, men som här approximeras som ett mellanting mellan gräsmatta och stad. Exempel på olika skrovlighetslängder finns presenterade i tabell A3.11.

Tabell A3.11 Olika värden på skrovlighetslängder

Underlag	Z_0
Slät isyta	~0.001 mm
Snöyta, öppet landskap	~1 mm
Gräsmatta	~1 cm
Jordbruksområde	~1 dm
Gles skog/ mindre stad	~0.5 m
Stor skog/stad	~1 m

Vindhastigheten, u ges värdena 1,3,5,7, och 9 m/s. Håldiametern ges värdena 1,4,8,12 och 20. Övriga parametrarna hålls konstanta och ges värden enligt tabell A3.12.

Tabell A3.12 Konstanter vid beräkning av riskavståndet för ammoniak i Chemsplus.

Konstanter	
D _{tank}	2.6 m
L _{tank}	14.8 m
T	288 K
P _a	101325 Pa
P ₀	700 kPa
M	17 g/mol
C _d	~0.6
Stabilitet	D
Z ₀	0.1
C	LC ₅₀ = 8500 ppm

Utdata

Tabell A3.13 visar resultatet av spridningssimuleringarna i Chemsplus.

Tabell A3.13 Riskavståndet för ammoniak framtaget i Chemsplus.

D (m)	u (m/s)	Q (kg/s)	X (m)
0,01	1	1,36	115,52
0,01	3	1,36	73,39
0,01	5	1,36	59,74
0,01	7	1,36	53,45
0,01	9	1,36	49,78
0,04	1	21,8	475,27
0,04	3	21,8	263,25
0,04	5	21,8	213,02
0,04	7	21,8	186,87
0,04	9	21,8	170,75
0,08	1	87,1	983
0,08	3	87,1	492,24
0,08	5	87,1	402,69
0,08	7	87,1	351,36
0,08	9	87,1	318,6
0,12	1	196	1430
0,12	3	196	706,32
0,12	5	196	585,8
0,12	7	196	508,3
0,12	9	545	459,81
0,2	1	545	2310
0,2	3	545	1110,79
0,2	5	545	937,04
0,2	7	545	816,23
0,2	9	545	733,82

Regressionsanalysen utförs av Excel och konstanterna tas fram av programmet. R-kvadrat är ett mått på hur hög korrelationen är mellan parametrarna. För att få ett tillförlitligt samband skall R² ligga nära 1. R² och Konstanterna redovisas i tabell A3.14.

Tabell A3.14 Utdata vid regressionsanalysen av riskavståndet för ammoniak.

R^2	0,996794
K	9270.8
n_1	0,927651
n_2	-0,48013

Nu kan uttrycket för riskavståndet skrivas som:

$$x = 9270.8 \cdot D^{0.928} \cdot u^{-0.480} \quad (3.8)$$

Svaveldioxid

Indata

Tankdimensionerna är även här hämtade från /4/ och kommer ursprungligen från Kemira Kemi.

Enligt undersökningen av stabilitetsklassens betydelse i appendix 3.3 har denna relativt stor inverkan på spridningen av svaveldioxid. Därför räknar vi med de tre olika stabilitetsklasserna, B,D och F.

I appendix 3.3 konstateras också att stabilitetsklasserna råder under vissa bestämda vindförhållanden. Tabell A3.15 visar inom vilka intervall de olika klasserna är giltiga.

Tabell A3.15 Tabellen visar vilka vindhastigheter som gäller för de olika stabilitetsklasserna

Stabilitetsklass	vindhastighet
B	0-4
D	2-
F	0-4

Det betyder att u varierar från 0-4 m/s vid stabilitetsklass B och F och från 2 m/s och uppåt vid stabilitetsklass D. Håldiametern ges som tidigare värdena 1,4,8,12 och 20 cm.

Övriga parametrar hålls konstanta och ges värden enligt tabell A3.16.

Tabell A3.16 Konstanter vid beräkning av riskavståndet för svaveldioxid i Chemsplus.

Konstanter	
D _{tank}	2.3 m
L _{tank}	11.9 m
T	288 K
P _a	101325 Pa
P ₀	279000 Pa
M	64 g/mol
C _d	~0.6
Stabilitet	B,D,F
Z ₀	0.1
C	LC ₅₀ = 1000 ppm

Utdata

Resultaten från spridningssimuleringarna i Chemsplus redovisas i tabell A3.17-A3.18.

Tabell A3.17 Riskavståndet för svaveldioxid, stabilitetsklass D, framtaget i Chemsplus.

D (m)	u (m/s)	Q (kg/s)	X _D (m)
0,01	3	1,15	108
0,01	5	1,15	98,9
0,01	7	1,15	94,9
0,01	9	1,15	89,8
0,01	12	1,15	85,2
0,04	3	18,4	361
0,04	5	18,4	334
0,04	7	18,4	321
0,04	9	18,4	310
0,04	12	18,4	293
0,08	3	73,7	695
0,08	5	73,7	648
0,08	7	73,7	623
0,08	9	73,7	608
0,08	12	73,7	581
0,12	3	166	1020
0,12	5	166	954
0,12	7	166	922
0,12	9	166	902
0,12	12	166	867
0,2	3	460	1640
0,2	5	460	1550
0,2	7	460	1500
0,2	9	460	1480
0,2	12	460	1430

Tabell A3.18 Riskavståndet för svaveldioxid, stabilitetsklass B och F, framtaget i Chemsplus.

D (m)	u (m/s)	Q (kg/s)	X _B (m)	X _F (m)
0,01	0,5	1,15	154	292
0,01	1	1,15	113	207
0,01	2	1,15	99	182
0,01	3	1,15	88,8	180
0,01	4	1,15	82,8	180
0,04	0,5	18,4	629	1500
0,04	1	18,4	411	993
0,04	2	18,4	322	802
0,04	3	18,4	297	797
0,04	4	18,4	280	793
0,08	0,5	73,7	1270	3490
0,08	1	73,7	829	2250
0,08	2	73,7	580	1730
0,08	3	73,7	545	1700
0,08	4	73,7	506	1740
0,12	0,5	166	1900	5760
0,12	1	166	1240	3770
0,12	2	166	867	2720
0,12	3	166	783	2650
0,12	4	166	737	2680
0,2	0,5	460	3100	11300
0,2	1	460	2080	7210
0,2	2	460	1390	5080
0,2	3	460	1220	4700
0,2	4	460	1180	4620

Resultaten från regressionsanalysen redovisas i tabell A3.19.

Tabell A3.19 Utdata vid regressionsanalysen av riskavståndet för svaveldioxid.

Stabilitetsklass	B	D	F
R ²	0,993705	0,999284	0,994439
K	8946,0	8412,7	45326,6
n ₁	0,923008	0,925607	1,147098
n ₂	-0,41143	-0,13022	-0,39749

Nu kan regressionsuttrycken skrivas som:

$$x_B = 8946.0 \cdot D^{0.923} \cdot u^{-0.411} \quad (3.9)$$

$$x_D = 8412.7 \cdot D^{0.926} \cdot u^{-0.130} \quad (3.10)$$

$$x_F = 45326.6 \cdot D^{1.147} \cdot u^{-0.397} \quad (3.11)$$

Klor*Indata*

Tankdimensionerna är hämtade från /4/ och kommer ursprungligen från Eka Chemicals.

