

Risicanalys av Ystad Hamn

Nina K. Sjöqvist

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

**Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5106, Lund 2002

Risicanalys av Ystad Hamn

Nina K. Sjöqvist

Lund 2002

Risikanalys av Ystad Hamn

Nina K. Sjöqvist

Report 5106

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5106--SE

Sidantal: 79

Keywords:

Risk analysis, harbour area, explosives.

Sökord:

risikanalys, hamnområde, explosiva ämnen.

Abstract:

The risks of the harbour area were identified, calculated and evaluated in order to present suggestions on how to minimise and prevent actions due to the identified risks. The total risk was exhibited as an individual risk and a societal risk. These were compared to predefined criteria's for acceptable risk in order to define the results as acceptable or not.

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

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

Telefon: 046 - 222 73 60

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

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

Telephone: +46 46 222 73 60

SAMMANFATTNING

Syftet med rapporten är att bedöma risknivån för hamnområdet och att ge förslag till eventuella åtgärder. Rapporten är ett led i en insatsplan för området.

Ystad hamn ligger för närvarande på tredje plats i Sverige i antal lastbärare per anlop, och hamnen har planer på att utöka båda färjetrafiken och hamnytan ytterligare. Detta kommer med största sannolikhet att innebära en ökad import- respektive export av farligt gods, vilket kommer att återspegla sig i en förhöjd risk för området. Vare sig hamnen eller dess industrier är för närvarande klassade som § 43-anläggningar.

Riskinventeringen visar att hanteringen av farligt gods samt hanteringen av explosivt ämne på hamnplanen är de faktorer som ger störst bidrag till hamnens risker. En studie av de mest frekvent förekommande ämnena, med avseende på hälsofara, brandfara och explosionsfara, resulterar i att ämnena blandsprängämne typ A, svaveldioxid och koldisulfid väljs ut för en fortsatt analys.

Sannolikheten för ett utsläpp beräknas enligt Väg- och transportforskningsinstitutets modeller för riskbedömning av farligt gods. Sedan beräknas riskavståndet för konsekvensen död. Som kritisk gränsvärde används respektive ämnes kritiska gränsvärde; LC_{50} eller 10 kW/m^2 . Riskavståndet presenteras som en sannolikhetsfördelning som visar sannolikheten att ett riskavstånd är lika med eller överstiger ett visst antal meter.

Generellt sett transporteras större mängder farligt gods per last med järnvägen i jämförelse med transport på vägen, vilket kan resultera i större utsläpp. Dock är godstjockleken oftast större för järnvägs gods vilket oftast resulterar i mindre håldiameter vid en olycka. En sammanvägning av dessa uppgifter ger att konsekvenserna av en olycka på väg och järnväg uppskattas vara de samma.

Genom en sammanvägning av sannolikhet och konsekvens av en olycka, har risken för området beräknats och presenterats som en individrisk samt som en samhällsrisk. Beräknat individ- och samhällsrisk jämförs med valda acceptanskriterier, som visat sig överensstämma med DNV's förslag till svenska riskkriterier i Räddningsverkets rapport *Värdering av risk*. Resultaten visar att såväl individrisk som samhällsrisk är oacceptabla sett ur ett olycksperspektiv.

Individrisken anses som oacceptabel inom en gräns av 95 meters från ett utsläpp, vilket motsvarar kriteriet $1 \cdot 10^{-5}$ döda per år. Mellan 95 och 3200 meters ligger individrisken i den så kallade ALARP-zonen, en zon där riskerna kan tolereras om alla möjliga åtgärder är vidtagna. Över ett avstånd av 3200 meters anses riskerna acceptabla.

Samhällsrisk ligger i ALARP-zonen för konsekvensen 0-8 döda. För konsekvensen 8 döda och uppåt överstigs det övre gränskriteriet, vilket innebär att riskbilden står i konflikt med skyddsbehovet.

Då såväl individrisk som samhällsrisk anses som oacceptabla måste sannolikhets- eller konsekvensreducerande åtgärder införas för att minska risken. Riskreducerande åtgärder som föreslås är bland annat; möjligheten att kunna varna människor i området med hjälp av VMA (Viktigt Meddelande till Allmänheten), etablering av tillbudsplatta, samt utbildning av hamnens personal i samarbete med räddningstjänsten.

Osäkerheter i analysen har analyserats indirekt genom att indata i beräkningarna presenterats som fördelningar istället för som enstaka, konstanta värden.

Även en olycka med explosivämnet (Blandsprängämne typ A) analyseras vidare, och scenariot utgör för övrigt riskanalysens ”värsta möjliga händelse”. Sannolikheten för detonation/deflagration av explosivämne beräknas inte, utan i detta fall beaktas endast konsekvenserna av en eventuell explosion. Orsaken till detta är att en beräkning av sannolikhet för deflagration/detonation av ett explosivämne är en mycket komplicerad process som kräver stor kännedom om ämnets kemikaliska och fysiologiska egenskaper. Det finns beräknat sannolikhet för explosion av militära ammunitionsförråd i Sverige, vilka uppges ha en sannolikhet av $5 \cdot 10^{-5}$ händelser per år. Denna sannolikhet anses dock inte tillämpningsbar för hamnens hantering och lagring av explosivämne. För scenariot med explosivämne begränsas därför analysen till att endast omfatta verkan av tryck och värmestrålning av en explosion.

Beräkningar delas upp i två fall där skillnaden är kvantiteten av ämnet, för att se huruvida hanterat mängd har inverkan på skadeföljderna. Resultaten visar att en explosion av den större mängden explosivämne skulle medföra förödande konsekvenser på människor och omgivning. 1: a gradens brännskador beräknas uppkomma vid ett avstånd av 460 meters från lagret, samt inom en zon av 60 meters beräknas 100 % dödlighet för liv på grund av värmestrålning. Övertrycket till följd av en explosion ger i fallet med den större mängden explosivämne 99 % döda inom ett avstånd av 75 m, allvarlig lungskada på ett avstånd av 130 m, samt krossade fönsterglas på ett avstånd av 650 meters från lagret.

Skillnaden mellan en explosion av den lägre och större mängden explosivämne, mätt i riskavstånd, är ca 50 %. Det kan därför konstateras att lagringsmängden har inverkan på skadeföljderna. Dock medför även den lägre mängden explosivämne förödande konsekvenser på människor och omgivning. I detta fall anses därför den mest effektiva konsekvensreducerande åtgärden vara en förflyttning av lagret.

SUMMARY

The aim of the report is to identify and evaluate possible risks in the harbour area and to give suggestions on how to minimise and prevent actions due to the identified risks. This report is a part of an upcoming emergency response plan for the harbour area, conducted in co-operation with SÖRF (Sydöstra Skånes Räddningstjänstförbund).

The harbour of Ystad is currently Sweden's third largest port due to carriers by call. There are plans for enlarging both the ferry-service as the harbour area. This will most likely imply an added import and export of dangerous goods, with an increased risk for the area as a result.

A risk inventory showed that the handling of dangerous goods, including the handling of explosives, were the factor that contributed most to the total risk in the harbour area. A study of the most common dangerous goods with respect to danger to health, fire hazard and danger of explosion resulted in a further analysis of the substances Sulphur dioxide, Carbon disulphide and explosives, blasting type A.

Probability calculations of a discharge of the three substances were done according to a model from Väg- och transportforskningsinstitutet (VTI). Thereby the safety distance was calculated for each substance. The critical limits were chosen as, LC_{50} (lethal concentration 50%) or 10 kW/m^2 . The safety distance was calculated as a probability distribution function, which shows the probability of a safety distance exceeding a determined distance.

The total risk of the area was calculated by interlacing the probability and the consequence of a discharge and was exhibited as an individual risk and a societal risk. These were compared to predefined criteria's for acceptable levels of risk.

Both the individual risk and the societal risk in the harbour area were found to be unacceptable. The individual risk was unacceptable within a boundary of 95 meters from a discharge, which corresponds to a criteria equal to one dead from exposure by one million years. In between 95meters to 3200 meters the individual risk equals to a so-called ALARP- zone (As Low As Reasonably Practicable), where risks can be accepted if all practicable actions have been taken to reduce the risk. Beyond 3200 meters from a discharge risks are defined as acceptable.

Measures for reduction of probability and consequence must be inaugurated in order to reduce risk; both individual risk as well as societal risk is unacceptable. Some of the risk reducing measures suggested are; to be able to warn humans in the area with a so-called VMA (important message to the public), establish an incident platform and education of harbour personnel in co-operation with the rescue service.

Uncertainties in the results have been analysed indirectly by presenting the calculation input data as distributions, instead of individually, constant values.

The risk analysis worst case was found to be the accidents involving explosives, blasting type A. The probability of a detonation/deflagration regarding explosives has not been analysed, due to the complexity of the calculations, which requires large knowledge concerning the chemical and physiological properties of the compounds.

A probability of $5 \cdot 10^{-5}$ accidents a year concerning ammunition magazines have been stated by Försvarshögskolan. This statement is however not considered to be applicable to the handling and storing of explosives. The scenario involving explosives includes consequently only calculations of the consequences of an explosion.

The calculations were divided into two cases due to the quantity of the explosives. These were carried out to see however the handled amounts of explosives had any influence on the consequences.

The results disclosed that an explosion would entail catastrophic consequences on both man and environment. Due to thermal conduction burns of the first degree were to arise at a distance of 460 meters from the storage, and a 100 % casualty were calculated within a zone of 60 meters. As a consequence of overpressure from the larger amount of explosives, a 99 % casualty were to be found within a distance of 75 m, and shattered windows were originated at a distance of 650 meters from the storage.

The safety distance differs 50 % between the lower and the larger amount of explosives. Therefore it can be verified that the amount of explosives does have an influence on the consequences. Nevertheless even the lower amount of explosives entails catastrophic consequences on both man and environment. In this scenario a relocation of the storage is considered to be the most effective risk reducing measure.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING	1
1.1 Syfte	1
1.2 Metod	1
1.3 Avgränsning	1
2 RISKINVENTERING	3
2.1 Riskbegreppet	3
2.1.1 Acceptanskriterier	3
2.2 Historik	6
2.3 Områdesbeskrivning	6
2.4 Trafikolyckor	7
2.5 Transport av farligt gods	7
2.6 Hantering av explosivt ämne	9
3 ANALYSERADE SCENARIER	11
3.1 Utsläpp av gas	11
3.2 Utsläpp av brandfarlig vätska	11
3.3 Antändning av explosivt ämne	11
4 SANNOLIKHETSBERÄKNING	13
4.1 Sannolikhet för utsläpp vid transport på väg	13
4.2 Sannolikhet för utsläpp vid transport via järnväg	14
4.3 Sannolikhet för detonation/deflagration av explosivt ämne	15
5 KONSEKVENSANALYS	17
5.1 Utsläpp av tryckkondenserad gas	17
5.1.1 Resultat av konsekvensanalys för utsläpp av svaveldioxid	18
5.2 Utsläpp av brandfarlig vätska	19
5.2.1 Resultat av konsekvensanalys för utsläpp av koldisulfid	19
5.3 Antändning av explosivt ämne	20
5.3.1 Skadeföljder på grund av värmestrålning	21
5.3.2 Skadeföljder på grund av tryck	23
6 RISKANALYS	25
6.1 Individrisk	25
6.1.1 Känslighetsanalys	27
6.2 Samhällsrisk	28
7 SLUTSATSER	31
8 DISKUSSION	33
8.1 Riskreducerande åtgärder	34
8.2 Förslag till senare projekt	34
9 REFERENSER	35

APPENDIX 1 Översiktskarta över Ystad hamn	37
APPENDIX 2 Sannolikhet för utsläpp väg	38
APPENDIX 3 Sannolikhet för utsläpp järnväg	41
APPENDIX 4 Konsekvens av utsläpp av tryckkondenserad gas	43
Appendix 4.1 Beräkning av LC ₅₀ -värde	44
Appendix 4.2 Håldiameter	45
Appendix 4.3 Stabilitetsklass	45
Appendix 4.4 Känslighetsanalys	47
Appendix 4.5 Beräkning av riskavstånd för svaveldioxid	49
APPENDIX 5 Konsekvens av utsläpp av brandfarlig vätska	55
APPENDIX 6 Antändning av explosivt ämne	59
APPENDIX 7 Beräkning av individ- och samhällsrisk	66

1 INLEDNING

På uppdrag av Syd Östra Skånes Räddningstjänstförbund, SÖRF, skall Ystad hamn utredas med tyngdpunkt på hantering av farligt gods, som ett led i en insatsplan för området.

Det pågår i dagsläget en dialog mellan SÖRF, Polisen och Ystad Hamn Logistik AB med syftet att utreda och förbättra säkerheten för hamnområdet. Det arbetas till exempel med att få upprättat särskilda uppställningsplatser för farligt gods inom hamnen, att säkra brunnar vid ett eventuellt utsläpp, samt att förbättra åtkomligheten för räddningstjänst och polis vid en olycka.

Hamnens största risker är förknippade med import och export av farligt gods. Då ungefär 3500 människor vistas i hamnen per dygn, kan konsekvenserna av en olycka bli omfattande. Rapporten kommer att utreda om risken som hanteringen av det farliga godset innebär, är acceptabel eller inte.

1.1 Syfte

Syftet med rapporten är att identifiera eventuella risker och bedöma risknivån för hamnområdet, som har transport av farligt gods med lastbil och järnväg. För att kunna bedöma risken skall sannolikheter för och konsekvenser av eventuella tillbud utredas och beräknas på ett tillförlitligt sätt, baserad på tillgänglig litteratur och statistik. Beräkningarna görs dels genom handberäkning, dels med hjälp av datorprogram, och i vissa fall både och för att kunna presentera så valida resultat som möjligt. Även förslag till åtgärder för att minska eventuella risker skall presenteras.

1.2 Metod

Statistik och nödvändig information som ligger till grund för riskinventering och riskanalys införskaffas och studeras. Arbetets omfattning och dess avgränsningar fastställs. En undersökning av hur hantering av farligt gods inom området sker idag utförs dels genom litteraturstudie, dels genom intervju med Räddningstjänst och yrkesaktiv personal inom hamn- och rangerbanområde. Inhämtad information sammanställs och bearbetas enligt erkända beräkningsmodeller och med hjälp av datorprogram, för att kunna jämföra beräknad risk med acceptanskriterier. Efter en bedömning av slutsatserna kommer förslag till åtgärder, samt en diskussion kring säkerhetsaspekterna och tillhörande frågor som bör utredas, att presenteras.

1.3 Avgränsning

Arbetet behandlar endast olycksrisker inom hamnområdet och kommer inte att innefatta eller behandla egendom-, strikt ekonomiska-, eller miljöekonomiska kostnader som följd av en olycka. Ingen vikt läggs på olyckor som inte anses ge en påverkan på området, som till exempel trafikolyckor utan inblandning av farligt gods.

Analysen begränsas geografiskt till hamnområdet och vattenlinjen, och omfattar således inte fartygstransporter eller eventuella risker från eller påverkan på närliggande områden. Inom området tas endast hänsyn till personsäkerheten för personer som vistas utomhus.

Den mängd farligt gods som används för fortlöpande drift och underhåll av hamnens fasta anläggningar medräknas inte i totala mängden farligt gods, utan beräkningarna syftar endast till import och export av farligt gods.

Problematiken kring så kallade multimodala transporter kommer inte att behandlas. Med multimodala transporter menas förflyttning av gods med mer än ett transportslag, ett exempel är att gods först transporteras med båt för att sedan transporteras vidare med lastbil på vägnätet.

Vid beräkning av en eventuell explosion av sprängmedel på hamnplan begränsas resultatet till att endast omfatta direkta skador på grund av tryck och värmeinstrålning och kommer inte att omfatta konsekvenser till följd av utstötningar och splitter. Under beräkningsgången görs vissa bedömningar och approximationer som är nödvändiga för att kunna utföra handberäkningar på grund av bristande data- och beräkningsunderlag.

2 RISKINVENTERING

2.1 Riskbegreppet

Dagligen utsätts människan för vad vi kallar risker. Begreppet risk kan tolkas på olika sätt. Enligt en rapport av Räddningsverket *Värdering av risk /9/* kan riskbegreppet uttryckas som sannolikheten för att en händelse skall inträffa, som den negativa konsekvensen för en händelse, eller som en sammanvägning av sannolikhet och konsekvens. Definitionen risk som en sannolikhet för en olycka multiplicerad med dess konsekvens kommer att användas i analysen.

För att få en klar riskbild för hamnområdet genomförs en riskinventering. Riskinventering innebär en inventering och identifiering av hamnområdets olika riskkällor, olycksfaktorer samt skyddsobjekt. Den totala riskbilden för hamndelen utgör en sammanvägning av riskbidragen från riskinventeringen.