Stabilitetsklassen har även för Klor stor inverkan och därför räknar vi med B, D och F med respektive vindhastighetsintervall.

Övriga parametrar ges värden enligt tabell A3.20.

Tabell A3.20 Konstanter vid beräkning av riskavståndet för klor i Chemsplus.

Konstanter	
D_{tank}	2.3 m
L_{tank}	11.9 m
T	288 K
P_a	101325 Pa
P_0	586000 Pa
M	70 g/mol
C_d	~0.6
Stabilitet	B,D,F
Z_0	0.1
C	LC ₅₀ = 400 ppm

Utdata

Resultaten från spridningssimuleringarna i Chemsplus redovisas i tabell A3.21-A3.23.

Tabell A3.21 Riskavstånd för klor, stabilitetsklass B, framtaget i Chemsplus.

D (m)	u (m/s)	Q (kg/s)	X_B (m)
0,01	0,5	1,85	245
0,01	1	1,85	180
0,01	2	1,85	159
0,01	3	1,85	148
0,01	4	1,85	136
0,04	0,5	29,7	1020
0,04	1	29,7	679
0,04	2	29,7	540
0,04	3	29,7	517
0,04	4	29,7	494
0,08	0,5	119	2070
0,08	1	119	1370
0,08	2	119	1020
0,08	3	119	969
0,08	4	119	941
0,12	0,5	267	3120
0,12	1	267	2080
0,12	2	267	1500
0,12	3	267	1390
0,12	4	267	1360
0,2	0,5	742	5220
0,2	1	742	3510

0,2	2	742	2470
0,2	3	742	2210
0,2	4	742	2160

Tabell A3.22 Riskavståndet för klor, stabilitetsklass D, framtaget i Chemsplus.

D (m)	u (m/s)	Q (kg/s)	X _D (m)
0,01	2	1,85	228
0,01	5	1,85	196
0,01	7	1,85	173
0,01	9	1,85	156
0,01	12	1,85	142
0,04	2	29,7	886
0,04	5	29,7	824
0,04	7	29,7	738
0,04	9	29,7	668
0,04	12	29,7	592
0,08	2	119	1760
0,08	5	119	1690
0,08	7	119	1530
0,08	9	119	1390
0,08	12	119	1230
0,12	2	267	2720
0,12	5	267	2540
0,12	7	267	2340
0,12	9	267	2130
0,12	12	267	1890
0,2	2	742	4610
0,2	5	742	4260
0,2	7	742	4000
0,2	9	742	3680
0,2	12	742	3260

Tabell A3.23 Riskavstånd för klor, stabilitetsklass F, framtaget i Chemsplus.

D (m)	u (m/s)	Q (kg/s)	X _F (m)
0,01	0,5	1,85	986
0,01	1	1,85	740
0,01	1,5	1,85	705
0,01	2	1,85	671
0,01	3	1,85	603
0,04	0,5	29,7	5250
0,04	1	29,7	3750
0,04	1,5	29,7	3490
0,04	2	29,7	3300
0,04	3	29,7	3050
0,08	0,5	119	12900
0,08	1	119	9020
0,08	1,5	119	7850
0,08	2	119	7280
0,08	3	119	6810
0,12	0,5	267	21800
0,12	1	267	15900
0,12	1,5	267	13100
0,12	2	267	12200
0,12	3	267	10900
0,2	0,5	742	44700
0,2	1	742	30100
0,2	1,5	742	24700
0,2	2	742	22200
0,2	3	742	19500

Resultaten från regressionsanalysen redovisas i tabell A3.24.

Tabell A3.24 Utdata vid regressionsanalysen av riskavståndet för klor.

Stabilitetsklass	B	D	F
R ²	0,993987	0,997691	0,997444
K	16129,4	30077,7	203621,9
n ₁	0,950429	1,035822	1,203827
n ₂	-0,36741	-0,20868	-0,35601

Nu kan regressionsuttrycken skrivas som

$$X_B = 16129,4 \cdot D^{0.950} \cdot u^{-0.367}$$

$$X_D = 30077,7 \cdot D^{1.036} \cdot u^{-0.209}$$

$$X_F = 203621,9 \cdot D^{1.204} \cdot u^{-0.356}$$

Gasol

Indata

Vi räknar på $\frac{1}{4}$ av under brännbarhetsgränsen. Stabilitetsklassen har liksom hos ammoniak ingen inverkan då riskavstånden blir så korta.

Övriga parametrar ges värden enligt tabell A3.25.

Tabell A3.25 Konstanter vid beräkning av riskavståndet för gasol i Chemsplus.

Konstanter	
D_{tank}	2.3 m
L_{tank}	11.9 m
T	288 K
P_a	101325 Pa
P_0	731000 Pa
C_d	~0.6
Stabilitet	D
Z_0	0.1

Utdata

Resultaten från spridningssimuleringarna i Chemsplus redovisas i tabell A3.26.

Tabell A3.26 Riskavståndet för gasol framtaget i Chemsplus.

D (m)	u (m/s)	X (m)
0,01	2	26,84
0,01	5	16,48
0,01	7	14
0,01	9	12,58
0,01	12	11,26
0,04	2	97,37
0,04	5	61,4
0,04	7	51,46
0,04	9	45,34
0,04	12	39,99
0,08	2	180,47
0,08	5	119,59
0,08	7	99,33
0,08	9	87,1
0,08	12	75,92
0,12	2	270,68
0,12	5	176,73
0,12	7	146,53
0,12	9	128,48
0,12	12	110,97
0,2	2	469,85
0,2	5	287,66
0,2	7	239,55
0,2	9	207,89
0,2	12	178,98

Resultaten från regressionsanalysen redovisas i tabell A3.27.

Tabell A3.27 Utdata vid regressionsanalysen av riskavståndet för gasol.

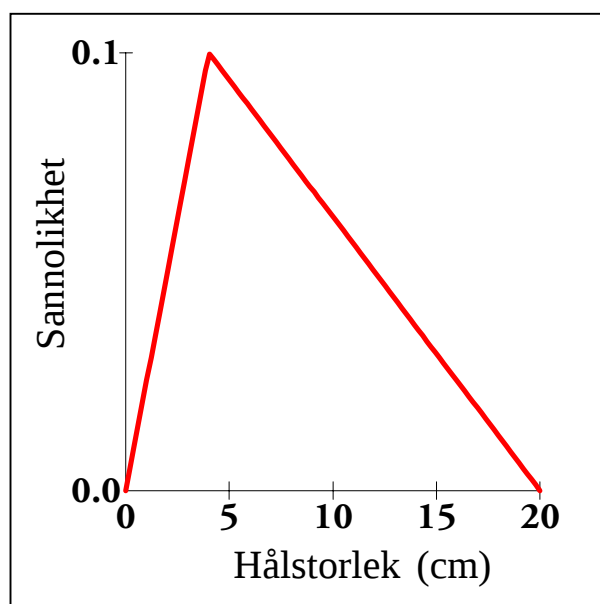
R ²	0,999649
K	2874,7
n ₁	0,941455
n ₂	-0,50327

Nu kan regressionsuttrycket skrivas som:

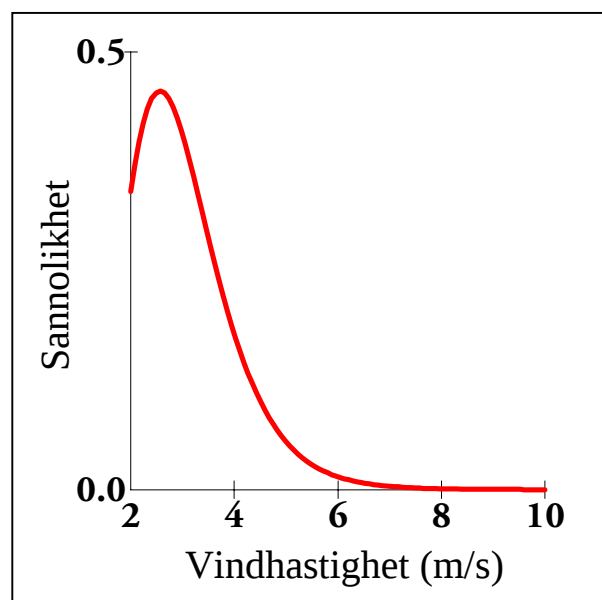
$$X = 2874,7 \cdot D^{0.941} \cdot u^{-0.503}$$

A3.6 Simuleringar i @Risk

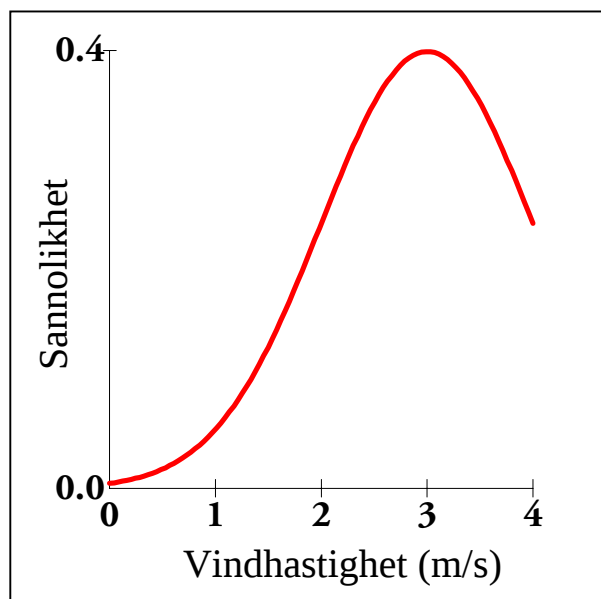
Uttrycken för riskavståndet som funktion av håldiametern och vindhastigheten används för att få fram en sannolikhetsfördelning över riskavståndet. I datorprogrammet @Risk fortplantas osäkerheterna i indata och avspeglar dessa som en fördelning av utdata. Håldiametern och vindhastigheten definieras som sannolikhetsfördelningar framtagna enligt appendix 2.2. Figur A3.8-A3.10 visar hur parametrarna definierats i @Risk. Vindhastigheten fördelas olika för de olika stabilitetsklasserna eftersom dessa endast förekommer vid vissa vindhastigheter (se appendix 3.2).



Figur A3.8 Håldiametern triangulärfördelas.

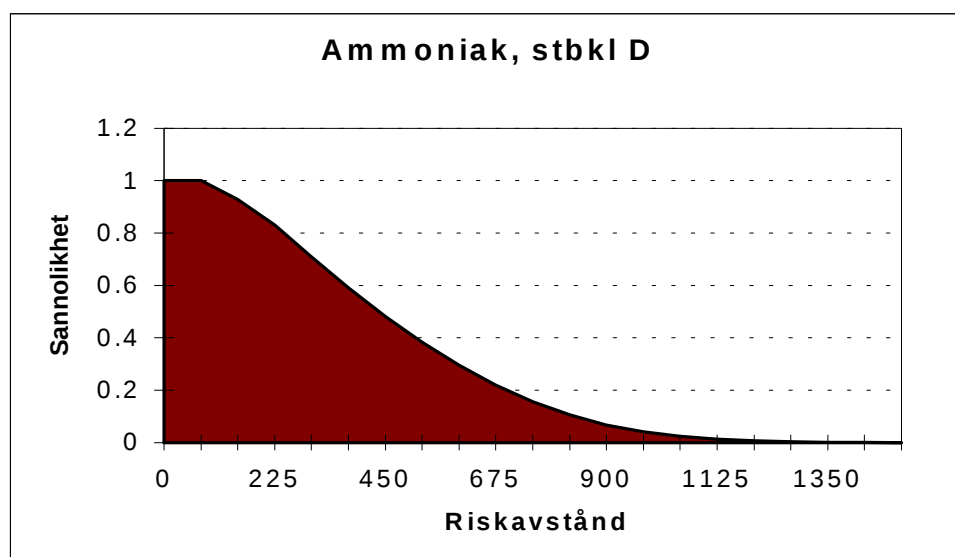


Figur A3.9 Vindhastigheten för stabilitetsklass D lognormalfördelas..

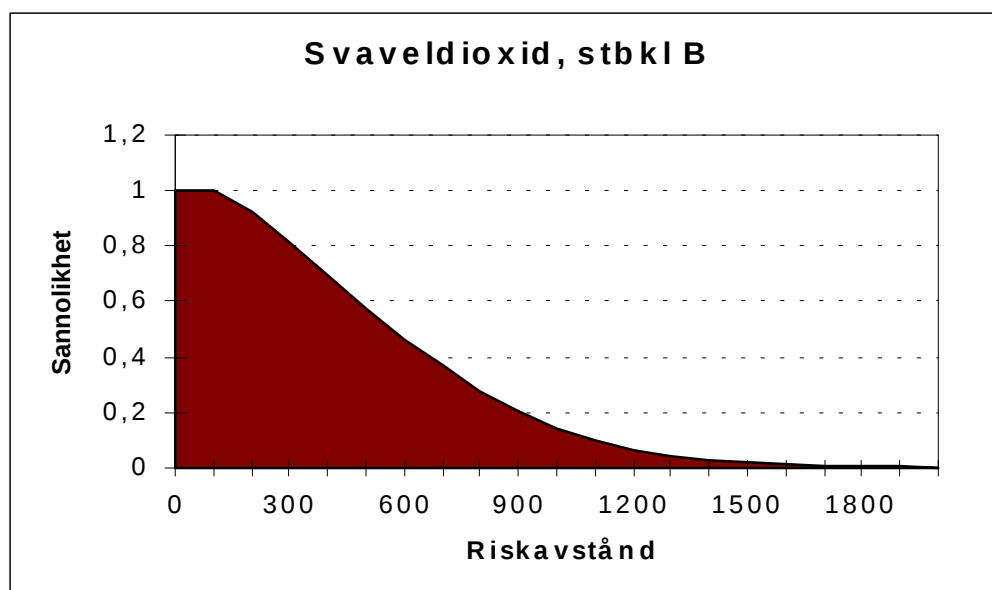


Figur A3.10 Vindhastigheten för stabilitetsklass B och F normalfördelas.