När riskbegreppet omfattar både sannolikhet och konsekvens finns möjligheten att kunna jämföra eller värdera risken. Risken kommer att beräknas som individrisk och samhällsrisk, för att kunna jämföra med valda acceptanskriterier. Riskerna begränsas till att endast omfatta allmänheten. Detta på grund av att anställda inom hamnverksamheten förutsätts tolerera en högre risk än allmänheten.

Med individrisk menas risken för en specifik, enskild individ att omkomma på grund av en händelse. Individrisken är den samma oberoende av hur många som vistas inom hamnområdet.

Även om individrisken inom området är hög innebär inte detta att samhällsrisken nödvändigtvis är hög. Detta beror på att samhällsrisken mäter den totala risken för alla som befinner sig inom området.

2.1.1 Acceptanskriterier

I Sverige finns för närvarande inga konkreta bestämmelser rörande acceptabel risk, vilket medför att olika acceptanskriterier kan tillämpas beroende på vilka åtgärder som anses vara genomförbara. De kriterier som tillämpas är i regel kriterier som föreslagits och använts i länder som kan anses jämförbara med Sverige. Två sådana länder är Holland och Storbritannien, där det länge har arbetats med att fastställa välmotiverade kriterier.

Individrisk

I Storbritannien finnes specifika riskkriterier för transport av farligt gods för bedömning av hamnaktiviteter. För individrisk anges en maximal tolerabel risk att vara 10^{-4} per år och en allmänt acceptabel risk bedöms vara 10^{-6} per år, vilket omfattar båda allmänhet och anställda i företaget /9/.

I en rapport av SRV /9/ ges ett förslag till svenska riskkriterier utarbetade av Det Norske Veritas (DNV). Dessa kriterier kan ses som en avvägning mellan de holländska och brittiska kriterierna, utformade att gälla för Sverige. Gällande för acceptanskriterier är att de inte skall uppfattas som fasta gränser, utan som zoner i vilken olika åtgärder kan visa sig vara nödvändiga. Beroende av till exempel ingångsdata och bedömning av vilka risker som kan tolereras, kan acceptanskriterierna utformas olika.

Då denna analysens beräkningar av individ- och samhällsrisk begränsas till att endast omfatta allmänheten, bedöms Storbritanniens riskkriterier för transport av farligt gods för bedömning av hamnaktiviteter vara något höga. Hamnen är en existerande anläggning (dock med framtidsplaner på att expandera verksamheten med framtiden) och har relativt många icke-anställda inom verksamheten som rör sig inom området per dag (ca. 3500). Dessa fakta utgör underlag för bedömningen att sänka det brittiska riskkriteriet en tiopotens, vilket visat sig motsvara DNV's förslag till svenska individriskkriterier. DNV's förslag till svenska individriskkriterier kommer med andra ord att vara gällande för denna analys.

Kriterier för individrisk är /9/:

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

I fortsättningen kommer även en medelindividrisk av 10^{-6} att användas.

Samhällsrisk

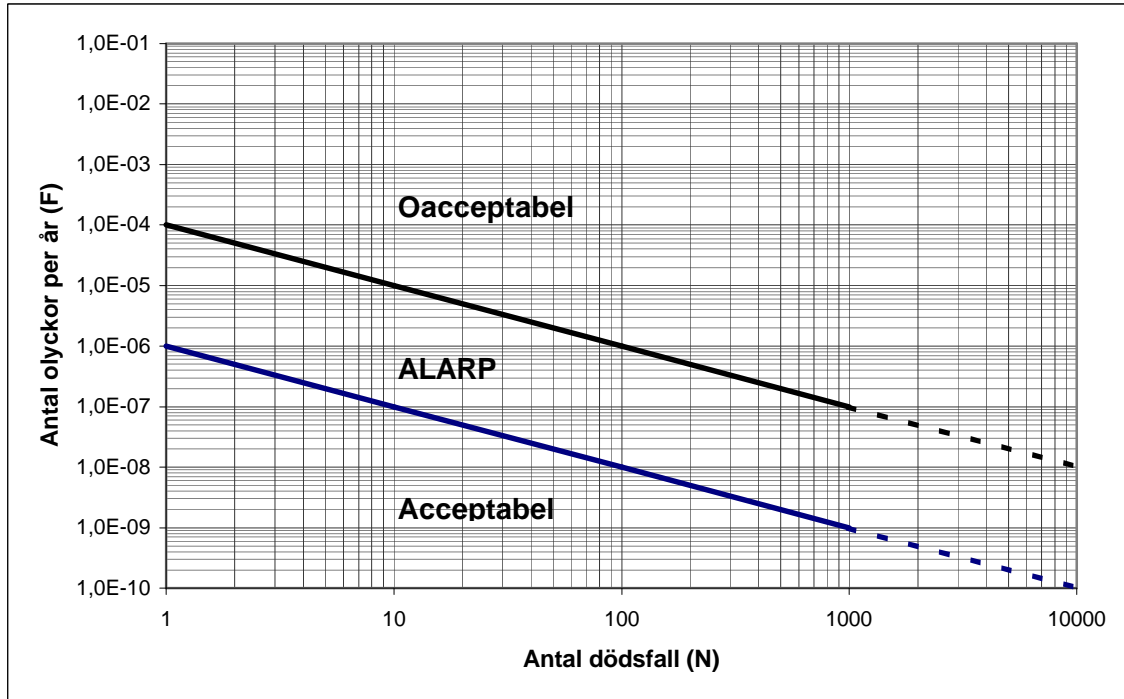
Samhällsrisk väljs att uttryckas som en FN-kurva som visar sambandet mellan den ackumulerade frekvensen av händelser (F) och antal omkomna (N) /9/. Då samhällsrisk, i skillnad till individrisk, är avsett att avspegla den totala risken för alla som befinner sig inom området, ligger startpunkten (för FN-kurvan) för olyckor med ett dödsfall högre för samhällsrisk än motsvarande värde för individrisk /9/. Enligt egen uppfattning är det också orimligt att en existerande anläggning skall omfattas av samma krav och kriterier som en ny verksamhet.

På grundlag av hamnens belägenhet i förhållande till stadskärnan och bostadsområden, samt uppgift om hur många icke-anställda inom verksamheten som vistas inom hamnområdet per dygn, bedöms samhällsrisk vara en faktor 10 högre än individriskkriteriet.

FN-kurvans lutning sätts till -1 , vilket innebär att då antalet döda (N) ökar en tiopotens minskar den ackumulerade frekvensen (F) med en tiopotens /9/. Det bedöms med andra ord vara något mer sannolikt och acceptabelt att det händer många små olyckor med få döda, än stora olyckor med många döda. Kurvans lutning på -1 motsvarar en strävan efter att undvika de stora olyckorna. Att ytterligare minska lutningen till exempelvis -2 bedöms vara otjänligt, inte minst med tanke på resursåtgången för att minska de mycket osannolika stora olyckorna, men också då detta skulle utgöra ett kriterium en existerande verksamhet som hamnen skulle ha mycket svårt att någonsin kunna uppfylla.

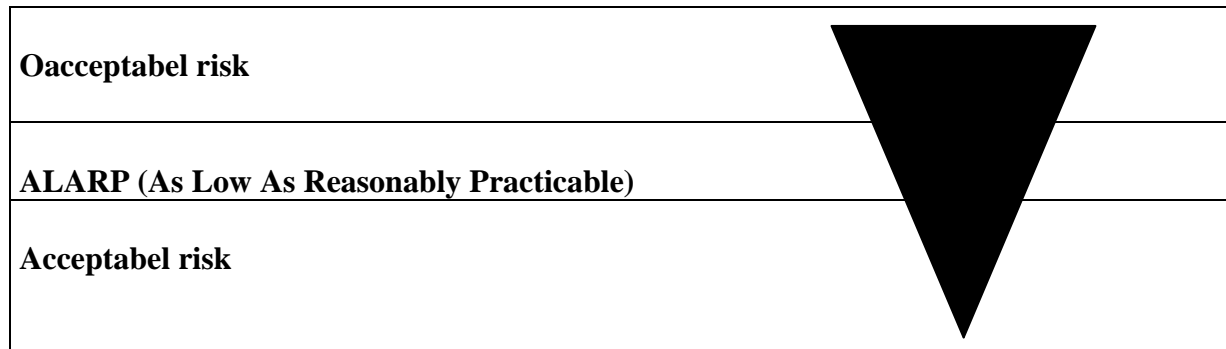
Ovanstående bedömningar visar sig överensstämma med DNV's förslag till samhällsriskkriterier för Sverige /9/, vilka kommer att vara gällande för denna analys.

Samhällsriskens acceptanskriterier kan redovisas i en FN-kurva, enligt figur 2.1.



Figur 2.1 Acceptanskriterier för samhällsrisk /9/.

Enligt DNV's förslag till riskkriterier skapas tre riskområden eller zoner för såväl individ- som samhällsrisk. Riskerna delas in i tre zoner enligt figur 2.2.



Figur 2.2 Kriterier för värdering av risk.

I zonen med oacceptabel risk skall alla praktiskt möjliga åtgärder vidtas för att minska risken. Förändringar och nybyggnationer som ökar risken för zonen bör inte accepteras.

I ALARP zonen kan risker tolereras om alla rimliga åtgärder är vidtagna. Med rimliga åtgärder menas att riskerna begränsats så mycket som möjligt sett utifrån ett samhällsekonomiskt- och tekniskt perspektiv.

För zonen med acceptabel risk gäller att riskerna kan anses som försumbara eller så små att riskreducerande åtgärder inte behöver verkställas. Detta innebär dock inte, och skall inte misstolkas som, att en acceptabel risk inte skall medge fortsatt prioritering av riskförebyggande arbete.

2.2 Historik

Med sitt gynnsamma geografiska läge spelar Ystad hamn en ökande roll i den konventionella sjöfarten i Östersjön. Hamnen har katamaranföbindelse mellan Ystad och Danmark, och expedierar lastbils- och personbilstrafik samt järnvägsgods via färjor till kontinenten. Ystad hamn ligger för närvarande på tredje plats i Sverige i andel transporter/lastbärare per anlop. Hamnen har fortfarande kapacitet till, och planer på, att utvecklas som import- och exporthamn.

Direkttåget mellan Ystad och Köpenhamn har redan medfört en kraftig ökning av persontrafiken till och från Ystad. Skånetrafiken planlägger ytterligare avgångar mellan Malmö och Ystad, samt tätare tågavgångar till Simrishamn. Den utökade belastningen på spår och banområde på grund av den ökande trafiken, gör att stationsområdet i Ystad inte kommer att räcka till. Därför planeras för närvarande en ombyggnation. Dock anser inte Banverket att det kommer att bli någon större förändring av totala mängden farligt gods som transporteras på sträckan och inom hamnområdet.

2.3 Områdesbeskrivning

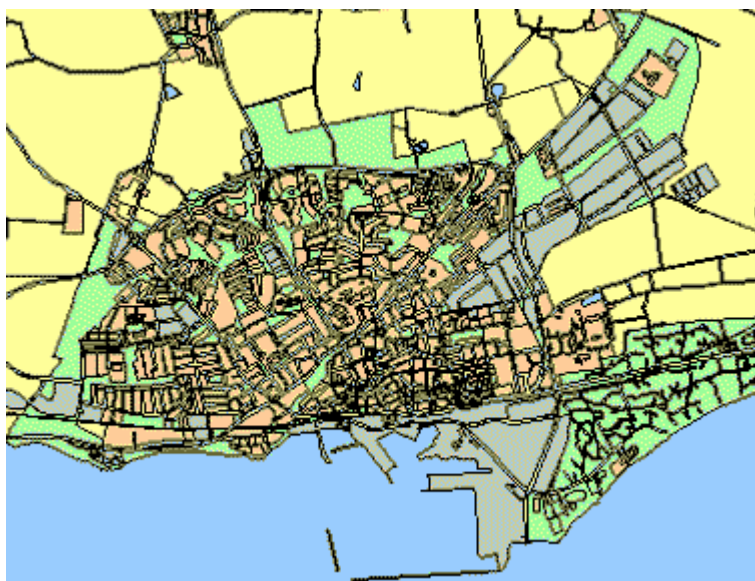
Ystad hamn är en bulk-, färje- och industrihamn med kajer till en sammanlagd längd av drygt 1000 meter. Inom hamnen finns 4000 m järnvägsspår, 100 000 m² uppställningsytor och ett magasinutrymme av totalt 8000 m² /10/.

Hamnen förfogar över ett tjugotal byggnader inom området som används till allt från kontor och personalterminal till magasin och verkstäder. Karta över Ystad hamn med fastighetsnummer och farligt godsled finns i appendix 1.

Inom området ligger även ett antal industrier som använder ämnen som klassas som farligt gods i sin dagliga verksamhet. Av dessa kan nämnas Fiberduk, som har tillstånd till förvaring och hantering av 61 000 liter gasol, samt bensinstationen Preem. Det kan nämnas att inga av hamnområdets anläggningar eller industrier är klassade som § 43-anläggningar. I rapporten kommer inga av dessa industrier att utredas med hänseende på riskbidrag till området, utan det beaktas endast huruvida dessa industrier berörs av ett eventuellt utsläpp från hamnens verksamhet.

Det finns för närvarande ingen tillbudsplatta eller uppsamlingsutrustning på lastväxlarreflak som kan ta hand om spill eller utsläpp av farligt gods vid en eventuell olyckshändelse. Farligt gods som kommer till hamnen med lastbil har för närvarande inga särskilda uppställningsplatser utan ställs upp bland all annan trafik i väntan på in- eller utresa. Detta gör fordonen svåråtkomliga för räddningstjänsten, vilket innebär att ett tillbud med farligt gods inblandad kan ge onödigt stor konsekvens. Detta till skillnad från om fordonen var placerade på särskilt märkta platser, åtskilda från annan trafik och med tillgänglighet för räddningstjänsten.

Strax norr om hamnområdet (se figur 2.3) ligger stadskärnan med ett stort skyddsbehov. I stadskärnan finns dock inga industriverksamheter eller större lager som kan tänkas bidra till en ökad risk på hamnområdet.



Figur 2.3 Översiktsskarta över Ystad /10/.

2.4 Trafikolyckor

Hamnens risker är förenade med transporten av farligt gods inom området. Uppgift om antal trafikolyckor för området är grundläggande för att kunna bestämma olycksfrekvensen för transporter med farligt gods. Uppgift om antalet polisrapporterade trafikolyckor för det aktuella området anses inte tillräckligt som statistisk underlag för att kunna beräkna förekomsten av olyckor med farligt gods. Detta då antalet understiger rekommendationen på minst 30 och helst över 50 rapporterade olyckor under en flerårsperiod /5/. I stället används en förväntad olyckskvot från beräkningsmatris i *Farligt Gods - Riskbedömning vid transport* /5/ för beräkning av förväntade antalet olyckor med farligt gods.

2.5 Transport av farligt gods

Transport av farligt gods sker till merparten som transport på väg och resterande kommer som järnvägsgods. Den skyltade vägleden för alla fordon inom hamnområdet inklusive transporter av farligt gods, är sträckorna Dragongatan, Ekenäsgatan och Bornholmsgatan (se figur 1 i appendix 1). Den transporterade mängden farligt gods på väg bygger på uppgifter från Ystad Hamn /6/ och redovisas i tabell 2.1. Mängden och antalet farligt godstransporter på järnvägen är grundad på transportstatistik från Green Cargo /7/.

Klass	Förklaring till farligt gods klasserna	Transporterad mängd (ton per år)	
		Väg	Järnväg
1	Explosiva ämnen och föremål	890	-
2	Gaser	310	123
3	Brandfarliga vätskor	1800	1581
4	Brandfarliga och självantändande ämnen	240	629
5	Oxiderande ämnen	550	1864
6	Giftiga och smittförande ämnen	75	-
7	Radioaktiva ämnen	-	-
8	Frätande ämnen	1100	285
9	Övriga farliga ämnen och föremål	8	-
S =		4973 ton	4482 ton

Tabell 2.1 Transporterad mängd farligt gods inom Ystad hamnområde, år 2001.

Beroende på ämnens kemiska och fysikaliska egenskaper delas det farliga godset upp i nio klasser enligt Statens Räddningsverks föreskrifter om transport av farligt gods (ADR-RID).

Inom varje klass listas ämnen som har olika verkan på människa och omgivning. I tabell 2.2 visas en sammanfattning av de mest frekvent förekommande ämnena med avseende på hälsofara, brandfara och explosionsfara. Ämnena är sorterade i fallande ordning där det ämne som transporteras mest, sammanslaget transport på väg och järnväg, listas först.

Klass	UN-nummer	Ämnets namn	Hälsofara	Brandfara	Explosionsfara
5	2014	Väteperoxid	Ringa	*	*
3	1131	Koldisulfid	Stor	Mycket stor	Mycket stor
1	0081	Blandsprängämne typ A	**	**	Mycket stor
4	1402	Kalciumkarbid	Ringa	*	*
8	2031	Salpetersyra	Stor	*	*
3	1123	Butylacetat	Liten	Stor	Stor
3	1100	Allylklorid	Stor	Stor	Stor
5	1485	Kaliumklorat	Ringa	*	*
2	1079	Svaveldioxid	Mycket stor	Ingen	Ingen
2	1018	Klordinfluormetan	Liten	Ingen	Ingen

Tabell 2.2 De mest transporterade ämnena med tillhörande egenskaper med avseende på hälsofara, brandfara och explosionsfara. * Risk finnes vid kontakt eller kombination med andra ämnen. ** Stor sekundärrisk vid explosion.

Med hänsyn tagen till transporterad mängd och ämnesspecifika egenskaper anses explosiva ämnen, gaser och brandfarlig vätska utgöra den huvudsakliga risken för människa och omgivning.

Anmärkning:

Frätande ämnen kan ge allvarliga skador på människan. Dock anses riskområdet vid ett eventuellt utsläpp vara begränsat till utsläppets omedelbara närhet, och kommer inte att analyseras i denna rapport.

Oxiderande ämnen utgör 11 % av transporten på väg och 42 % av transporten på järnväg inom hamnområdet. Ämnena är mycket lättantändliga, de kan självantända vid kontakt med organiskt material, vilket kan medföra ett explosionsartat brandförlopp ofta följt av kraftig värmestrålning. Ämnena kan till viss del vara giftiga för djur, växtliv och även vattenorganismer. Som en approximation av konsekvenser vid en eventuell antändning kan hänvisas till fallet "utsläpp av brandfarlig vätska". Riskområdet anses vara koncentrerat till utsläppets omedelbara närhet och kommer inte att analyseras vidare i denna rapport.

2.6 Hantering av explosivt ämne

Mellan 15,7-41,1 ton explosivämne ankommer hamnen vid varje tillfälle och lagras i maximalt två dygn i ett för hamnen centralt beläget magasin, innan försändelsen åker vidare och en ny ankommer. Det explosiva ämnet lagras för närvarande på mark i en hallbyggnad uppförd i tegel med trätak på limträbalkar. Lagret är skyddat med automatiskt brandlarm direkt till räddningstjänsten samt inbrottslarm.

Hamnens hantering av sprängämne följer lag (1982:821) om transport av farligt gods, då lagringen av explosivämnet anses utgöra en del av förflyttningen från avsändare till slutlig mottagare.

3 ANALYSERADE SCENARIER

Under en period av ett år hanteras ca 10 000 ton farligt gods inom hamnområdet. I kapitel två fastställdes med hänsyn tagen till transportkvantiteter och ämnesspecifika egenskaper att explosiva ämnen, gaser och brandfarlig vätska utgjorde den huvudsakliga risken för människa och omgivning. På dessa grunder väljs därför följande skadehändelser att analyseras vidare:

3.1 Utsläpp av gas

6 % av transporterna på väg och 3 % av transporterna på järnväg utgörs av gaser. Det ämne som kommer att analyseras är svaveldioxid som är en tryckkondenserad, giftig och frätande gas. Valet att analysera ett utsläpp av svaveldioxid beror på att ämnet utgör en hälsofara även vid låga koncentrationer, vilket innebär att riskavstånden ofta är stora.

Ett utsläpp av en tryckkondenserad gas kan antingen ske momentant eller kontinuerligt. Med momentant utsläpp menas ett utsläpp till följd av att tanken har skadats så svårt att hela eller delar av innehållet i tanken strömmar ut. Det höga lagringstrycket i tanken gör att utströmningen sker momentant där gasen bildar ett tungt gasmoln som kan driva iväg med vindriktningen. Vid ett kontinuerligt utsläpp, som inträffar vid mindre läckage, strömmar gasen ut i en kontinuerlig ström tills läckaget tätas eller tills att tanktrycket överensstämmer med atmosfärtrycket.

3.2 Utsläpp av brandfarlig vätska

Det mest frekvent förekommande farliga godset inom området är brandfarlig vätska. 36 % av transporten av farligt gods på väg och 35 % av transporten på järnväg utgörs av brandfarliga vätskor. Det ämne som kommer att analyseras är koldisulfid, en mycket brandfarlig och giftig vätska vilken i värsta fall (på lång sikt) kan ge fosterskador och verka reproduktionsstörande.

Vid ett utsläpp av brandfarlig vätska kan vätskan antändas varvid omgivningen kommer att påverkas av kraftig värmestrålning. Värmestrålningseffekten och varaktigheten beror av vätskans karaktär, utsläppets storlek och pölstorlek. Strålningen kan bidra till att närliggande, brännbart material antänds. Ofta är förbränningsprodukterna efter den brandfarliga vätskan hälsovådliga.

3.3 Antändning av explosivt ämne

Hamnens hantering av blandsprängämne typ A utgör ungefär 18 % av den totala mängden farligt gods. Det explosiva ämnet transporteras på väg och via båt till hamnen.

Blandsprängämne typ A är enligt Räddningsverkets informationsbank (RIB) ett ämne med risk för massexplosion när ämnet utsätts för värmeexponering och/eller stöt. En explosion medför hög värmestrålning samt kraftig tryckvåg som kan ge skador på närliggande byggnader och människor i omgivningen.

4 SANNOLIKHETSBERÄKNING

Beräkning av sannolikheten för att en händelse skall inträffa kan vara svår då det statistiska underlaget ofta är begränsat. För att sannolikheten skall kunna anses som tillförlitlig krävs att beräkningarna utgår från ett väl underbyggt statistiskt material. Detta kan innebära svårigheter vid beräkningar rörande olyckor på järnväg, rangerbangårdar eller för händelser som sällan eller aldrig har inträffat. Metodik för beräkning av sannolikhet för utsläpp på väg och järnväg är hämtat från en rapport av VTI /5/, där det specificeras att använda olyckfrekvenser är approximativa.

För att kunna analysera riskerna på ett tillförlitligt sätt är det viktigt att sannolikhets- eller konsekvensberäkningarna inte innehar för stora osäkerheter eller grova approximationer. Scenariot antändning av explosivt ämne kommer inte att innefatta beräkning av sannolikhet, vilket diskuteras vidare i kapitel 4.3.

4.1 Sannolikhet för utsläpp vid transport på väg

Beräkningar av förväntat antal trafikolyckor med farligt gods på väg per år och sannolikheten för olycka med farligt gods på väg följer beräkningsmodellen i en rapport av VTI /5/.

Beräkningarna gäller sträckorna Dragongatan, Ekenäsgatan och Bornholmsgatan. Detta faller sig naturligt då de tillsammans utgör den skyltade vägleden för alla fordon som ankommer eller lämnar hamnen (se karta 1 i appendix 1). Resultatet av beräkningarna redovisas i tabell 4.1 och beräkningsgång samt indata återfinns i appendix 2.

UN-nummer	Ämne	Frekvens av farligt godsolycka, F_{tot}	Sannolikhet för ämnet, $S_{ämne}$	Utsläppsfrekvens, $F_{utsläpp}$ (år ⁻¹)
	Brandfarlig vätska	0,082	0,36	$3,0 \cdot 10^{-2}$
1100	<i>Allylchlorid</i>	0,082	0,005	$4,1 \cdot 10^{-6}$
1123	<i>Butylacetat</i>	0,082	0,015	$1,2 \cdot 10^{-3}$
1131	<i>Koldisulfid</i>	0,082	0,041	$3,4 \cdot 10^{-3}$
	Oxiderande ämnen	0,082	0,11	$9,0 \cdot 10^{-3}$
2014	<i>Väteperoxid</i>	0,082	0,035	$2,9 \cdot 10^{-3}$
	Frätande ämne	0,082	0,22	$1,8 \cdot 10^{-2}$
	Gaser	0,082	0,062	$1,7 \cdot 10^{-4}$
1079	<i>Svaveldioxid</i>	0,082	0,015	$4,1 \cdot 10^{-5}$

Tabell 4.1 Utsläppsfrekvens för farligt gods vid vägtransport.

Av tabell 4.1 kan utläsas att frekvensen för farlig godsolycka är 0,082 vilket motsvarar ett förväntat antal av 12 år mellan varje farligt godsolycka. Frekvensen för utsläpp av antingen brandfarlig vätska, gas, frätande- eller oxiderande ämne motsvarar ett förväntat antal av 18 år mellan varje utsläpp.

4.2 Sannolikhet för utsläpp vid transport via järnväg

Beräkningar av förväntat antal urspårningar per år under rangering på rangerbangården och sannolikheten för olycka med farligt gods på järnväg följer beräkningsmodellen i en rapport av VTI /5/.

Beräkningarna av sannolikhet för utsläpp vid transport via järnväg redovisas i appendix 3, och resultatet av beräkningarna presenteras i tabell 4.2.

UN-nummer	Ämne	Olycksfrekvens, F (år^{-1})	Frekvens av utsläpp, F_u	Sannolikhet för ämnet, $S_{\text{ämne}}$	Utsläppsfrekvens, $F_{\text{utsläpp}}$ (år^{-1})
	Brandfarlig vätska	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,12	0,35	$1,8 \cdot 10^{-5}$
1100	<i>Allylklorid</i>	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,12	0,07	$3,6 \cdot 10^{-6}$
1123	<i>Butylacetat</i>	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,12	0,08	$4,1 \cdot 10^{-6}$
1131	<i>Koldisulfid</i>	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,12	0,21	$1,1 \cdot 10^{-5}$
	Oxiderande ämnen	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,12	0,42	$2,2 \cdot 10^{-5}$
2014	<i>Väteperoxid</i>	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,12	0,38	$2,0 \cdot 10^{-5}$
	Frätande ämne	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,12	0,06	$3,1 \cdot 10^{-6}$
	Gaser	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,12	0,03	$1,5 \cdot 10^{-6}$
1079	<i>Svaveldioxid</i>	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,03	0,03	$3,9 \cdot 10^{-7}$

Tabell 4.2 Utsläppsfrekvens för farligt gods vid transport på järnväg.

Av tabell 4.2 kan utläsas att olycksfrekvensen för farligt gods är $4,3 \cdot 10^{-4}$ vilket motsvarar ett förväntat antal av ca 2300 år mellan varje olycka med farligt gods. Detta överensstämmer väl med olycksstatistik från Banverket /24/ för år 2000. Frekvensen för utsläpp av antingen brandfarlig vätska, gas, frätande- eller oxiderande ämne motsvarar ett förväntat antal av 22 500 år mellan varje utsläpp.

4.3 Sannolikhet för detonation/deflagration av explosivt ämne

Beräkning av sannolikheten för deflagration/detonation av explosivämne är en mycket komplicerad process, som kräver stor kännedom om ämnets kemikaliska och fysiologiska egenskaper. Enligt uppgifter från Förvarshögskolan /21/ finns beräknade sannolikheter för explosion av militära ammunitionsförråd i Sverige, där en sannolikhet av $5 \cdot 10^{-5}$ ges för explosion av en förrådsbyggnad. Vidare har IOC har upprättat en databas (DDESB) för olyckor i samband med hantering av explosivt ämne /21/ vilken utgör underlag för sannolikhetsuppgifter enligt tabell 4.3.

Användningsområde	Sannolikhet
Långtidsförvaring	$3,4 \cdot 10^{-4}$
Tillfällig förvaring	$6,3 \cdot 10^{-4}$
Lastning	$8,6 \cdot 10^{-4}$

Tabell 4.3 Sannolikhet för detonation/deflagration av explosivt ämne.

Vare sig sannolikhetsuppgifter från Förvarsmakten eller IOC kan anses tillämpningsbara för lagret i hamnen. Att använda sig av dessa sannolikhetsuppgifter som underlag för beräkning av risk anses otjänligt på grund av de stora osäkerheter och grova approximationer som användandet skulle innebära. Det kan därför endast konstateras att sannolikheten för detonation/deflagration av explosivämne finnes, och då i storleksordningen en gång per 1200 år vid lastning/lossning och en gång per 20 000 år för militärt ammunitionsförråd i Sverige. Beräkning av risk förbunden med hantering av explosivämne kommer därför inte att inkludera sannolikhet, utan endast konsekvensen av en eventuell händelse.

5 KONSEKVENSANALYS

Konsekvensen av en olycka är beroende av olika variabler som till exempel vindhastighet, väderklass, områdets topografi, utsläppets storlek och art. En skattning av de olika variablerna kan innebära osäkerheter i resultaten. Beroende på hur man väljer att kombinera de olika parametrarna erhålls olika resultat som här kommer att redovisas som riskavstånd. För att minimera osäkerheten i resultaten, vid beräkning av ämnen i klass 2 och 3, sätts variationer hos några olika parametrar som fördelningar i stället för som enstaka konstanta, diskreta värden. Riskavståndet blir med detta beräkningssätt inte ett fixt, absolut värde utan det varierar beroende på vilka förhållanden som råder vid ett eventuellt utsläpp.

Analyserade scenarier för området är (se kapitel 3); utsläpp av brandfarlig vätska, utsläpp av tryckkondenserad gas och antändning av explosivt ämne. Vidare uppskattas konsekvenser av en järnvägs- respektive vägolycka bli densamma. Denna approximation görs med grund i att järnvägsvagnarna inom banområdet rör sig med en lägre hastighet än vad gäller vägtransporterna, samt att järnvägsvagnarna har större godstjocklek än vägtransporterna. Det som bedöms skilja dessa åt i fortsättningen är transportkvantiteterna som avgör möjlig pölstorlek.

I konsekvensanalysens följande delkapitel används olika kritiska gränsvärden för påverkan på människa och egendom. Ett gränsvärde kan anges på olika sätt, vilket också påverkar resultatet. I varje delkapitel anges använda, kritiska gränsvärden med tillhörande påverkan på människan och/eller egendom. Som exempel används LC_{50} -värdet (Lethal Concentration 50 %) som kritiskt gränsvärde vid exponering av toxiskt ämne. De gränsvärden som används i denna rapport är tagna från väletablerad litteratur med tillhörande, rådande kriterier.

5.1 Utsläpp av tryckkondenserad gas

Beräkningar och förfarande i en konsekvensanalys av tryckkondenserade gaser är likartade oberoende av vilka ämnen som analyseras. Konsekvensen av en olycka är beroende av olika variabler/parametrar. Variablerna kan anta olika värden inom rimliga gränser. Beroende på hur man väljer att kombinera de olika parametrarna fås olika resultat som redovisas som riskavstånd. Riskavståndet beror bland annat av följande parametrar:

Parameter	Enhet
<i>Temperatur</i>	(°C)
<i>Tanktryck</i>	(kPa)
<i>Vindhastighet</i>	(m/s)
<i>Väderstabilitetsklass</i>	-
<i>Håldiameter</i>	(m)
<i>Kontraktionstal, C_d</i>	-

Tabell 5.1 Ett urval parametrar för vilket riskavståndet är beroende av.

Vilka parametrar som har störst inverkan på riskavståndet undersöks i appendix 4.4. Som kritisk gränsvärde för påverkan på människan och egendom används det aktuella ämnets LC_{50} -värde.

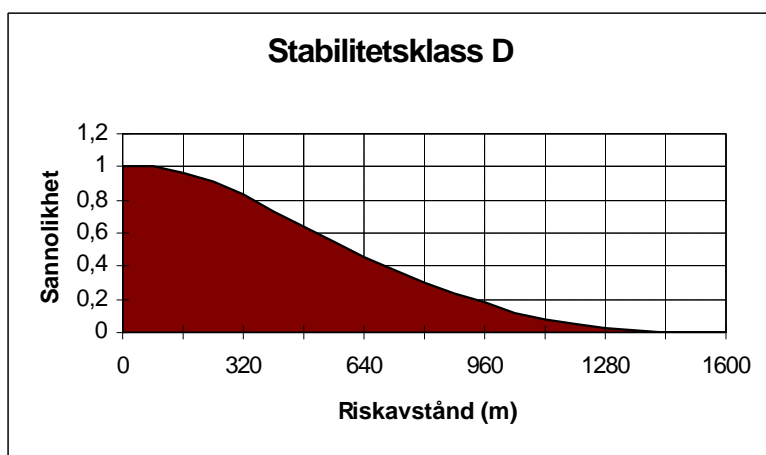
En utförlig beräkning av konsekvenser av utsläpp av tryckkondenserad gas, samt beräkningsunderlag, återfinns i appendix 4.

I beräkningarna antas alla som befinner sig inom riskavståndet för LC_{50} -värdet att omkomma. I verkligheten är det självfallet inte alla inom gränsen som dör, likaså är det troligt att någon människa utanför gränsen omkommer till följd av utsläppet.