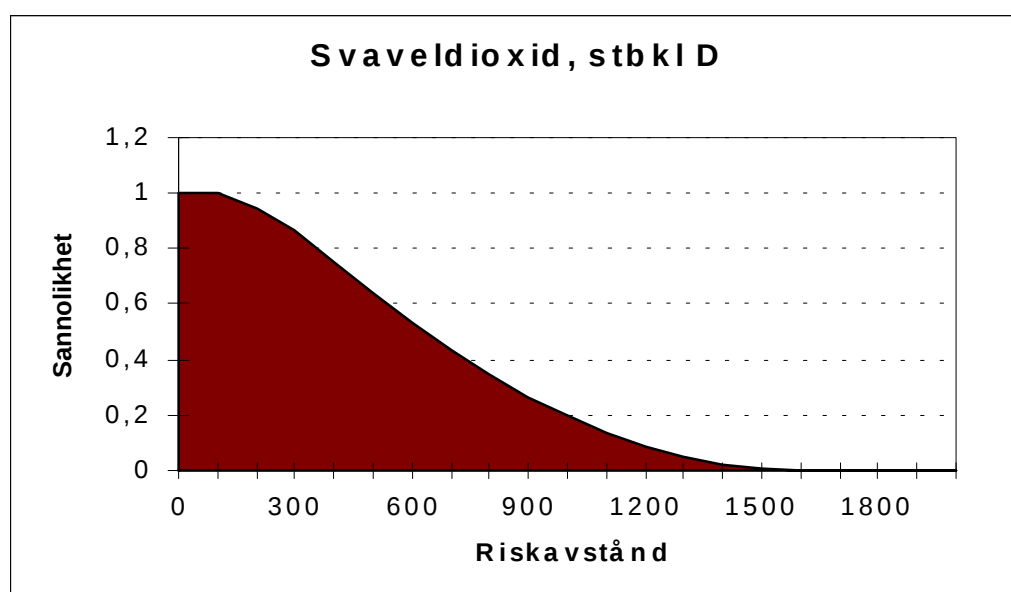
Resultaten fås som fördelningar av riskavståndet. Dessa redovisas i figur A3.11-A3.18.



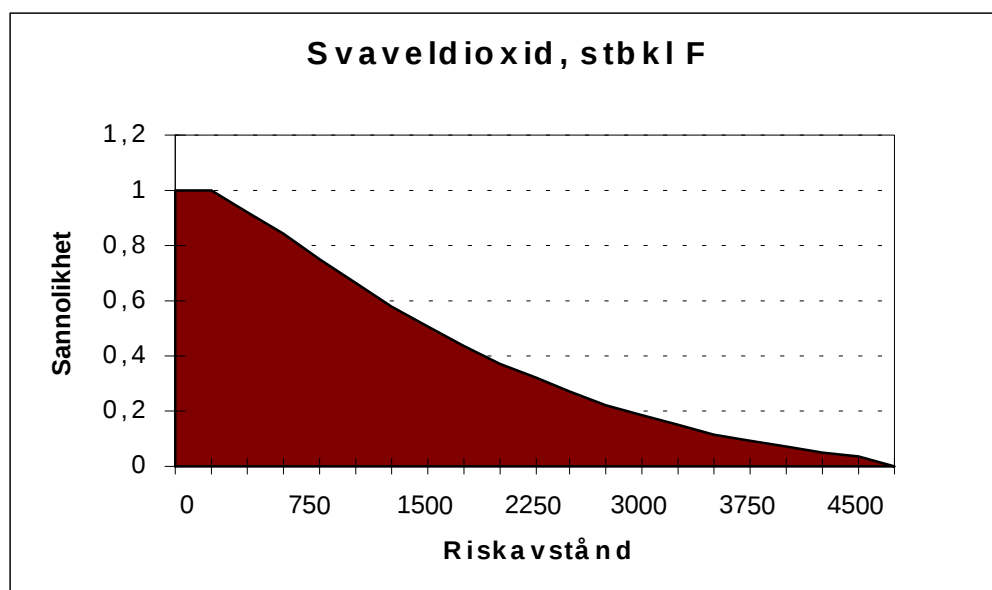
Figur A3.11 Sannolikhetsfördelning över riskavståndet för ammoniak.



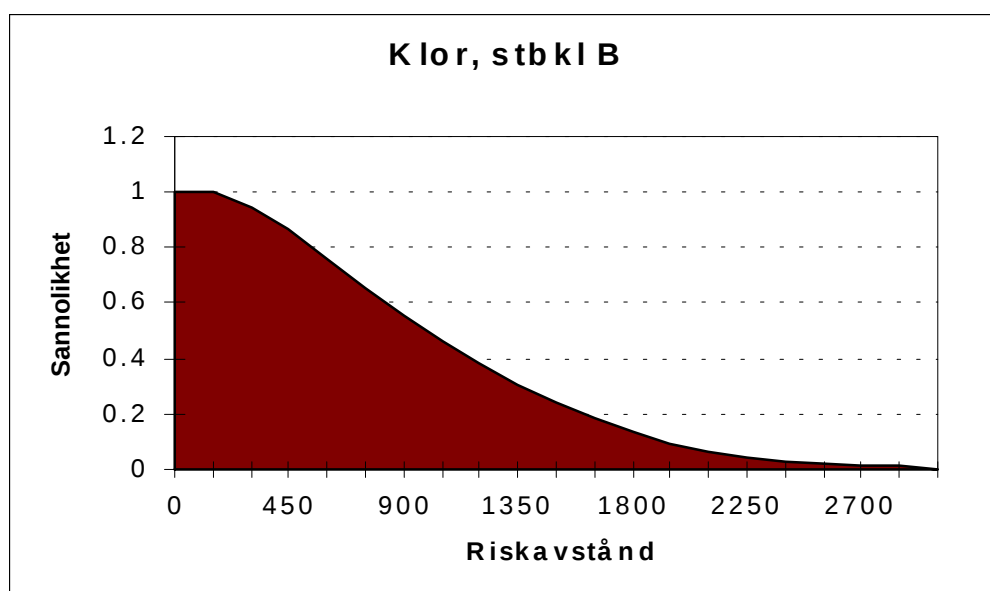
Figur A3.12 Sannolikhetsfördelning över riskavståndet för svaveldioxid, stabilitetsklass B.