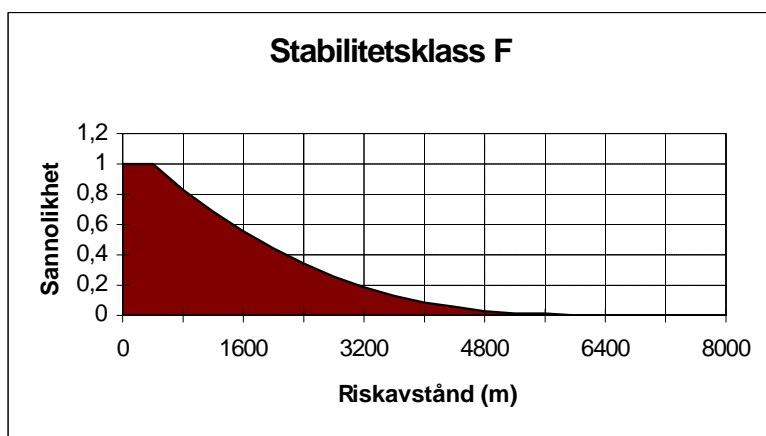
5.1.1 Resultat av konsekvensanalys för utsläpp av svaveldioxid

I appendix 4.4 konstateras att de parametrar som har störst inverkan på riskavståndet är, i avtagande följd; håldiameter, vindhastighet och stabilitetsklass. Riskavståndet skiljer sig inte mycket mellan stabilitetsklass B och D, men för stabilitetsklass F är riskavståndet nästan tre gånger längre än resultaten för klass B och D.

I figur 5.1 presenteras sannolikhetsfördelningen för klass D (något instabil till neutral skiktning) som enligt appendix 4.3 förekommer i ungefär 70 % av tillfällena per år. I figur 5.2 presenteras sannolikhetsfördelningen för stabilitetsklass F (något stabil till mycket stabil skiktning) som förekommer i cirka 26 % av fallen.



Figur 5.1 Sannolikhetsfördelning för riskavståndet för svaveldioxid, stabilitetsklass D.



Figur 5.2 Sannolikhetsfördelning för riskavståndet för svaveldioxid, stabilitetsklass F.

Riskavståndet i figurerna 5.1 och 5.2 presenterar sannolikheten att riskavståndet är lika med, eller överstiger ett visst antal meter. Det kan till exempel utläsas i figur 5.1 att i 80 % av fallen är, eller överstiger, riskavståndet 320 meter.

5.2 Utsläpp av brandfarlig vätska

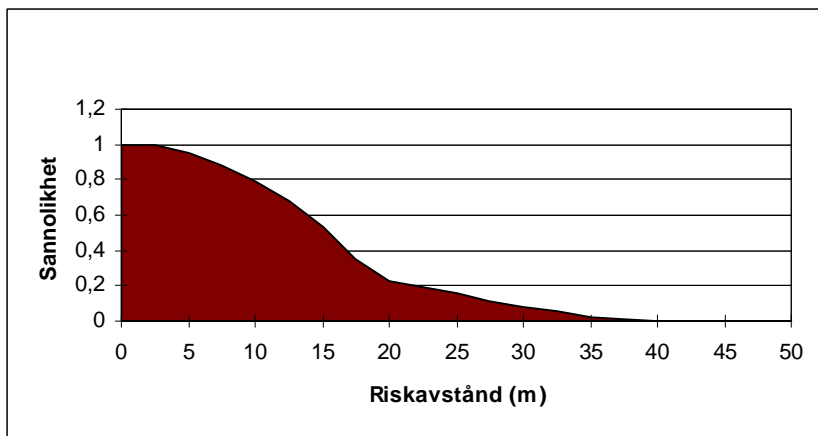
Vid ett utsläpp av en brandfarlig vätska bildas en pöl som kan antändas varvid värmestrålning avges till omgivningen. Värmestrålningseffekten och varaktigheten beror av vätskans karaktär, utsläppets storlek och pölstorlek. Beroende av atmosfärens transmissionsförmåga, som i sin tur varierar med lufttemperaturen, och vinkelförhållande till branden, avtar den infallande strålningen med ökat avstånd till branden.

Metodiken för beräkning av riskavståndet vid en pölbrand av koldisulfid presenteras i appendix 5, och är lämpad för beräkning av riskavstånd för de flesta brandfarliga vätskor.

Som kritiskt gränsvärde för värmestrålning används 10 kW/m^2 som är ett gränsvärde där livshotande skada på människan bedöms uppstå /11/.

5.2.1 Resultat av konsekvensanalys för utsläpp av koldisulfid

Beräkning utförs för koldisulfid som är en svavelhaltig vätska med en flampunkt på -30C . Enligt sannolikhetsfördelning av riskavståndet, figur 5.3, kommer riskavståndet i 80 % av utsläppstillfällena överstiga 10 meter, och i 20 % av tillfällena att vara mer än 20 meter.



Figur 5.3 Sannolikhetsfördelning för riskavståndet för koldisulfid.

Resultaten visar att ett utsläpp av koldisulfid kommer att påverka Ystad hamnområde i begränsat omfattning.

5.3 Antändning av explosivt ämne

Explosiva ämnen definieras som ämnen, eller blandning av ämnen, vilka kan ge explosioner genom värmeutveckling, så kallade exoterma reaktioner. Förbränning av explosivämnen kan ske dels genom deflagration, dels genom detonation. Gemensamt för dessa är att det bildas eldklot med en inre temperatur av upp till 5000 K.

Med deflagration menas en kedjereaktion som startas med värme varmed reaktionszonen sprids genom explosivämnet på grund av värmeledning. Detonation avser en seriekollisionsprocess där reaktionen startas genom stöt. Följderna av förbränningen av ett explosivämne är värmestrålning, tryck och utstötningar av splitter.

Detonation ger som regel större konsekvenser än för deflagration av explosivämne, på grund av kraftigare tryckvåg och mer splitter. Dessutom gäller att eldklotets inre temperatur är större vid detonation men har en längre varaktighet vid deflagration.

Explosivämnen, klass 1, delas upp i sex divisioner, från 1 (högsta riskklass) till 6 (lägsta riskklass) beroende på ämnenas risker /19/. Vidare delas divisionerna upp i tretton undergrupper från A till S beroende av explosivämnets specifika innehåll. Enligt FN's *Recommendations on the Transport of dangerous goods* /23/ klassas Blandsprängämne typ A som 1.1 D. Detta betyder att explosivämnet tillhör högsta riskklassen (ämnen eller artiklar som innehar en massexplosionsrisk), samt att explosivämnet innehåller en blandning av organiska nitrösa ämnen och brännbara material som hydrocarboner och aluminiumpulver, som vid normal användning snarare detonerar än deflagrerar vid detonation /23/.

Energiinnehållet för Blandsprängämne typ A uppskattas vara den samma som för Trotyl under beräkningarna. Detta då det är svårt att få ämnesspecifika uppgifter för det aktuella sprängämnet. Då explosivämnet lagras på mark används formler för halvsfärisk utbredning vid beräkning.

I kapitel 2 har tidigare nämnts att mellan 15,7 och 41,1 ton sprängämne ankommer hamnen vid varje tillfälle. Beräkningarna delas därför upp i två fall, detta för att se huruvida mängden har någon inverkan på skadeföljderna.

Eldklotens storlek och varaktighet beräknas för att tillsammans med beräkning av mottagen strålningsenergi kunna ge riskavstånd från laddningen vid en explosion. Beräkningsunderlag samt skadekriterier, tabell 5.4, för brännskador är uppgifter tagna från /1/.

Övertryck och impulstäthet beräknas för att kunna bestämma skadeverkan av tryck på människor och byggnader. Skadeverkan av splitter utreds inte på grund av bristande beräkningsunderlag samt att de grova uppskattningar som måste till gör att en trovärdig bedömning inte anses möjlig. Splitter kan dock såra eller döda människor beroende på vart fragmenten träffar, och det rekommenderas därför att skadeverkan på grund av splitter utreds i en senare rapport.

5.3.1 Skadeföljder på grund av värmestrålning

Värmestrålning från eldklotet kan medföra brännskador på människor och antändning av textilier och byggnadsmaterial. Brännskador på människor delas in i en tregradig skala:

- 1:a gradens brännskador som ger röd, öm och torr hud.
- 2:a gradens brännskador som medför blåsbildning, samt röd och våt hud.
- 3:e gradens brännskador som ger torr, vit, gul eller svart, bränd hud där nervändarna är skadade och hudens känsel är förlorad.

Risken att dö beror inte bara på graden brännskada eller hur stor del av kroppen som är bränd, utan också på allmäntillstånd och ålder på den utsatta människan. Som regel kräver 2:a och 3:e gradens brännskador behandling på sjukhus på grund av att infektionsrisken är den största dödsorsaken.

Tiden under vilken en person utsätts för värmestrålning är en viktig faktor för hur brännskadans omfattning blir. I tabell 5.2 anges brännskadekriterier beroende av mottagen strålningsenergi och varaktighet.

Brännskador	Mottagen strålningsenergi (kJ/m ²)	
	Lång exponeringstid (10s)	Kort exponeringstid (1s)
1:a gradens brännskada	50 kJ/m ²	80 kJ/m ²
2:a gradens brännskada	120 kJ/m ²	200 kJ/m ²
3:e gradens brännskada	200 kJ/m ²	350 kJ/m ²

Tabell 5.2 Skadekriterier för brännskador beroende av totalt mottagen värmestrålningsenergi /1/.

Beräkning rörande värmestrålning görs i två steg. Det första steget är att beräkna eldklotens storlek och varaktighet som tillsammans med steg två, beräkning av mottagen strålningsenergi, ger riskavstånd från laddningen vid en explosion. Beräkningarna redovisas i appendix 6.

Fall 1. Verkan av explosion av 15.7 ton sprängämne:

Enligt uppgifter från /3/ är flamtemperaturen vid förbränning av Trotyl 2829 K. Trotyl uppges vidare att ha en energiutveckling av 5,42 MJ/kg.

Riskavståndet med hänsyn till totalt mottagen strålningsenergi, beräknad med värden för lång exponeringstid, visas i tabell 5.3. Med riskavstånd menas här på vilket avstånd från laddningens centrum som en brännskada kan uppstå. Värdet för 99 % dödlighet fås för exponeringstiden 7,5 s till 3000 kJ/m² /11/.

Brännskador	Mottagen strålningsenergi (kJ/m²) vid 7,5 s exponeringstid	Riskavstånd (m), avstånd från laddningscentrum
1:a gradens brännskada	50 kJ/m ²	260 m
2:a gradens brännskada	120 kJ/m ²	168 m
3:e gradens brännskada	200 kJ/m ²	130 m
99 % döda	3000 kJ/m ²	34 m

Tabell 5.3 Riskavstånd med hänsyn till mottagen strålningsenergi.

Personer som befinner sig inom 34 m från laddningens centrum vid en explosion kan anses få så allvarliga brännskador att 99 % dödlighet inte är osannolikt.

Fall 2. Verkan av explosion av 41,1 ton sprängämne:

Beräkningarna sker enligt fallet med den mindre mängden sprängämne. Det beräknas att eldklotets varaktighet för 41,1 ton sprängämne är 10,3 sekunder, vilket är en lång exponeringstid enligt tabell 5.2.

Riskavståndet med hänsyn till totalt mottagen strålningsenergi, beräknad med värden för lång exponeringstid (precis som i fall1) visas i tabellen nedan. Värdet för 99 % dödlighet fås för exponeringstiden 10,3 s till 1545 kJ/m² /11/.

Brännskador	Mottagen strålningsenergi (kJ/m²) vid 10,3 s exponeringstid	Riskavstånd (m), avstånd från laddningscentrum
1:a gradens brännskada	50 kJ/m ²	421 m
2:a gradens brännskada	120 kJ/m ²	272 m
3:e gradens brännskada	200 kJ/m ²	211 m
99 % döda	1545 kJ/m ²	76 m

Tabell 5.4 Riskavstånd med hänsyn till mottagen strålningsenergi.

Personer som befinner sig inom 76 m från laddningens centrum vid en explosion kan anses få så allvarliga brännskador att 99 % dödlighet inte är osannolikt.

5.3.2 Skadeföljder på grund av tryck

Beräkning av skadeverkan av tryck grundas på beräkningsmodeller från /3/ där författaren preciserar att modellerna är approximativa och enkelt utformade för att kunna utföras med handräkning.

Vid en explosion av sprängmedel bildas ett övertryck. Övertrycket utgör den primära orsaken till skador på människor och byggnader. Den sekundära orsaken till skador är kast av föremål, splitter på grund av tryck. Den tertiära skadeorsaken är att människan kastas i väg av tryckvågen ofta med frakturer och allvarliga skador till följd. För beräkning av skadeföljderna är det viktigt att även känna till impulstätheten (se bilaga 6, figur 6.3).

Människan klarar generellt sätt högre storleksmässigt tryck än byggnader innan permanenta skador uppstår. Gränsvärden för olika typer av skador med tillhörande övertryck finns i tabellen nedan. Angivna värden avser vinkelrätt infallande tryck och är medelvärden av gränsvärden tagna från olika referenslitteratur /1/ /2/ /4/ och /11/.

Skada	Infallande övertryck (kPa)
Krossade fönsterglas	3-7 kPa
Trumhinneruptur	35 kPa
Lastade tågagnar omkullvält	48 kPa
Allvarlig lungskada	70 kPa
1 % döda	180 kPa
50 % döda	260 kPa
99 % döda	350 kPa

Tabell 5.5 Gränstryck för olika skadenivåer.

Vid en eventuell byggnadskollaps antas uppskattningsvis 1/3 av de personer som befinner sig inom raszonen dödas och ytterligare 1/3 skadas /4/. För byggnaderna inom hamnområdet skattas en väggkollaps medföra en invändig raszon på 5 meter.

Explosioner inne i byggnader ger lägre tryck utanför byggnaden än vid en explosion utan inneslutning. Detta lär också vara fallet för explosivämneslagret. I samråd med Thomas Carlsson, expertis på FOI, tas däremot ingen hänsyn till laddningens inneslutning vid vidare beräkningar, utan beräkningarna görs som för explosion ute i det fria. Detta grundas på uppgifter om laddningsviktens förhållande till byggnadsvolym samt byggnadskarakteristika som gör att omedelbar byggnadskollaps förväntas vid en eventuell explosion, vilket gör att laddningens inneslutning kan anses som försumbar.

Beräkning görs för byggnadsobjekten HB05, HB08 och HB22. Beräknings- och tabellunderlag finns i appendix 6.

Resultat:

Skadeomfattningen på de olika objekten beroende av det beräknade reflekterade trycket i appendix 6, tillsammans med uppgifter om gränsvå för skador på människan, utgör grundlag för tabellen nedan.

Skada	Infallande övertryck (kPa)	Riskavstånd (m)	
		<i>15,7 ton sprängämne</i>	<i>41,1 ton sprängämne</i>
Krossade fönsterglas	7 kPa	500 m	650 m
Trumhinneruptur	35 kPa	140 m	180 m
Lastade tågagnar omkullvälts	48 kPa	110 m	160 m
Allvarlig lungskada	70 kPa	95 m	130 m
1 % döda	180 kPa	70 m	110 m
50 % döda	260 kPa	55 m	85 m
99 % döda	350 kPa	40 m	75 m

Tabell 5.5 Riskavstånd för skador på byggnader och människa.

Skillnaden mellan explosion av den lägre och större mängden sprängmedel i riskavstånd mätt, är ungefär 50 %. Det kan därav konstateras att lagringsmängden har stor inverkan på skadeföljderna.

Enligt beräkningar redovisade i appendix 6, kommer byggnaderna HB08 och HB22 att få omfattande skador och väggekollaps. Detta innebär att även personer som befinner sig inomhus i de aktuella byggnaderna är utsatta för risken att skadas allvarligt eller dödas.

6 RISKANALYS

Definitionen av risk är, som nämnt tidigare, sannolikheten för en olycka multiplicerad med dess konsekvens. Risken kan, enligt kapitel 2, beräknas och redovisas på två mätbara sätt; antingen som en individrisk eller som en samhällsrisk. Individrisken är sannolikheten för att en enskild individ på ett givet avstånd skall omkomma till följd av en olycka inom hamnområdet. Individrisken är oberoende av hur många individer som vistas inom området. Samhällsrisk är ett övergripande mått för risken samhället utsätts för och är till skillnad från individrisken beroende av hur många individer som exponeras vid en olycka.

I rapporten analyseras risken för två ämnen; koldisulfid som är en brandfarlig vätska, och svaveldioxid som är en tryckkondenserad gas. Orsaken till att risken för deflagration/detonation av explosivämne inte ingår i analysen, ligger i svårigheterna med att beräkna sannolikheten för att händelsen skall inträffa (se kapitel 4.3).

Beräkningarna redovisas för ett utsläpp på Bornholmsgatan, vilket anges som utsläppspunkt. Riskavstånden vid utsläpp är de samma oberoende av vart dom inträffar inom hamnen. Utsläppspunkt kan därför flyttas till önskat plats inom hamnområdet, för att på så sätt kunna se hur individ- respektive samhällsrisk avspeglar sig på området.

6.1 Individrisk

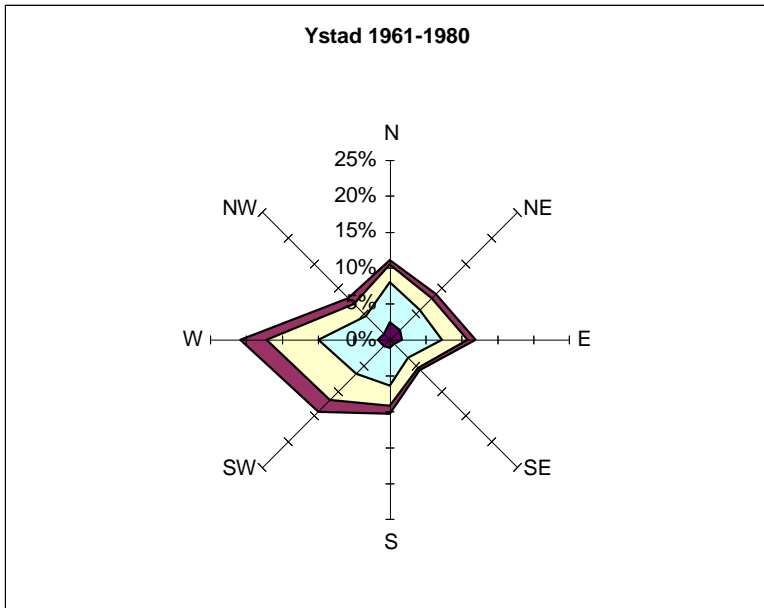
Genom en sammanvägning av sannolikhet och konsekvens kan individrisken bestämmas. Konsekvensen som beräknas är resultatet död, enligt kritiska gränsvärdena angivna i kapitel 5. Kriterier som används för individrisk är (se även kapitel 2.1.1):

- En övre gräns på 10^{-5} omkomna per år för områden där risker under vissa förutsättningar kan tolereras.
- En övre gräns på 10^{-7} omkomna per år för områden där risker kan anses som små.

Syftet med ovanstående riskkriterier är att begränsa risken för människor som vistas inom hamnområdet. Riskkriterierna tillämpas inte för hamnens personal, utan endast för allmänheten inom hamnområdet /9/. För att beräkna individrisken behövs följande beräkningsunderlag:

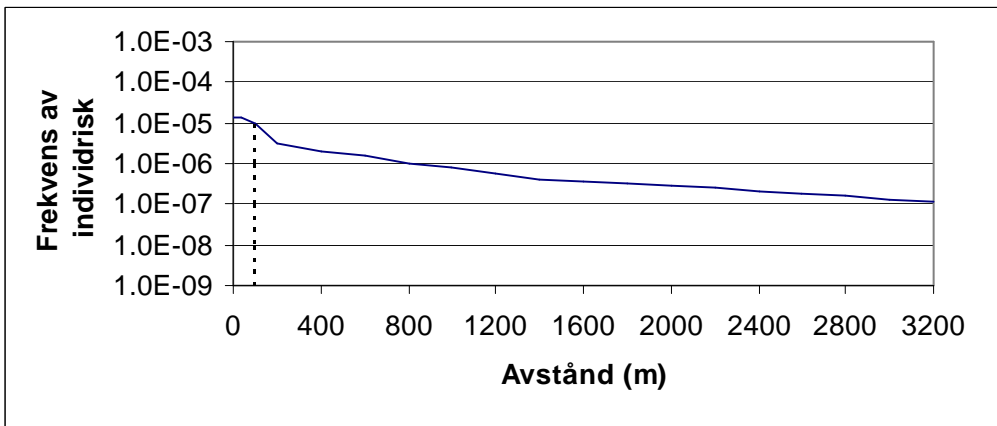
- Uppgift om sannolikheten för ett visst riskavstånd vid utsläpp av ett givet ämne (kapitel 5).
- Uppgift om vindens fördelning för de olika väderstrecken (figur 6.1).
- Stabilitetsklassernas fördelning (appendix 4.3).
- Utsläppsfrekvenser för de olika transportslagen (appendix 2 och 3).

Individrisken beräknas sedan som summan av de enskilda ämnernas utsläppsfrekvens, multiplicerad med sannolikheten för ett visst riskavstånd, enligt appendix 7. Riskerna skiljer sig dock åt beroende på vilken riktning vindens blåser mot. Figur 6.1 visar sannolikheten för att vinden blåser mot de olika väderstrecken /16/.



Figur 6.1 Vindrosdiagram för Ystad.

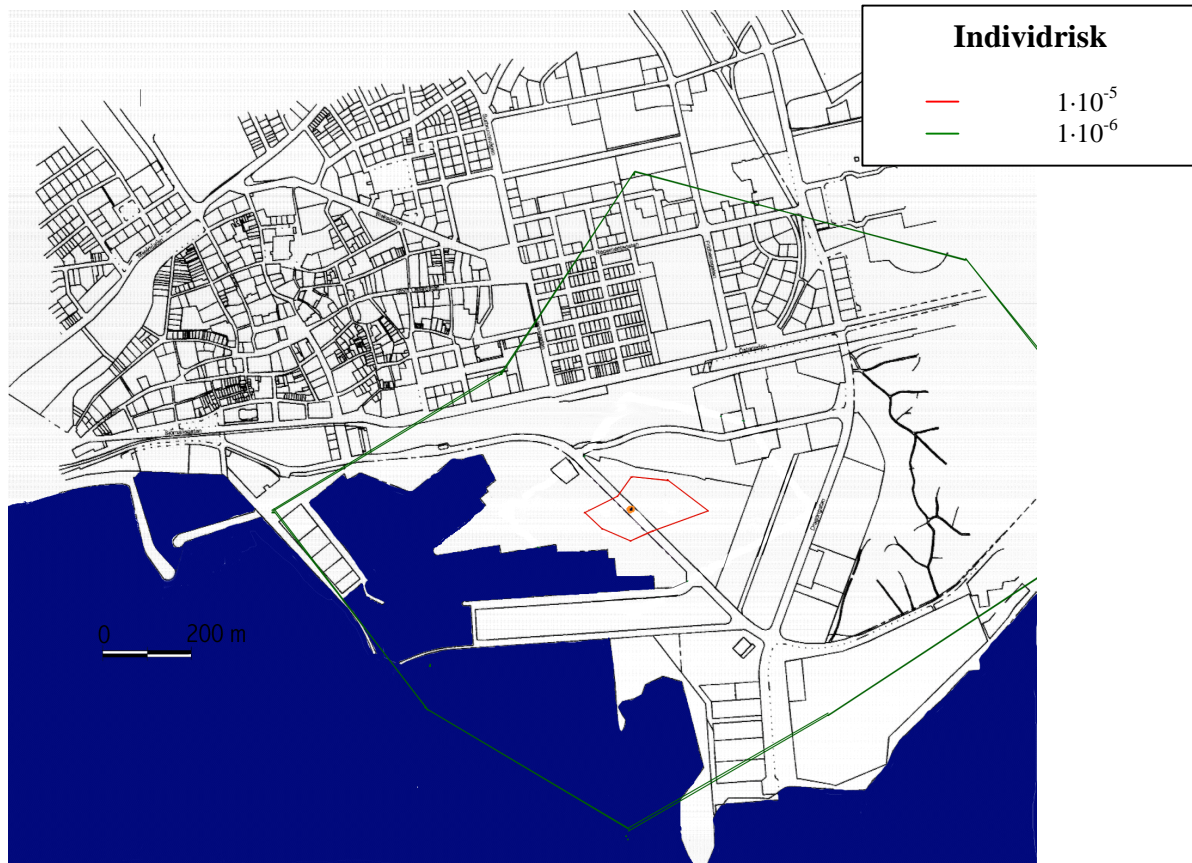
Genom att väga in sannolikheten för att det blåser i en given vindriktning, kan individrisken presenteras som en fördelning över medelindividrisken beroende av avstånd från utsläppet, se figur 6.2.



Figur 6.2 Fördelning över medelindividrisk beroende av avståndet.

I figur 6.2 kan avläsas att över ett avstånd av 95 meter (från utsläppspunkten) kan risker under vissa förutsättningar accepteras. Över ett medelavstånd av ca 3200 meter från utsläppspunkt kan riskerna för den enskilda individen anses som små. I zonen däremellan, den så kallade ALARP-zonen, bör riskerna begränsas så mycket som möjligt sett utifrån ett samhällsekonomiskt och tekniskt perspektiv. Med andra ord kan risker tolereras om alla möjliga åtgärder är vidtagna.

Genom att sedan beräkna individrisken för en mängd olika riskavstånd kan denna presenteras som en riskkontur för området (figur 6.3).



Figur 6.3 Riskkontur för individrisk, Ystad hamnområde.

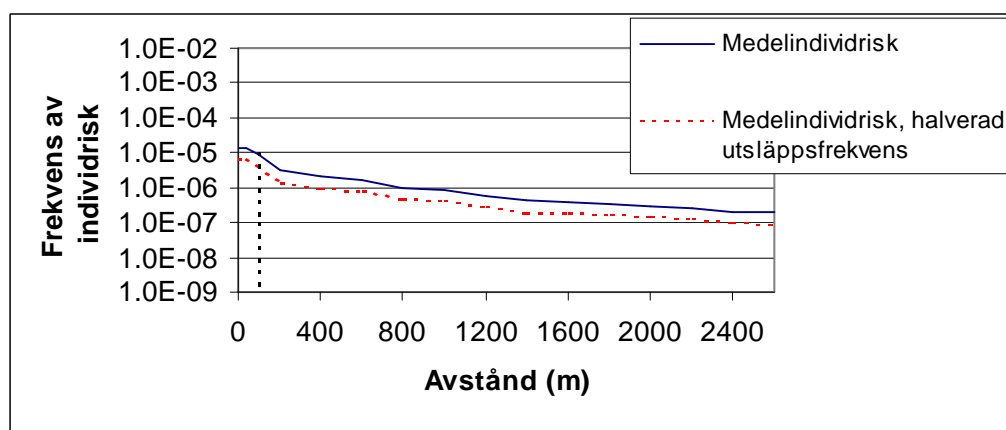
Risikkonturen redovisar en individs risk att omkomma en gång per hundra tusen år respektive en gång per miljon år beroende av vindriktning. Av riskkonturen kan utläsas att individrisken överstiger 10^{-5} omkomna per år i en gräns av ca 100 meter från utsläppsplats Bornholmsgatan beroende på vindriktning, vilket bedöms som oacceptabelt enligt valda acceptanskriterier.

Anmärkning:

Det lägre acceptanskriteriet 10^{-7} döda per år överstiger det beräknade avståndet 3200 m för enstaka vindriktningar. Orsaken till de relativt långa avstånden för individrisken är vindförhållandena i Ystad. I kapitel 5.1, med olika sannolikhetsfördelningar för riskavståndet för svaveldioxid, kan utläsas att stabilitetsklass F ger långa riskavstånd. Denna stabilitetsklass förekommer i över 26 % av tillfällena, och är således en bidragande orsak till det relativt långa avståndet för medelindividrisken.

6.1.1 Känslighetsanalys

Då indata för beräkning av individrisken består av fördelningar har eventuella osäkerheter i beräkningarna redan tagits hänsyn till i analysen. Det är intressant att titta på individriskens känslighet för minskad transportmängd samt minskad utsläppsfrekvens. I figur 6.4 visas medelindividrisken samt medelindividrisken efter att halverat utsläppsfrekvensen.



Figur 6.4 Medelindividrisk med halverad utsläppsfrekvens.

Koldisulfid ger riskavstånd kring 40 meter. Svaveldioxid ger däremot riskavstånd långt över 40 meter och ger därav störst riskbidrag till individrisken. En översiktsberäkning visar att en minskad transporterad mängd svaveldioxid endast påverkar individrisken marginellt.

Olycksfrekvensen för väg- respektive järnvägstransport är 0,082 respektive 0,00043 olyckor per år. Detta avspeglar sig i de olika transportslagens riskbidrag till individrisken, där vägtransporterna står för det största bidraget.

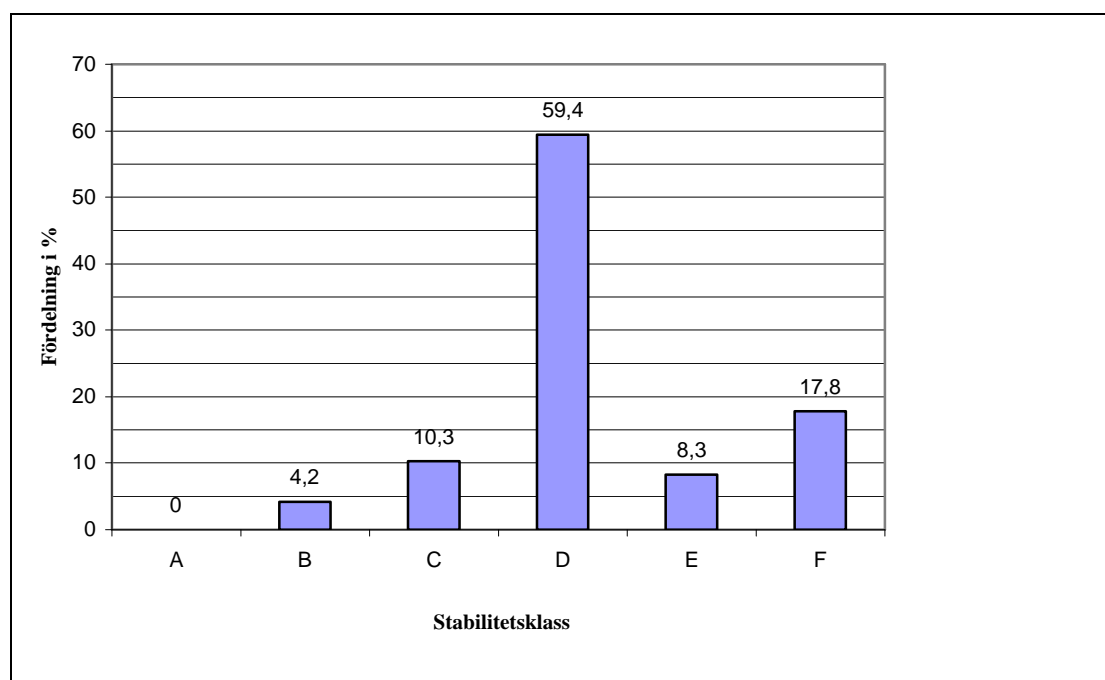
En reducering av utsläppsfrekvensen för svaveldioxid och koldisulfid ger ingen större skillnad på individriskernas gränser (ca 20 % minskning), vilket betyder att individrisken måste sänkas med hjälp av konsekvens- och sannolikhetsreducerande åtgärder.

6.2 Samhällsrisk

Risken för ett kollektiv av människor kan uttryckas i samhällsrisk. Storleken på samhällsrisken beror av hur många som exponeras vid ett utsläpp. För att beräkna samhällsrisken krävs följande beräkningsunderlag:

- Befolkningstäthet/antal personer som vistas utomhus i området (appendix 7), samt uppskattning om dennas variation beroende av tid på dygnet.
- Fördelning av vind- och stabilitetsklass (appendix 4.3).
- Sannolikhetsfördelningar över riskavståndet (kapitel 5).

För en mer utförlig redovisning av beräkningarna hänvisas till appendix 7, samhällsrisk. I beräkningarna ingår stabilitetsklassernas frekvenser, och dessa kan utläsas av figur 6.5 /16/.



Figur 6.5 Fördelning av stabilitetsklasser för Skillinge, mellan åren 1996-2000.