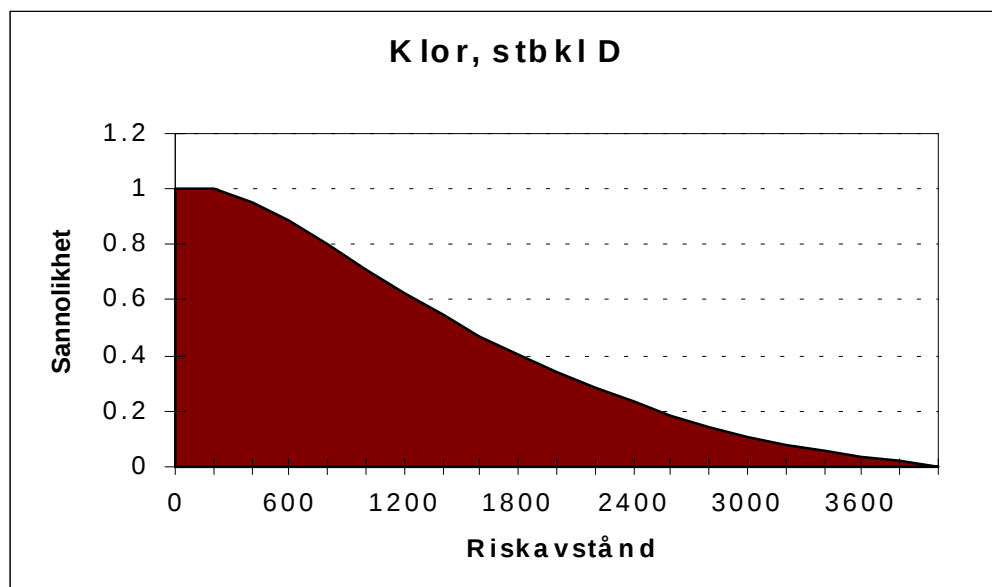
Figur A3.13 Sannolikhetsfördelning över riskavståndet för svaveldioxid, stabilitetsklass D.



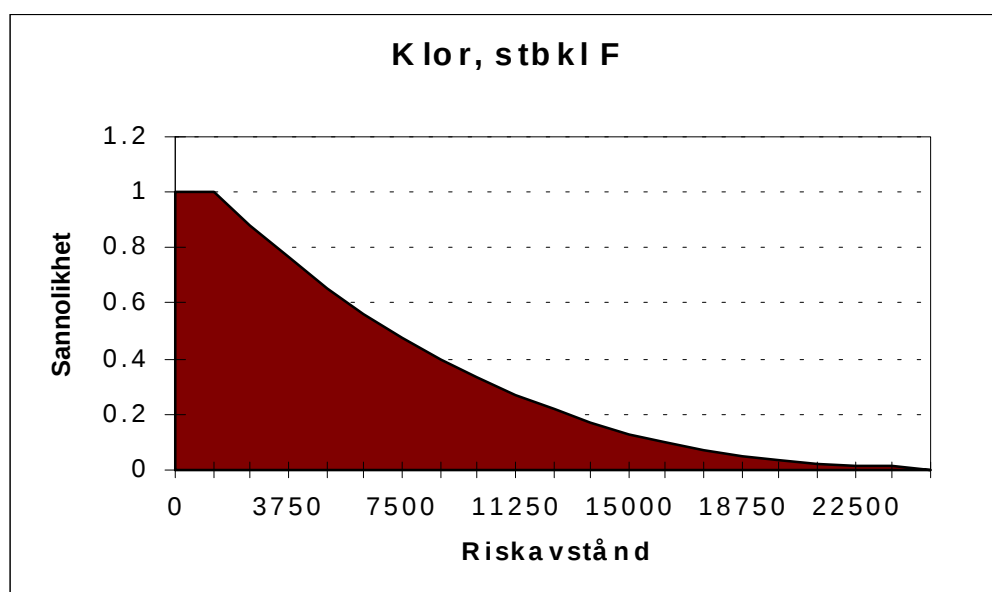
Figur A3.14 Sannolikhetsfördelning över riskavståndet för svaveldioxid, stabilitetsklass F.



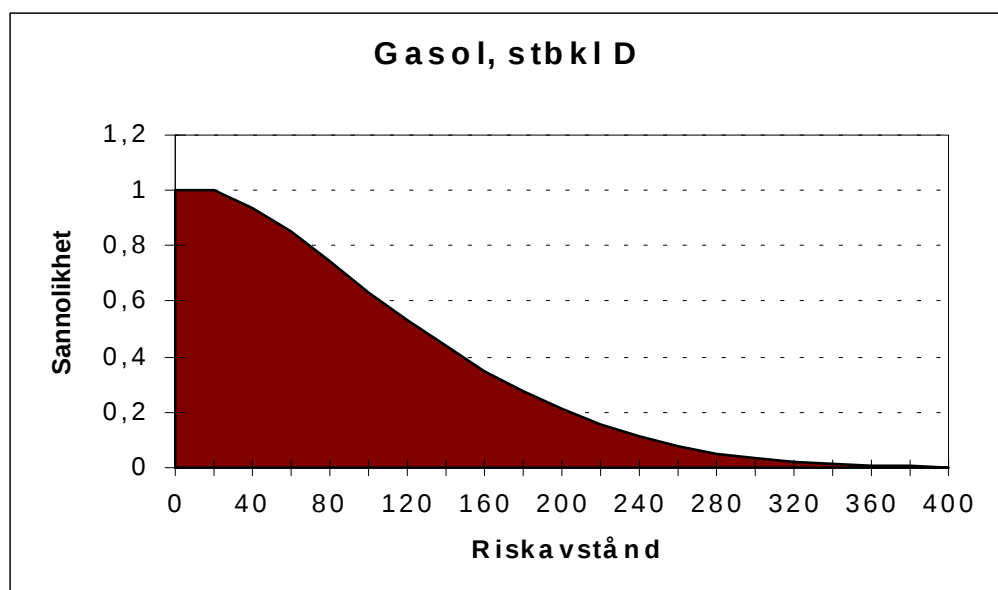
Figur A3.15 Sannolikhetsfördelning över riskavståndet för klor, stabilitetsklass B.



Figur A3.16 Sannolikhetsfördelning över riskavståndet för klor, stabilitetsklass D.



Figur A3.17 Sannolikhetsfördelning över riskavståndet för klor, stabilitetsklass F.



Figur A3.18 Sannolikhetsfördelning över riskavståndet för Gasol.

A3.7 BLEVE-beräkningar

Värden för eldklotets diameter och varaktighet har tagits fram av flera olika personer. Roberts (1982) /5/ och Pape et al. (1988) /6/ presenterade följande ekvationer.

$$D_c = 5.8 \cdot m_f^{1/3} = 5.8 \cdot 45000^{1/3} = 206 \text{ m}$$

$$t_c = 0.45 \cdot m_f^{1/3} \quad \text{för } m_f < 30000 \text{ kg}$$

$$t_c = 2.6 \cdot m_f^{1/6} \quad \text{för } m_f > 30000 \text{ kg}$$

vilket ger oss $t_c = 15.5$ sekunder.

Fullskaleförsök visar att emitterad effekt (E) ligger mellan 320- 370 kW/m² för BLEVE med massa > 1000 kg /7/. Det är då rimligt att sätta den till 350 kW/m².

Även de formler som beskriver atmosfärisk transmissionsförmåga varierar, vi väljer att använda Mundan, K. S. (1984) /8/.

$$\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c$$

α_w = absorptionsfaktor för vatten ånga (från diagram)

α_c = absorptionsfaktor för koldioxid (från diagram)

Vinkelkoefficienten (F) beräknas sedan enligt /9/:

$$F = \frac{X(D_c/2)^2}{(X^2 + z_c^2)^{3/2}} \quad \text{där } z_c = D_c/2$$

Värmestrålning på olika avstånd beräknas enligt /9/:

$$q = E \cdot F \cdot \tau_a \quad \text{vilket ger oss tabell A3.28}$$

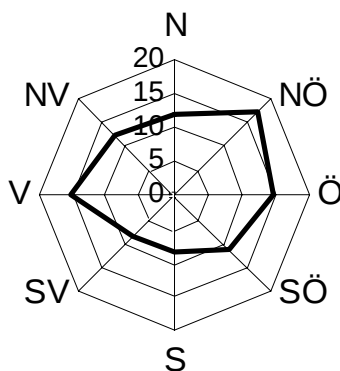
Tabell A3.28 Infallande värmestrålning (q) på olika avstånd från molnets centrum.

Avstånd från centrum	α_w	α_c	τ_a	F	q [kW/m ²]
200 m	0.20	0.032	0.768	0.186	50.0
220 m	0.21	0.035	0.755	0.163	43.0
250 m	0.22	0.040	0.740	0.134	34.7

Enligt Hymes (1983) /10/ motsvarar en infallande värmestrålning av ca 45 kW/m², 50% dödlighet. Här förutsätts då att personerna är normalt klädda samt att de befinner sig på samma avstånd under hela den tid molnet existerar, här 15,5 sekunder.

A3.8 Beräkning av individrisk

Eftersom det blåser olika ofta i olika riktningar skiljer sig risken för de olika vädersträcken. Figur A3.19 visar den procentuella fördelningen över åt vilket håll det blåser i Malmö. Statistiken kommer från vindmätningar gjorda vid Heleneholms brandstation 1995-1998.



Figur A3.19 Procentuell fördelning över vindriktningen (vilken riktning det blåser mot).

Individrisken beräknas för varje vindriktning. Först beräknas sannolikheten att dö vid utsläpp av de olika ämnena var för sig.

$$\text{individrisk för ämne } i = P_{\text{utsläpp}} \cdot P_i \cdot P_{\text{vindriktning}} \cdot P_{\text{riskavstånd}}$$

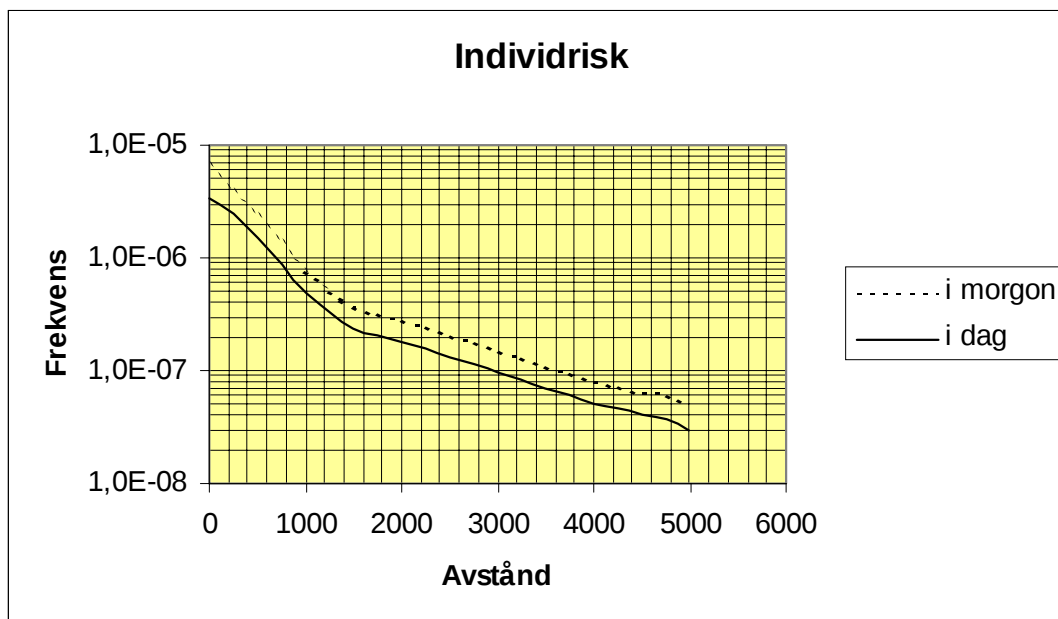
$P_{\text{utsläpp}}$ = Sannolikheten för utsläpp vid rangering. Denna finns beräknat i appendix 2.1 och är 0.0167 för dagsläget och 0.263 för i morgon.

P_i = Sannolikheten för att utsläppet gäller just ämne i. Även denna finns angiven i appendix 2.1.

$P_{\text{vindriktning}}$ = Sannolikheten att det blåser i en viss riktning. Denna presenteras i figur A3.19.

$P_{\text{riskavstånd}}$ = Sannolikheten för att konsekvensen av ett utsläpp ger ett visst riskavstånd. Denna finns beräknad i appendix 3.6 och ges som en fördelning över avståndet.

Den totala individrisken i varje riktning är summan av individrisken för de olika ämnena. Eftersom vi använder LC_{50} -värdet som dimensionerande koncentration är det endast 50% risk att personen dör och siffran kan halveras. För varje vindriktning fås nu en fördelning över individrisken på olika avstånd. En medelriskkurva presenteras i figur A3.20 och redovisar både dagsläget och hur risken antas öka i framtiden. Här har avståndet viktats med hänsyn till hur vanligt förekommande de olika vindriktningarna är.



Figur A3.20 Diagram över medelindividriska i dag och i morgon.

Acceptanskriteriet för individrisken brukar sättas till 10^{-6} enligt flera internationella studier (se kapitel 3.2) Tabell A3.29 anger medelavståndet inom vilket risken att dö till följd av en olycka är en gång på en miljon år respektive en gång på 10 miljoner år.

Tabell A3.29 Medelindividriska i dag och i morgon.

Medelindividriska	Riskavstånd, i dag	Riskavstånd, i morgon
10^{-6}	700 m	900 m
10^{-7}	2900 m	3600 m

Om man redovisar konsekvensen av att det blåser olika ofta i olika riktningar får man en äggformad riskkontur. Figur A3.21 visar individrisken i alla vindriktningar både för nuläget och morgondagen.