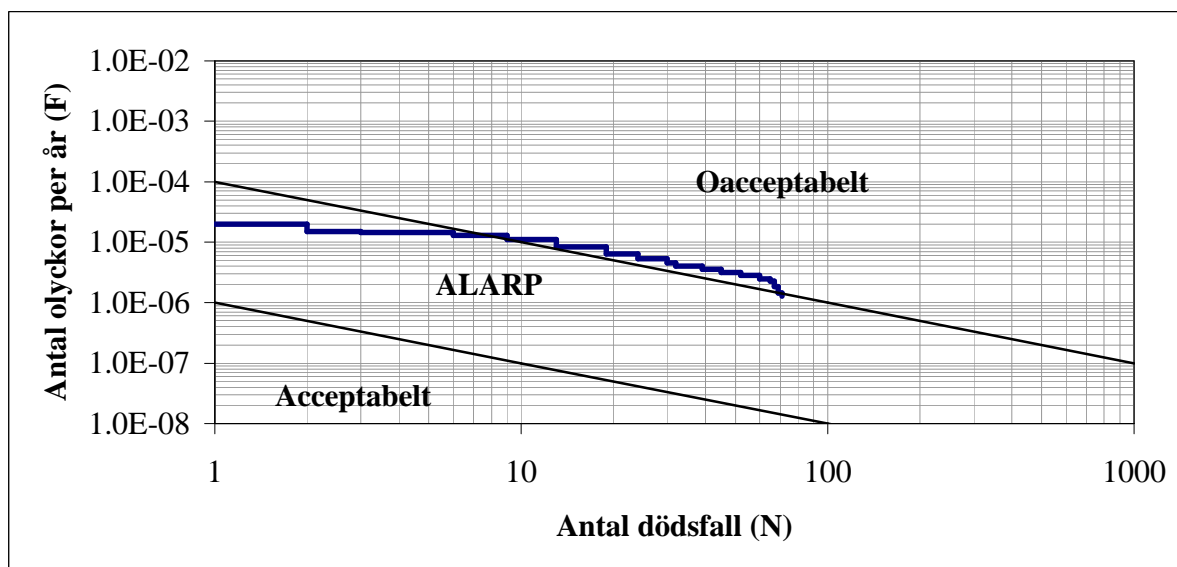
Stabilitetsklass E och F utgör 26,1 % av de förekommande klasserna. Klass E och F är sammanslaget till klass F (se appendix 4.3) och representerar en stabil skiktning av atmosfären. I och med att klass F bidrar till långa riskavstånd är det nödvändigt att utreda när denna skiktningstyp uppstår. Stabil skiktning uppstår om marken har lägre temperatur än lufttemperaturen ovanför, samt när vindstyrkan är mindre än 4-5 m/s.

Generellt kan sägas att den stabila skiktningen uppstår vid /4/:

- vid klart väder nattetid
- vid relativt klart väder dagtid på vintern
- vid frånlandsvind över kallt vatten på vår och försommar
- vid pålandsvind under hösten

Det statistiska underlaget för rådande stabilitetsklasser är ett medelvärde för en fyraårsperiod och medger inte möjlighet att utläsa stabilitetsklassernas variation med dygnet. Av denna orsak görs beräkningarna för samhällsrisk som ett medelvärde för dygnet baserad på tillgänglig statistik.

Beräkningarna utförs för båda dag- och nattetid och viktas sedan samman. Med dagtid menas tiden mellan sex på morgonen till sex på kvällen. Samhällsrisk beräknas som medelantalet döda av de som befinner sig utomhus per dygn. Medelantalet döda tillsammans med sannolikhetsfördelningar över riskavståndet, ger att samhällsrisk kan presenteras som en FN-kurva enligt figur 6.6.



Figur 6.6 Samhällsrisk i jämförelse med acceptanskriterier framtagna av DNV /9/.

För konsekvensen 0-8 döda ligger risken i den så kallade ALARP-zonen vart risker kan tolereras om alla rimliga åtgärder vidtagits. Från 8 döda och uppåt överstigs det övre gränskriteriet vilket betyder att riskbilden och skyddsbehovet står i konflikt med varandra. Att gränskriteriet överskrivs beror på att det från 600 m från utsläppspunkt finns båda skolor, lasarett och stadskärna vart persontätheten är hög.

7 SLUTSATSER

Efter att beräknat konsekvens och sannolikhet för olyckor med koldisulfid och svaveldioxid, har individrisk och samhällrisk för hamnområdet beräknats. Utsläppspunkt är Bornholmstgatan (se figur 6.3). I och med att beräkningarna har begränsats till att endast omfatta två av hamnens många hanterade ämnen, är (logiskt sett) beräknat individ- och samhällrisk något lägre än i verkligheten. Det bör observeras att beräkning av risk baseras på ett delvis begränsat statistisk underlag, vilket gör att resultaten inte bör ses som absoluta risknivåer.

Inom 95 meter är individrisken oacceptabel. Mellan 95 och 3200 meter kan individrisken under vissa förutsättningar tolereras. Över 3200 meter anses riskerna vara små och står därför inte i konflikt med skyddsbehovet. En känslighetsanalys av utsläppsfrekvensen för svaveldioxid och koldisulfid visar att en halvering av utsläppsfrekvensen enbart ger ca tjugo procents minskning av riskavståndet. Detta betyder att individrisken måste sänkas med hjälp av konsekvens- och sannolikhetsreducerande åtgärder.

Samhällsriskerna är oacceptabla enligt valda acceptanskriterier för konsekvensen fler än 8 döda, vilket innebär att konsekvens- och sannolikhetsreducerande åtgärder måste införas för att utjämna skillnaderna i riskbild kontra skyddsbehov. För konsekvensen 0-8 döda ligger risken i den så kallade ALARP-zonen vart risker kan tolereras om alla rimliga åtgärder vidtagits.

Hantering av explosivt ämne i hamnen medför förödande konsekvenser vid en eventuell explosion. Sannolikheten för att en explosion skall inträffa är inte beräknad, men den existerar (se kapitel 4.3). Det kan som exempel nämnas att vid en explosion av 41.1 ton explosivämne beräknas 99 % av alla som befinner sig inom ett avstånd av 75 meter att omkomma på grund av tryckvågen som uppstår.

Vare sig individ- eller samhällrisken innefattar scenariot antändning av explosivt ämne. Fast sannolikheten för att en explosion av sprängämnet är liten, är dock konsekvenserna av händelsen så förödande att scenariot anses utgöra "den värsta möjliga händelse" som kan inträffa i hamnen, och konsekvensreducerande åtgärder måste införas.

Vad beträffar olycksfrekvenser på väg kontra järnväg kan konstateras att järnvägstransporter generellt sett är säkrare än transporter på väg.

8 DISKUSSION

Hamnens verksamheter innebär en oacceptabel risk för människorna inom området. Olycksförebyggande och skadebegränsande åtgärder måste införas för att hindra och begränsa skador på människa och egendom. Ett förslag är att klassificera hamnen som en § 43- anläggning, vilket gör att högre krav kan ställas på verksamheten enligt Räl (1986:1102).

Kring hantering av explosivt ämne i hamnen finns vissa frågor som bör utredas i en senare analys. Frågor kring säkerheten för allmänheten i händelse av en explosion av sprängämnet bör ses över, för att kunna säkerställa områdets skyddsbehov.

Här följer två exempel på frågor som dykt upp under beräkning av konsekvenserna för antändning av explosivämne, och som bör analyseras i en senare rapport:

- Fast sannolikheten för att en explosion av sprängämnet är liten, är dock konsekvenserna av händelsen så förödande att scenariot anses utgöra ”den värsta möjliga händelse” som kan inträffa i hamnen. I beräkningarna har ingen hänsyn tagits till en eventuell explosions påverkan på annat farligt gods i hamnen. I dagsläget står lastbilar med farligt gods uppställda på en parkering endast 50-300 meter från lagret med sprängämne. Planer finns på att flytta uppställningsplats för farligt gods längs med Bornholmsgatan, som ligger 150-500 meter från lagret. Vad händer med parkerade lastbilar med farligt gods om en explosion inträffar? För att ge ett riktvärde kan sägas att lastade tågagnar beräknas omkullvältas på 160 meters avstånd från en explosion av 41,1 ton sprängämne – och tågagnar väger generellt sett mer än en lastbil för transport av farligt gods.
- En riskfaktor för området som inte utretts, är gasoltanken med 61 000 liter gasol tillhörande Draka kabel AB, beläget ca 200 meter från lagret med sprängämne. Vad händer med gasoltanken om en explosion inträffar?

Hamnens hantering av sprängämne följer i dagsläget lag (1982:821) om transport av farligt gods, då lagringen av explosivämnet anses utgöra en del av förflyttningen från avsändare till slutlig mottagare. (Detta trots att mellan 15,7-41,1 ton explosivämne ankommer hamnen varannan dag och lagras i ungefär två dygn i magasinet, innan försändelsen åker vidare och en ny ankommer). För att sätta den tillfälliga lagringen av explosivämnet i ett annat perspektiv, kan lagen rörande ett permanent lager nämnas. Lagen som tillämpas i så fall är Sprängämnesinspektionens föreskrifter om hantering och import av explosiva varor; SÄIFS 1989:8. Enligt SÄIFS skulle hamnens lager klassificeras som ett upplagsmagasin ovan jord, där lagret krävs ligga på betryggande avstånd till allmänt trafikerad väg, gata, järnväg eller farled, till bostadshus och till plats, där människor uppehåller sig varaktigt.

En fråga som kvarstår att tänka på är; är säkerhetsaspekterna kring explosivämne mindre viktiga bara för att olika lagtexter kan tillämpas?

8.1 Riskreducerande åtgärder

Generellt sätt kan sägas att konsekvensreducerande åtgärder är mer påtagliga än sannolikhetsreducerande åtgärder. En reduktion av konsekvensen av en olycka med en faktor tio ger ett mycket märkbart resultat, medan en reduktion av sannolikheten med en faktor tio inte ger så märkbara resultat /9/.

Nedan redovisas förslag till riskreducerande åtgärder. Inga hänsyn har tagits till kostnaden en reducerande åtgärd innebär.

- Hamnområdet bör inte inneha verksamheter som inkluderar boende.
- Det bör finnas möjlighet att kunna varna människor i hamnområdet genom VMA (viktigt meddelande till allmänheten), samt rutiner kring utrymning av människor ur området bör vidtas.
- Eventuella verksamheter som till exempel utbildningscentra, bör placeras utanför en gräns av 900 meter mätt från olycksplats Bornholmsgatan.
- I inledningsfasen av ett utsläpp spelar hamnens anställda en viktig roll. Personalen i hamnområdet bör utbildas i samarbete med SÖRF, för att skapa rutiner som kan medverka till att begränsa konsekvenserna av en olycka.
- Ventilationen i närliggande bostadsområden bör vara avstängningsbar för att hindra intrång av giftig gas.
- Särskilda uppställningsplatser för farligt gods bör införas, med tanke på att öka tillgängligheten för räddningspersonal.
- En tillbudsplats bör upprättas, gärna med tillhörande uppsamlingsutrustning på lastväxlareflak, för att kunna minska utsläppskvantitet samt kunna flytta en ”utsläppshändelse” till en mer säker plats.
- Farligt gods led bör utmärkas tydligt.
- För att minska konsekvenserna av en olycka med explosivämne är den mest effektiva åtgärden att flytta lagret. Även en reducering av lagringsmängd vid varje tillfälle är nödvändig för att minska konsekvenserna av en olycka.

8.2 Förslag till senare projekt

Inga av hamnområdets industrier har utretts med hänseende på riskbidrag till området. Dessa industrier bör analyseras närmare.

Med tanke på transportkvantiteterna och miljörisken vid ett eventuellt utsläpp, bör hanteringen av oxiderande ämnen analyseras vidare.

Hanteringen av explosivämne bör utredas vidare, då också med hänseende på splitter och utstötningar. Även sannolikheten för en händelse bör klarläggas.

Hamnens hanterar en mängd kemikalier som är giftiga för vattenorganismer. Konsekvenserna av ett sådant utsläpp bör utredas.

9 REFERENSER

- /1/ Lamnevik, Stefan, *Explosiva förlopp., Grunder för konsekvens- och riskanalys*, FOA kompendium, 1994.
- /2/ Lees, F.P., *Loss Prevention in the Process Industries*, Vol.1, Butterworths, London and Boston, 1980.
- /3/ Carlsson, Thomas, *Explosivämneskurs. Konsekvenser/Risikanalys*, FOA kompendium i explosivämneskunskap, 1998.
- /4/ Fischer, S et al., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor*, Försvarets forskningsanstalt (FOA), 1995.
- /5/ Statens väg- och transportforskningsinstitut, *Farligt gods- riskbedömning vid transport*, Räddningsverket, Karlstad, 1996.
- /6/ Farligt Gods Ystad Logistik år 2001, Ystad Hamn Logistik AB.
- /7/ Green Cargo transporter av farligt gods, Ystad, Green Cargo Operations, samtal med Jan Petersson.
- /8/ Sammanställning över årsmedeldygnstrafiken i Ystads tätort, Ystads Kommun, Gatu- och trafiknämnden, Planavdelningen, 2002.
- /9/ Davidsson, G. et al. *Värdering av risk*, Räddningsverket, Karlstad, 1997.
- /10/ www.ystad.se/ystadweb.nsf (2002-10-24)
- /11/ DiNenno, P.J. et al., *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, (kapitel 3-327 och 3-237), The National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 1995.
- /12/ Karlsson, B., Quintiere, J.G., *Enclosure Fire Dynamics*, Lund Universitet, 1997.
- /13/ Helmersson, L., *Konsekvensanalys av olika olycksscenarier vid transport av farligt gods på väg och järnväg*, VTI-rapport Nr 387:4, Väg och transportforskningsinstitutet, 1994.
- /14/ Temperaturfördelning år 1961-1990 för Ystad kommun, SMHI, Norrköping, 2002.
- /15/ CPQRA, *Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.
- /16/ Stabilitetsstatistik SÖ Skåne, SMHI, Norrköping, 2002.
- /17/ Olsen, H., Stål, M., *Riskhänsyn vid fysisk planering- en detaljstudie av Malmö Hamn*, Institutionen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Rapport 5034, Lund, 1999.

- /18/ Committee for the Prevention of Disasters, *Methods for the calculation of physical effects*, CPR 14E, Voorburg, 1988.
- /19/ Health and Safety Commission, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances*, Sheffield, 1991.
- /20/ Emballagedata, Helsingborgs brandförsvär, Helsingborg, 1998.
- /21/ Personlig kommunikation med Vretblad, Bengt, Professor i verkansteknik, Försvarshögskolan.
- /22/ Jacobsson, Anders, *Säkerhetsstudie Stenungsund*, AJ Risk Engineering AB. 1996.
- /23/ United Nations, *Recommendations on the transport of dangerous goods*, New York, 1989.
- /24/ Olycksstatistik för Södra banregionen för 2000-12-01 till 2001-02-28, Banverket, 2002.

Datorprogram

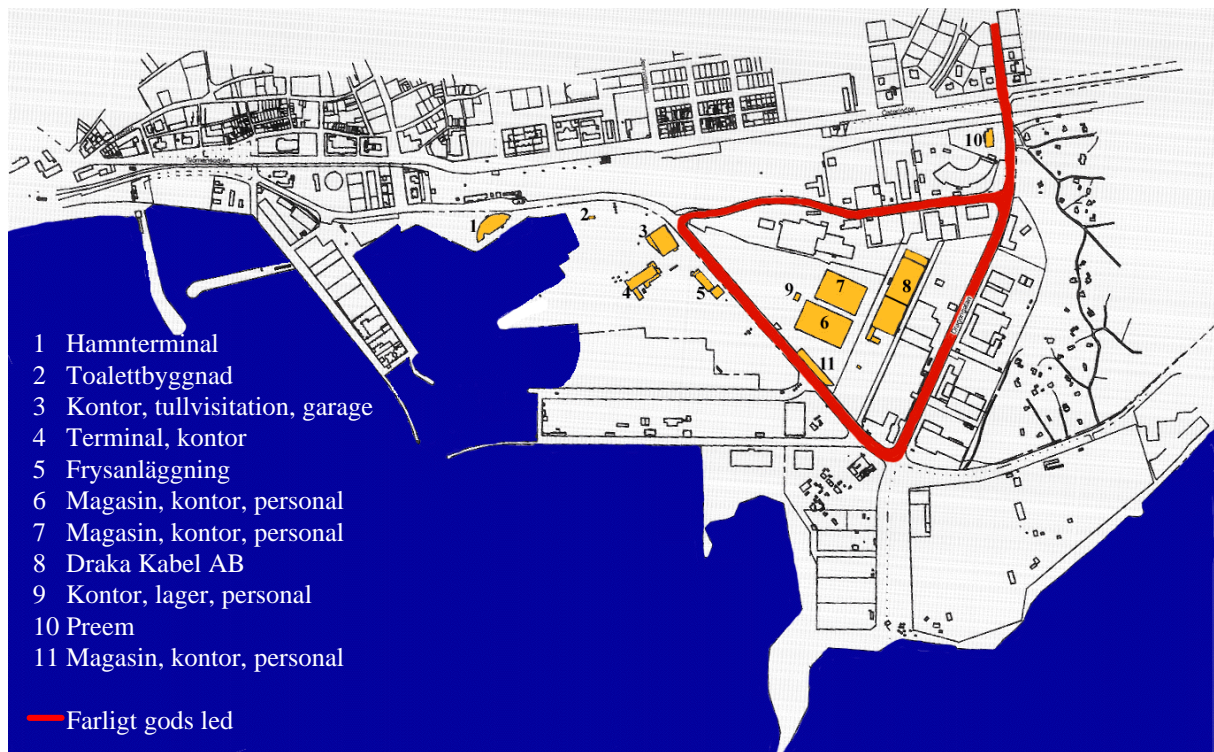
Microsoft ® Excel 2000

Decision Tools Suite (@Risk, Precision Tree, BestFit), Palisade Corporation, 1998.