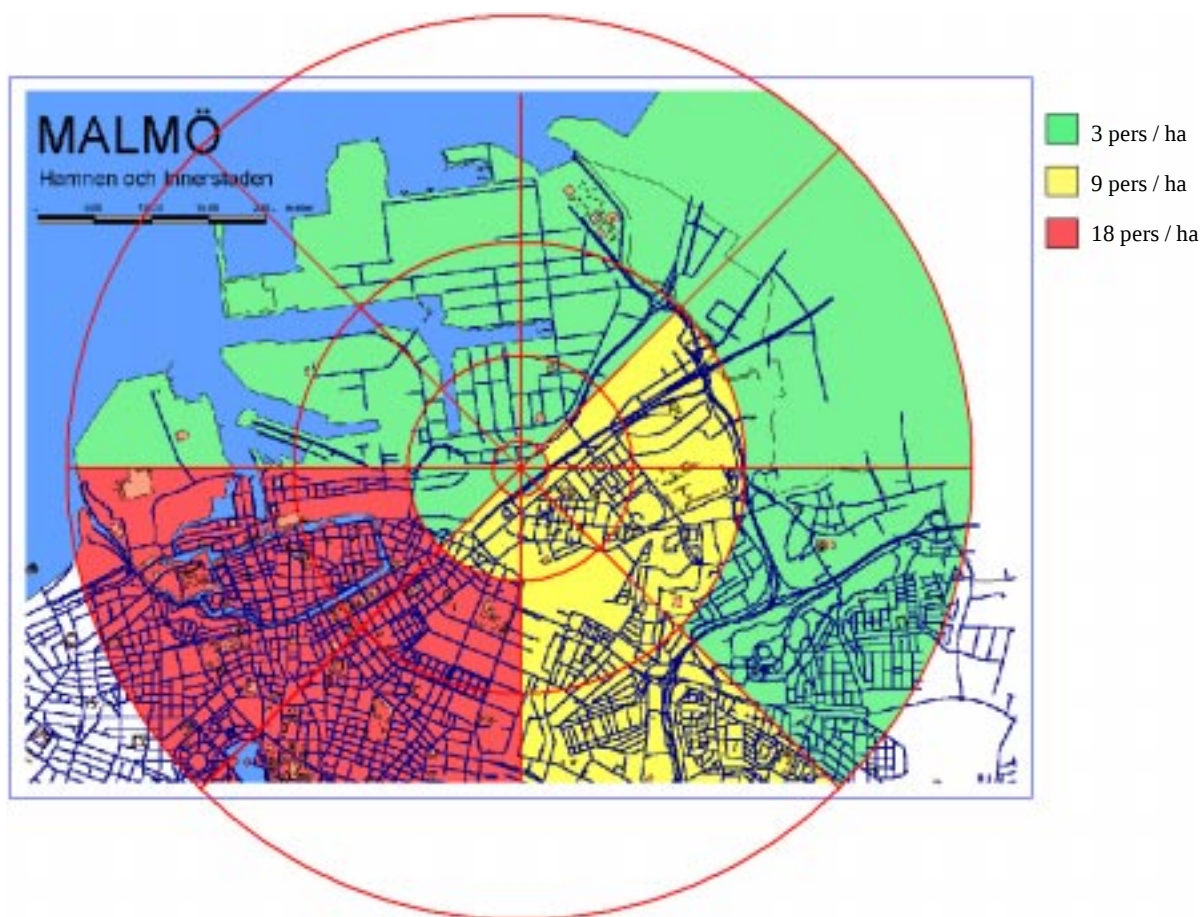
Figur A3.21 Individrisk i Hamnen för dagsläget och morgondagen.

A3.9 Beräkning av samhällsrisk

I dag

Eftersom rangeringen utförs under dagtid så uppgår antalet döda till de personer som vistas inom riskområdet, utomhus under dagtid. Stadsbyggnadskontoret har gjort en undersökning /11/ av hur mycket folk som befinner sig i de olika stadsdelarna i Malmö under dagarna. Siffrorna grundas bland annat på hur många arbetslösa det finns i området och hur många arbetstillfällen det finns. För att göra en uppskattning av hur många av dessa som befinner sig utomhus har vi utgått från en riskanalys i Stenungsund /12/. Där anges att cirka 10% av de som är hemma vistas utomhus. Analysen är gjord för ett bostadsområde i Stenungsund. Eftersom Malmö är en storstad och det förekommer mycket handel och biltrafik i området har vi gjort bedömningen att procentsatsen bör dubblas. Vi räknar alltså med att 20 % av personerna som vistas i området under dagtid är utomhus.

Eftersom det vistas olika mycket folk på olika ställen runt om utsläppspunkten måste hänsyn tas till förekomsten av olika vindriktningar. Vi delar därför upp området i åtta cirkelsegment med olika täthet. Vidare har vi delat upp segmenten i sektioner för att ytterligare precisera antalet drabbade. Uppdelningen i olika befolkningszoner visas i figur A3.22.



Figur A3.22 Befolkningsstäthet i Hamnen, dagtid och utomhus.

Med hjälp av befolkningstätheten per hektar kan vi nu räkna ut hur många som drabbas på olika avstånd och i de olika vindriktningarna. Sedan viktas antalet med sannolikheten för att det blåser i de olika riktningarna och ett medelvärde beräknas.

$$N = \Sigma(P_{\text{vind}} \cdot n_s) / 8 \cdot 30/45$$

N = antal döda

P_{vind} = slh för sektorns vindriktning

n_s = antal döda i sektorn

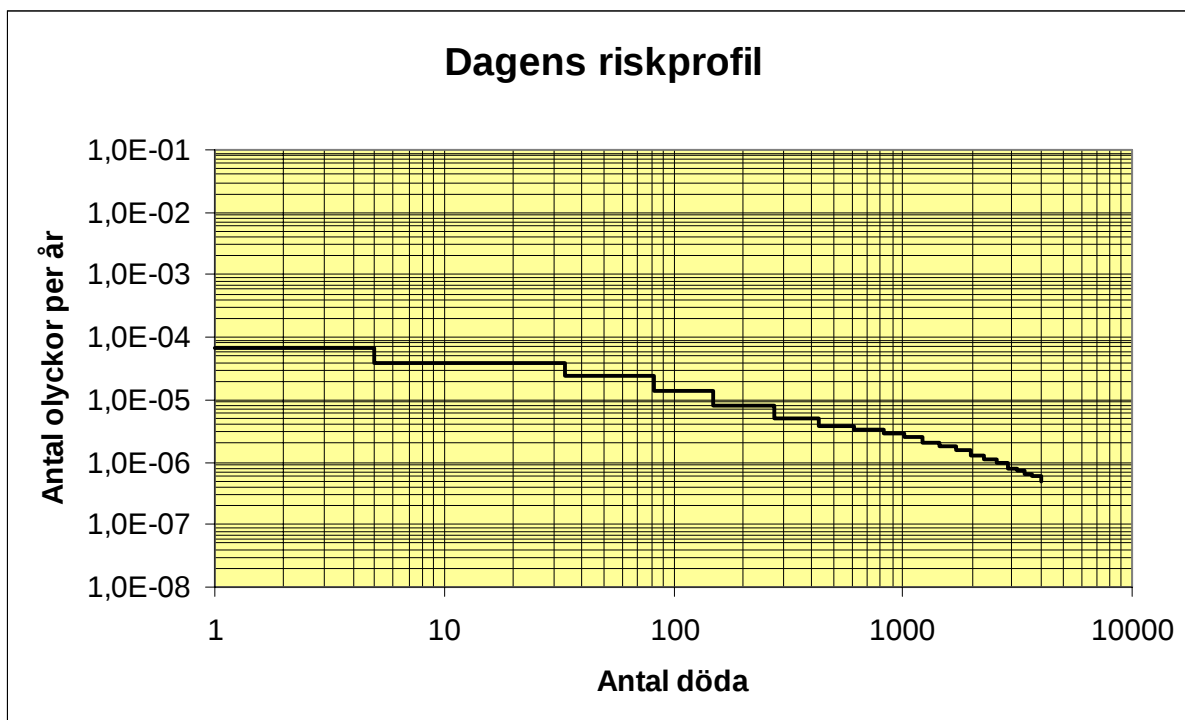
$30/45$ = en reduktionsfaktor eftersom utsläppsvinkeln bara är 30° och sektorvinkeln är 45°