ChemsPlus, Consequence modelling software, version 2.0, Arthur D. Little, 1991.

RIB 2000, utgåva 1.

APPENDIX 1 Översiktsskarta över Ystad hamn



Figur 1 Översiktsskarta över Ystad hamn.

APPENDIX 2 Sannolikhet för utsläpp väg

Trafikarbetet, $T_{arb} = \text{vägens längd} \cdot \text{ÅDT} \cdot 365 \cdot 10^{-6}$

Förväntade andelen transporter med farligt gods inblandade i singel- eller kollisionsoolyckor,

F_o , beräknas enligt formeln:

$F_o = O((A \cdot B) + (1 - A)(2B - B^2))$, där:

O = olyckskvoten multiplicerad med det årliga trafikarbetet

A = andelen singelolyckor

B = andelen transporter med farligt gods av ÅDT

Förväntade andelen transporter med farligt gods inblandade i singel- eller kollisionsoolyckor, F_o , multipliceras med index för farligt godsolyckor för att få fram frekvensen för olyckor med farligt gods per år för varje vägsträcka. Frekvensen för olyckor med farligt gods per år för varje vägsträcka beräknas som:

$F = F_o \cdot \text{index för farligt godsolycka}$

Olyckskvoten är i detta fall 1,2, andelen singelolyckor är 0,15 och index för farligt godsolycka är 0,03. Ingående data och förväntat antal farligt godsolyckor per år presenteras i tabell 2.1.

Vägdela	Dragongatan	Ekenäsgatan	Bornholmogatan
Vägtyp (km/h)	50 km/h	50 km/h	50 km/h
Vägens längd (km)	0,82 km	0,65 km	0,65 km
Årsmedelsdygnstrafik, ÅDT (fordon/dygn)	7700	2000	1600
Trafikarbete, (miljon fordonskilometer)	2,3	0,47	0,38
Antal fordon med farligt gods, (fordon/dygn)	33 (0,43 %)	15(0,75 %)	18 (1,1 %)
Förväntad andel farligt godstransporter inblandad i olycka, F_o (fordon/år)	1,8	0,51	0,46
Frekvensen för olyckor med farligt gods, F , (olyckor per år)	0,053	0,015	0,014
Olycksintervall (år)	19 år	65 år	73 år

Tabell 2.1 Ingående data och förväntat antal farligt godsolyckor per år för vägdelaorna Dragongatan, Bornholmogatan respektive Ekenäsgatan.

Beräkningarna gäller sträckorna Dragongatan, Ekenäsgatan och Bornholmogatan, se figur 2.3, kapitel 2, då de tillsammans utgör den skyltade vägleden för alla fordon som ankommer eller lämnar hamnen.

Beräkninggång för sannolikheten för utsläpp är enligt följande:

1. Årsmedelsdygnstrafiken (ÅDT) för varje trafiksträcka är uppgifter från /8/. Från statistiskt underlag och av hamnpersonals observationer skattas antalet fordon med farligt gods som passerar vägdelarna. Det årliga trafikarbetet beräknas enligt:
 $T_{arb} = \text{vägens längd} \cdot \text{ÅDT} \cdot 365 \cdot 10^{-6}$
2. Då olycksstatistiken för hamnområdet är begränsat används den förväntade olyckskvoten från /5/ multiplicerad med det årliga trafikarbetet, förväntat andel singelolyckor /5/ samt andelen transporter skyltade med farligt gods, för att beräkna den förväntade andelen transporter med farligt gods (F_o) inblandad i en olycka. Beräkningarna tar därav hänsyn till vägdelens standard och trafikarbetet på den givna sträckan.
3. Den förväntade andelen transporter med farligt gods inblandade i singel- eller kollisionsolyckor, F_o , beräknas och multiplieras med index för farligt godsolyckor för att få fram frekvensen, F , av olyckor med farligt gods per år för varje vägsträcka. Index för farligt godsolycka är 0,03. Ingående data och förväntat antal farligt godsolyckor per år presenteras i tabell 2.1, appendix 2.
4. Den samlade frekvensen, F_{tot} , för olyckor med farligt gods per år för hamnområdet erhålls genom att summera frekvensen för farligt godsolycka för varje delsträcka. Sannolikheten för att antingen ett oxiderande ämne, en brandfarlig vätska eller ett frätande ämne är det utsläppta farliga godset antas vara proportionellt mot transportkvantiteterna i kapitel 2 och betecknas $S_{ämne}$.
5. Utsläppsfrekvensen av farligt gods beräknas genom att multiplicera frekvensen för farligt godsolycka, F_{tot} med sannolikheten för utsläpp av givet ämne, $S_{ämne}$. För tryckkondenserade gaser är sannolikheten för en olycka enligt /5/ en faktor 30 mindre än för tunnväggiga tankar, och utsläppsfrekvensen reduceras därför med motsvarande faktor.

Resultatet av beräkningarna redovisas i tabell 2.2.

UN-nummer	Ämne	Frekvens av farligt godsolycka, F_{tot}	Sannolikhet för ämnet, $S_{ämne}$	Utsläpps-frekvens, $F_{utsläpp}$ (år ⁻¹)	Utsläpps-frekvens, $F_{utsläpp}$ (år)
	Brandfarlig vätska	0,082	0,36	$3,0 \cdot 10^{-2}$	34
1100	<i>Allylchlorid</i>	0,082	0,005	$4,1 \cdot 10^{-6}$	278 000
1123	<i>Butylacetat</i>	0,082	0,015	$1,2 \cdot 10^{-3}$	833
1131	<i>Koldisulfid</i>	0,082	0,041	$3,4 \cdot 10^{-3}$	298
	Oxiderande ämnen	0,082	0,11	$9,0 \cdot 10^{-3}$	111
2014	<i>Väteperoxid</i>	0,082	0,035	$2,9 \cdot 10^{-3}$	350
	Frätande ämne	0,082	0,22	$1,8 \cdot 10^{-2}$	55
	Gaser	0,082	0,062	$1,7 \cdot 10^{-4}$	5900
1079	<i>Svaveldioxid</i>	0,082	0,015	$4,1 \cdot 10^{-5}$	24400

Tabell 2.2 Utsläppsfrekvens för farligt gods vid vägtransport.

Av tabell 2.2 kan till exempel utläsas att utsläppsfrekvensen för svaveldioxid är ett utsläpp per 24 400 år, medan utsläppsfrekvensen för koldisulfid är ett utsläpp per 298 år. Omräknat blir den samlade frekvensen för farligt godsolycka en gång per 12 år, medan den samlade utsläppsfrekvensen för brandfarlig vätska, oxiderande ämnen, frätande ämnen samt gaser är en gång per 18 år.

APPENDIX 3 Sannolikhet för utsläpp järnväg

För att få fram uppgift på tågens medelstorlek uttryckt i antal vagnaxlar, används uppgifter från Green Cargo /7/ som uppger ett snitt på 825 rangeringar per månad. Totala antalet farligt godsvagnar som passerar inom området är i snitt 30 stycken per månad. För farligt godstransporter används huvudsakligen boogievagnar, fyraxlade vagnar, med avsevärd lägre urspårningsfrekvens än tvåaxliga vagnar. Det antas att alla farligt godsvagnarna ingår i rangeringsprocessen och att samtliga vagnar är boogievagnar.

Beräkningsgång för sannolikhet för utsläpp på järnvägen är enligt följande:

1. Förväntade antalet urspårningar och kollisioner per rangeringstillfälle beräknas enligt formeln:

$$N = TAF \cdot 1,2 \cdot 10^{-6}, \text{ där TAF är tågens medelstorlek uttryckt i antal vagnaxlar.}$$

Sedan beräknas olycksfrekvensen för rangering per år, betecknad F. Som grund för beräkningarna ligger uppgifter från Green Cargo rörande rangeringstillfällen och godsstatistik, samt uppgiften att farligt gods fraktas i så kallade boogievagnar.

2. Frekvensen av att en urspårning eller kollision på rangerbangården, F_u , skall medföra ett utsläpp beräknas med sannolikhetsuppgifter från rapport av VTI /5/.
3. Sannolikheten att antingen ett oxiderande ämne eller en brandfarlig vätska är det utsläppta ämnet, antas vara proportionellt mot transportkvantiteterna i kapitel 2 och betecknas $S_{\text{ämne}}$.
4. Utsläppsfrekvensen, $F_{\text{utsläpp}}$, för varje enskild ämne beräknas enligt:

$$F_{\text{utsläpp}} = F \cdot F_u \cdot S_{\text{ämne}}$$

Antalet vagnar som släpps vid varje rangeringstillfälle är: $30/825=0,036$

Detta ger att tågens medelstorlek (alla vagnar) uttryckt i antal vagnaxlar blir:

$$TAF = 0,036 \cdot 4 = 0,145$$

Det förväntade antalet urspårningar per rangeringstillfälle bestäms av:

$$F = 0,145 \cdot 1,2 \cdot 10^{-6} = 1,7 \cdot 10^{-7}$$

Omräknat till förväntat antal urspårningar per år blir detta:

$$30 \cdot 12 = 360 \text{ (farligt godsvagnar/år)}$$

$$360/0,145=2483 \text{ (rangeringar med farligt gods/år)}$$

$$F \cdot 2483 = 1,7 \cdot 10^{-7} \cdot 2483 = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ (år}^{-1}\text{)}$$

För att beräkna sannolikheten för utsläpp per år givet olycka med farligt gods under rangering, används sannolikheter tagna från /5/, där sannolikheten för skadeföljer på tjockväggig tank är 0,03 och skadeföljer på tunnväggig tank är 0,12. Frekvensen för en urspårning eller kollision betecknas F_u och ges i tabell 3.1.

Sannolikheten att antingen ett oxiderande ämne eller en brandfarlig vätska är det utsläppta ämnet, antas vara proportionellt mot transportkvantiteterna i kapitel 2, och betecknas $S_{\text{ämne}}$.

Slutligen kan utsläppsfrekvensen, $F_{\text{utsläpp}}$, för varje enskilda ämne beräknas enligt:

$$F_{\text{utsläpp}} = F \cdot F_u \cdot S_{\text{ämne}}$$

Den beräknade utsläppsfrekvensen för farligt gods redovisas i tabell 3.1

UN-nummer	Ämne	Olycksfrekvens, F (år ⁻¹)	Frekvens av utsläpp, F_u	Sannolikhet för ämnet, $S_{\text{ämne}}$	Utsläppsfrekvens, $F_{\text{utsläpp}}$ (år ⁻¹)
	Brandfarlig vätska	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,12	0,35	$1,8 \cdot 10^{-5}$
1100	<i>Allylchlorid</i>	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,12	0,07	$3,6 \cdot 10^{-6}$
1123	<i>Butylacetat</i>	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,12	0,08	$4,1 \cdot 10^{-6}$
1131	<i>Koldisulfid</i>	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,12	0,21	$1,1 \cdot 10^{-5}$
	Oxiderande ämnen	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,12	0,42	$2,2 \cdot 10^{-5}$
2014	<i>Väteperoxid</i>	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,12	0,38	$2,0 \cdot 10^{-5}$
	Frätande ämne	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,12	0,06	$3,1 \cdot 10^{-6}$
	Gaser	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,12	0,03	$1,5 \cdot 10^{-6}$
1079	<i>Svaveldioxid</i>	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,03	0,03	$3,9 \cdot 10^{-7}$

Tabell 3.1 Utsläppsfrekvens för farligt gods vid transport på järnväg.

Omräknat i år blir den samlade olycksfrekvensen från tabell 3.1 en olycka per 2300 år, medan den samlade utsläppsfrekvensen för brandfarlig vätska, oxiderande ämnen, frätande ämnen samt gaser är ett utsläpp per 22 500 år.

APPENDIX 4 Konsekvens av utsläpp av tryckkondenserad gas

Beräkningar och förfarande i en konsekvensanalys av tryckkondenserade gaser är likartade oberoende av vilka ämnen som analyseras. Här beaktas endast konsekvenserna från ett eventuellt utsläpp av svaveldioxid.

Konsekvensen av en olycka är beroende av olika variabler/parametrar som till exempel vindhastighet, väderklass, områdets topografi, utsläppets storlek och art. Variablerna kan anta olika värden inom rimliga gränser. Beroende på hur man väljer att kombinera de olika parametrarna fås olika resultat som här kommer att redovisas som riskavstånd. Vilka parametrar som har störst inverkan på riskavståndet undersöks i appendix 4.4.

Beräkningsgång för konsekvenser av ett utsläpp av tryckkondenserad gas:

1. Först beräknas ämnets LC₅₀-värde med hjälp av probitfunktioner från FOA /4/ för 10 minuters exponering vid låg fysisk aktivitet. Låg fysisk aktivitet innebär en andningsfrekvens av 15 l/min.
2. Utifrån en uppgift om sannolikheten för en viss håldiameter, presenterad i *Riskhänsyn vid fysisk planering- en detaljstudie av Malmö Hamn /17/*, och med hjälp av datorprogrammet BestFit skapas en fördelning över håldiametererna.
3. Atmosfärens stabilitet kan delas in i sex olika Pasquill-klasser, som hänför till atmosfärens skiktning. Stabilitetsklassernas fördelning härleds från stabilitetsstatistik från SMHI /16/ för Skillinge, som bedöms vara representativt även för Ystad. Från SMHI kommer även statistik över relativa frekvenser av vindhastighet /14/ som med hjälp av BestFit tilldelas en fördelning som bäst stämmer med indata.
4. En känslighetsanalys av vilka variabler som inverkar mest på riskavståndet görs genom att utföra en handberäkning för varje parameter. I analysen varieras parametrarna från en uppskattning av minimal- till maximalvärde, så att deras procentuella inverkan på riskavståndet kan beräknas. De parametrar som ger störst påverkan på riskavståndet kommer att varieras/fördelas i vidare beräkningar för att få ett så valid resultat som möjligt.
5. I ChemsPlus beräknas därefter utdata som visar riskavståndets beroende av de varierade parametrarna.
6. I Excel används utdata från ChemsPlus för att få fram ett regressionsuttryck för riskavståndets beroende av de varierade parametrarna.
7. Tillsammans med uppgifter om fördelning av håldiameter och vindhastighet ingår regressionsuttrycket som indata för simulering i datorprogrammet @Risk, där en sannolikhetsfördelning för riskavståndet tas fram. Riskavståndet presenteras som sannolikheten att riskavståndet är lika med, eller överstiger ett visst antal meter.