Medelvärdet av antalet döda med 250 meters intervall redovisas i tabell A3.30

Med hjälp av sannolikhetsfördelningarna över riskavståndet framtagna i appendix 2.6 har vi beräknat antalet döda som en funktion av sannolikheten och tagit fram FN-kurvor för de olika ämnena. Sedan läggs kurvorna ihop till en total riskprofil. Denna visas i figur A3.23.

Tabell A3.30 Medelvärdet av antalet döda i dag.

Riskavstånd	Antal döda
0	0
250	5
500	34
750	82
1000	149
1250	276
1500	430
1750	612
2000	823
2250	1010
2500	1219
2750	1449
3000	1702
3250	1963
3500	2246
3750	2549
4000	2873
4250	3130
4500	3403
4750	3691
5000	3996



Figur A3.23 Dagens riskprofil.

I morgon

För att få fram morgondagens riskprofil måste hänsyn tas till det nya skyddsbehovet. För de tre områdena, Nyhamnsområdet, Universitetsholmen och Västra hamnen har vi lagt till det beräknade befolkningstillskottet. Enligt /11/ befinner sig ca 25% av de boende hemma under dagtid och liksom tidigare räknar vi med att 20 % av de som är hemma befinner sig utomhus.

Nyhamnsområdet: 4200 boende $\Rightarrow$ ca 1000 hemma
3-4000 arbetande

totalt: 1000 personer utomhus.

Universitetsholmen: 9000 nya studieplatser
Vi räknar med att max 5000 pers befinner sig där samtidigt

totalt: 1000 personer utomhus.

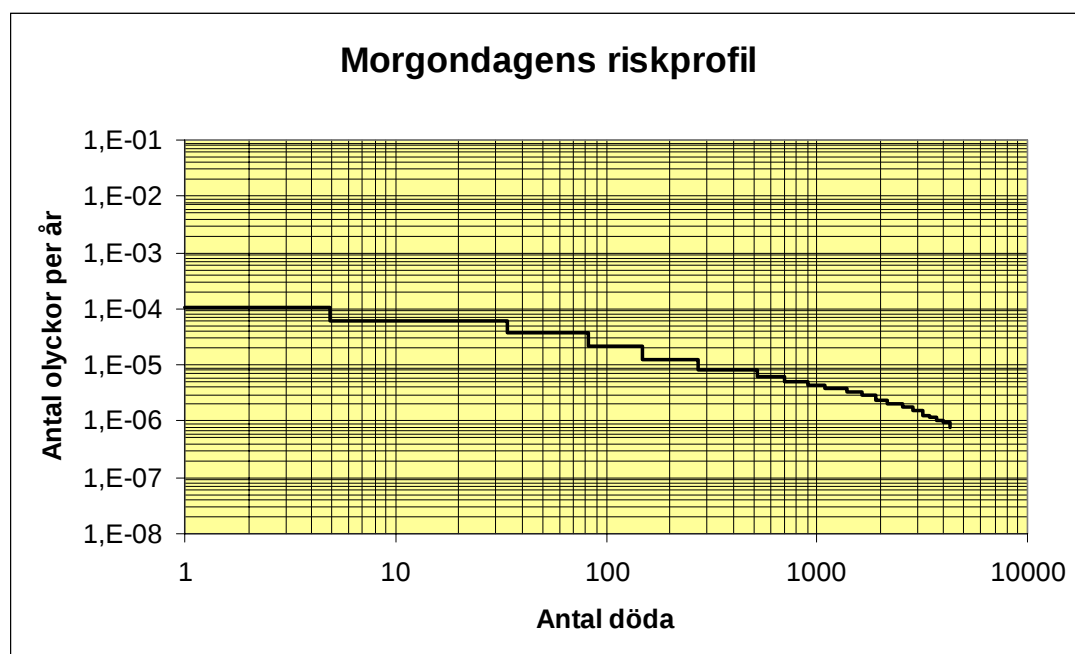
Västra hamnen: 5000 boende $\Rightarrow$ 1250 hemma
4800 arbetande

totalt: 1200 personer utomhus.

Dessa läggs till i respektive sektor och det nya antalet drabbade beräknas på samma sätt som tidigare. Dessa redovisas i tabell A3.31. Riskprofilen för morgondagen visas i figur A3.24.

Tabell A3.31 Medelvärde av antal döda i morgon.

Riskavstånd	Antal döda
0	0
250	5
500	34
750	82
1000	149
1250	276
1500	522
1750	704
2000	915
2250	1102
2500	1400
2750	1631
3000	1883
3250	2145
3500	2534
3750	2837
4000	3161
4250	3418
4500	3691
4750	3980
5000	4284



Figur A3.21 Riskprofil för morgondagen.

Referenser

- /1/ Fischer, Forsén, Hertzberg, Jacobsson, Koch, Runn, Thaning, Winter, *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor*, Försvarets forskningsanstalt, 1997, ISSN 1104-9154.
- /2/ American Institute of Chemical Engineers, *Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989
- /3/ Ministry of Social Affairs (TNO), *Methods for the calculation of the physical effects of the escape of dangerous materials (liquids and gases)*, Voorburg, 1979
- /4/ Helsingborgs brandförsvär, brandskyddsavdelningen/JS, *Emballagedata*, 1998
- /5/ Roberts, A. F. 1982. Thermal radiation hazards from release of LPG fires from pressurized storage. *Fire Safety J.* 4:197-212
- /6/ Pape, R. H., and D. Green. 1984. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*. 6th. New York: McGraw-Hill.
- /7/ Johnsson, D. M., M. J. Pritchard, and M. J. Wickens. 1990. Large scale catastrophic releases of flammable liquids. Commission of the European Communities report, Contract No.:EV4T.0014.UK(H)
- /8/ Mundan, K. S. (1984). Thermal Radiation Hazards from Hydrocarbon Pool Fires. *Prog. Energy. Combust. Sci.* 10, pp. 59-80
- /9/ *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs*, American Institute of Chemical Engineers, 1994, ISBN 0-8169-0474-X
- /10/ Hymes, I. (1983). The physiological and pathological effects of thermal radiation. United Kingdom Atomic Energy Authority, SRD R 275.
- /11/ Stadsbyggnadskontoret, Malmö Stad, *Arealer och befolkningstäthet i Malmö 1998*
- /12/ Jacobsson, Anders, *Säkerhetsstudie Stenungsund*, AJ Risk Engineering AB, 1996