Appendix 4.1 Beräkning av LC₅₀- värde

Som kritisk gränsvärde för påverkan på människan och egendom används aktuella ämnets LC₅₀-värde. LC₅₀ koncentrationen beräknas med hjälp av probitfunktioner enligt FOA /4/ för 10 minuters exponering vid låg fysisk aktivitet. Låg fysisk aktivitet innebär en andningsfrekvens av 15 l/min. Probitfunktionen som används är:

$$Pr = \alpha + \beta_2 \cdot \ln (C^n \cdot t), \text{ där } n = \beta_1 / \beta_2$$

Pr = mått på toxisk effekt

α , β_1 och β_2 = probitkonstanter som fås ur tabell i /4/

C = koncentration

Vid att sätta Pr = 0 och sedan lösa ut C, kan LC₅₀-värdet beräknas:

$$C = \sqrt[n]{\frac{e^{(-a/b_2)}}{t}}, \text{ där } t = \text{exponeringstiden}$$

Koncentrationen kan sedan omräknas till ppm ("parts per million") vid att multiplicera koncentrationen ovan så att:

$$C_{\text{ppm}} = \sqrt[n]{\frac{e^{(-a/b_2)}}{t}} \cdot \frac{R \cdot T}{M \cdot P}, \text{ där:}$$

R = Allmänna gaskonstanten

T = Omgivningstemperatur

M = Molmassan för ämnet

P = Atmosfärstrycket (Pa)

Koncentrationen för svaveldioxid beräknas till 980 ppm, enligt:

$$C_{\text{ppm}} = \sqrt[4,0]{\frac{e^{(-(-25,36)/0,75)}}{10}} \cdot \frac{8314 \cdot 293}{64 \cdot 101325} \approx 980$$

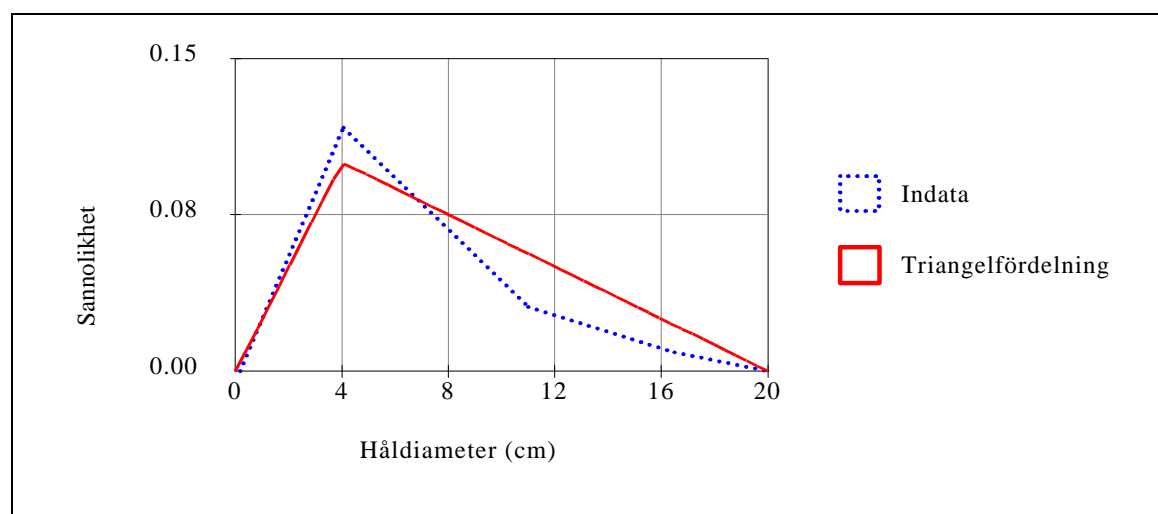
Appendix 4.2 Håldiameter

Sannolikhetsfördelning av håldiameter vid ett utsläpp är svårt att hitta. I *VTI-rapport 387:4 /13/* och i *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances /19/* anges två olika bedömningar rörande hålstorlek. En sammanvägning av sannolikheten för en viss håldiameter, baserad på sistnämnda referenser, presenteras i *Riskhänsyn vid fysisk planering- en detaljstudie av Malmö Hamn /17/*. Den sammanvägda sannolikheten, se tabell 4.1, kommer att användas som underlag i fortsatta beräkningar.

Diameter (cm)	Sannolikhet i %
0-8	86
8-14	12
14-25	1
25-40	1

Tabell 4.1 Sammanvägd sannolikhet för håldiameter, från /17/.

I /17/ fastslås även att endast ungefär 2 % av håldiametrarna överstiger en hålstorlek av 20 cm. Med hjälp av datorprogrammet BestFit skapas, med grund i ovan angivna dataunderlag, en fördelning över håldiametern. Fördelningen som tillämpas är en så kallad triangelfördelning, som i detta fall anses kunna återspegla indata på ett tillfredsställande sätt. Fördelningen återges i figur 4.1.



Figur 4.1 Fördelning av håldiameter.

Appendix 4.3 Stabilitetsklass

Atmosfärens stabilitet kan delas in i sex olika Pasquill- klasser. Stabilitetsklasserna A-F hänför till atmosfärens skiktning, och beror av vindhastighet, tid på dygnet, molnmängd och årstid. Stabilitetsklassernas fördelning härleds från stabilitetsstatistik från SMHI /16/ för Skillinge, som bedöms vara representativt även för Ystad, se figur 4.2. Från SMHI kommer även statistik över relativa frekvenser av vindhastighet /14/.

De olika stabilitetsklasserna är:

Klass A: Extrem ostabil skiktning

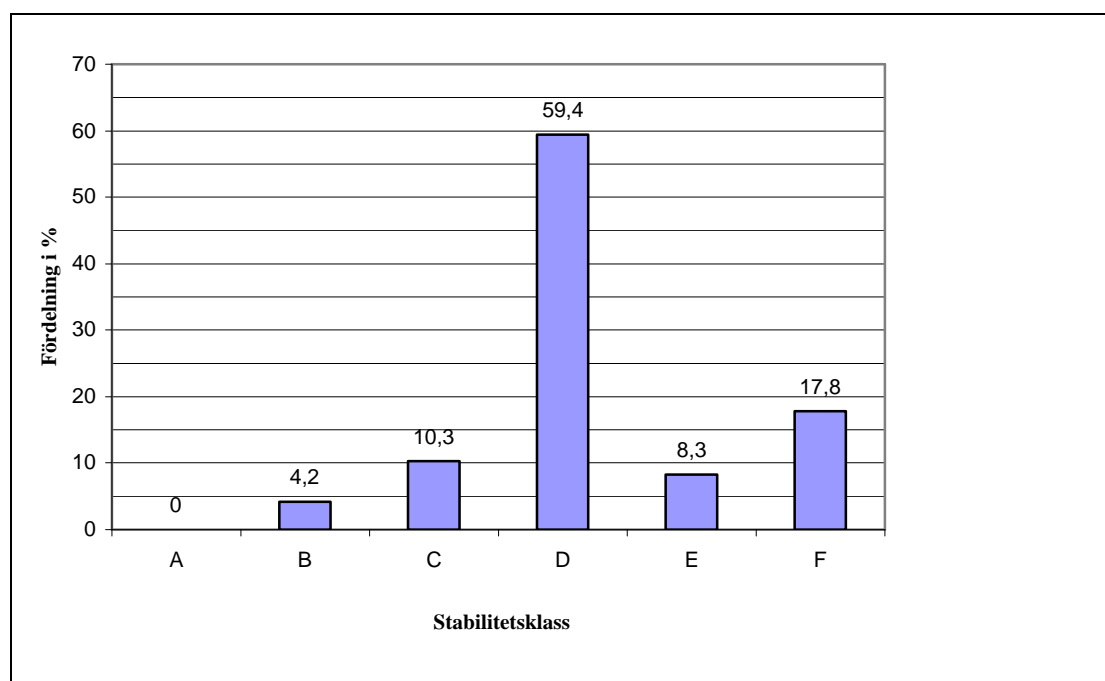
Klass B: Måttlig instabil skiktning

Klass C: Något instabil skiktning

Klass D: Neutral skiktning

Klass E: Något stabil skiktning

Klass F: Mycket stabil skiktning



Figur 4.2 Fördelning av stabilitetsklasser för Skillinge, mellan åren 1996-2000.

För att förenkla beräkningsomfattningen något, slås klasserna ihop två och två. Denna förenkling bedöms ha ringa eller ingen påverkan på slutresultaten, då riskavståndet från ett utsläpp ökar från klass A till Klass F. De sammanslagna klasserna blir:

Klass B = klass A och B

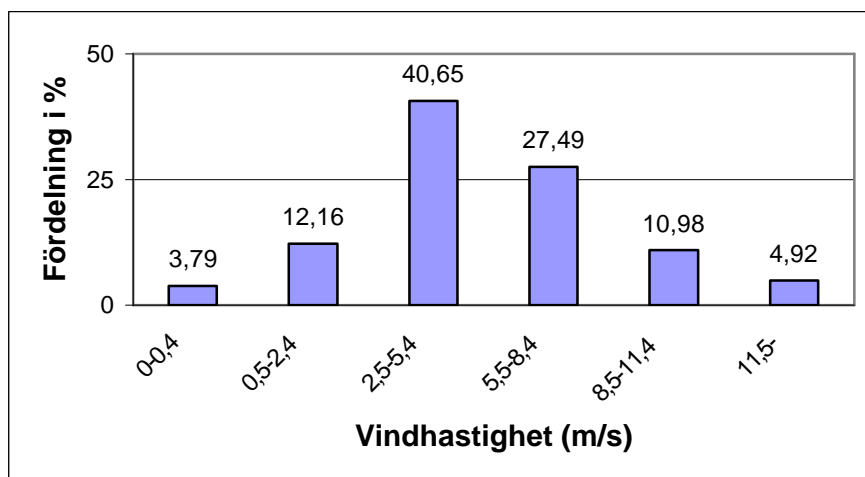
Klass D = klass C och D

Klass F = klass E och F

Stabilitetsklasserna är beroende av vindhastigheten. Vilka vindhastigheter som är gällande för de olika stabilitetsklasserna redovisas i tabell 4.2. Fördelning över vindhastigheterna presenteras i figur 4.3.

Stabilitetsklass	Vindhastighet (m/s)
B	0-4
D	2-
F	0-4

Tabell 4.2 Gällande vindhastigheter för olika stabilitetsklasser /9/.



Figur 4.3 Fördelning av vindhastighet för Ystad.

En approximativ fördelning för vindhastigheterna, för gällande vindhastigheter enligt tabell 4.2, skapas med hjälp av datorprogrammet BestFit. För stabilitetsklass B och F (0-4 m/s) fördelas vindhastigheten som Risknormal(3,39;1,02), och för stabilitetsklass D (2-13 m/s) fördelas vindhastigheten som TNormal(5,12;2,17;2;12).

Appendix 4.4 Känslighetsanalys av olika parametrars inverkan på riskavståndet

En undersökning av vilka variabler som inverkar mest på riskavståndet görs genom att utföra en handberäkning för varje parameter. Parametrarna varieras, från en uppskattning av minimal- till maximalvärde, enligt tabell 4.3. Konstanterna som ingår i beräkningarna kan utläsas av tabell 4.4. Slutligen kan deras procentuella inverkan på riskavståndet beräknas, se tabell 4.5.

Parameter	Min-värde	Normalvärde	Max-värde
Temperatur (°C)	0	20	30
Tanktryck (kPa)	154	333	492
Vindhastighet (m/s)	0,5	5,5	11,5
Väderstabilitetsklass	B	D	F
Håldiameter (m)	0,01	0,05	0,5
Kontraktionstal, C_d	0,5	0,6	1,0

Tabell 4.3 Värderna som parametrarna varieras för.

Konstanter	Värde
n_f	$7,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$
M	64 mol^{-1}
p	π
R	$0,082 \text{ (atm} \cdot \text{m}^3)/(\text{kg} \cdot \text{mol} \cdot \text{K)}$
P	1 atm
P_a	101325 Pa
C	980 ppm

Tabell 4.4 Konstanter som ingår i beräkning av riskavståndet.

Formeln som används vid beräkning av riskavståndet är en formel för beräkning av neutrala gaser. Svaveldioxid beter sig som en tung gas i närfältet av utsläppet, men vid lite längre avstånd uppför den sig som en neutral gas. Av denna orsak används formel för neutral gas.

$$C_{ppm} = \frac{Q}{p \cdot s_y \cdot s_z \cdot u} \cdot \frac{R \cdot T}{M \cdot P} \cdot 10^6 \quad /15/$$

C_{ppm} = Koncentrationen (ppm)

Q = Utsläppshastigheten (kg/s)

s = Spridningsparameter för y respektive z-led

x = Riskavståndet (m)

a,b,c,d = Dispersionskoefficient beroende av väderstabilitetsklass

u = Vindhastigheten (m/s)

R = Allmänna gaskonstanten (0,082 (atm·m³)/(kg·mol·K)

T = Omgivningstemperatur (K)

M = Molmassan för ämnet (g/mol)

P = Atmosfärstrycket (1 atm)

Spridningsparametrarna för x- respektive y-led är beroende av väderstabilitetsklass. I *Methods for the calculation of physical effects* /18/ finns beräkningsunderlag för spridningsparametrarna, som beräknas enligt:

$$s_y = a \cdot x^b$$

$$s_z = c \cdot x^d$$

I beräkning av spridningsparametrarna ingår variabeln skrovlighetslängd, Z_0 , som är ett mått på markens ytskrovlighet. För hamnområdet uppskattas skrovlighetslängden till 0,1 m, enligt tabell i /18/.

Av formel från /4/ kan utsläppshastigheten, Q , beräknas som:

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (P_0 - P_a)}{n_f}}, \text{ där:}$$

n_f = Specifik volym hos vätskefas (m³/kg)

C_d = Kontraktionsfaktor för vätskestråle

P_0 = Tanktrycket i hållets nivå (Pa)

P_a = Atmosfärstrycket (Pa)

A = Tvärsnittsarea hos hålet (m²)

Genom att lösa ut riskavståndet ur ovanstående samband, fås formel för riskavståndet som:

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

Parameter	Värde	Riskavståndets variation
<i>Temperatur (°C)</i>	0°C	64%
	20°C	100%
	30°C	119 %
<i>Vindhastighet</i>	0,5 m/s	416%
	5,5 m/s	100%
	11,5 m/s	64%
<i>Väderstabilitetsklass</i>	B	42%
	D	100%
	F	280%
<i>Håldiameter</i>	0,01 m	15%
	0,05 m	100%
	0,5 m	1570%
<i>Kontraktionstal</i>	0,5	90%
	0,6	100%
	1,0	136%

Tabell 4.5 Parametrarnas procentuella inverkan på riskavståndet

Av tabell 4.5 kan utläsas att håldiametern har störst betydelse för riskavståndet. Näst störst betydelse har vindhastigheten följt av väderstabilitetsklassen.

Appendix 4.5 Beräkning av riskavstånd för svaveldioxid

Först kommer riskavståndets beroende av de varierade parametrarna att beräknas med hjälp av datorprogrammet ChemsPlus (se även beräkningsgång i appendix 4). Med grund i beräknat riskavstånd tas ett regressionsuttryck fram genom en regressionsanalys i datorprogrammet Excel. Slutligen används regressionsuttrycket för riskavståndet för att skapa en fördelning i @Risk.

Givetvis kan beräkningarna utföras som handberäkning (till exempel enligt framgångssätt i appendix 4.4). Handberäkningsmodellen är dock en förenkling av verkligheten och ger av erfarenhet ett mindre validt resultat än vid beräkning med spridningsmodellen i ChemsPlus.

Som kritisk gränsvärde för påverkan på människan och egendom används svaveldioxids LC₅₀-värde, vilket har beräknats till 980 ppm i appendix 4.1.

I känslighetsanalysen av de olika parametrarnas inverkan på riskavståndet, appendix 4.4, fastställdes att håldiametern (h_d), vindhastigheten (u) och väderstabilitetsklassen påverkar riskavståndet mest. För de tre stabilitetsklasserna, B, D och F, varierar vindhastigheterna inom deras giltighetsområde. För klass B och F varierar vindhastigheten mellan 0,5-4 m/s och för klass D varierar vindhastigheten mellan 3 och 13 m/s. Håldiametern varierar mellan 1-20 cm.

Tankdimensionen som används i beräkningarna är grundade i emballagedata från Helsingborgs brandförsvär /20/.

Konstanter som ingår i beräkning av riskavståndet är:

Konstanter	Värde
Skrovlighetslängd, Z_0	0,1 m
Stabilitetsklass	B, D, F
Koncentration	LC ₅₀ = 980 ppm
Kontraktionstal, C_d	0,62
Molmassa, M	64 g/mol
Tankdiameter, D	2,3 m
Tanklängd, L	11,9 m
Temperatur, T	293 K
Tanktryck, P_0	333 kPa
Atmosfärstryck, P_a	101325 Pa

Tabell 4.6 Ingående konstanter vid beräkning av riskavstånd i ChemsPlus.

I ChemsPlus beräknades utsläpp av tryckkondenserad svaveldioxid från en cylindrisk, horisontell tank. Datorprogrammet möjliggör simulering/beräkning av en mängd olika tänkbara skador på en tank. Här har beaktats en skada i form av ett cylindrisk hål med skarpa kanter under vätskeytan. Modellen som används i ChemsPlus är tunggasspridning, då denna anses överensstämma bäst med verkligheten, än till för exempel modellen med gaussisk spridning. Resultatet från beräkningarna presenteras i tabell 4.7 och 4.8.

Stabilitetsklass D				
h_d (m)	u (m/s)	Q (kg/s)	Utströmningstid (s)	Riskavstånd (m)
0,01	3	1,29	42300	115
0,01	5	1,29	42300	106
0,01	7	1,29	42300	101
0,01	9	1,29	42300	97,3
0,01	11	1,29	42300	91,8
0,01	13	1,29	42300	88,2
0,04	3	20,7	2640	388
0,04	5	20,7	2640	363
0,04	7	20,7	2640	349
0,04	9	20,7	2640	338
0,04	11	20,7	2640	326
0,04	13	20,7	2640	314
0,08	3	82,8	661	748
0,08	5	82,8	661	687
0,08	7	82,8	661	681
0,08	9	82,8	661	664
0,08	11	82,8	661	622
0,12	3	186	294	748
0,12	5	186	294	704
0,12	7	186	294	681
0,12	9	186	294	664
0,12	11	186	294	644
0,12	13	186	294	622
0,2	3	517	106	1780
0,2	5	517	106	1690
0,2	7	517	106	1600
0,2	9	517	106	1610
0,2	11	517	106	1580
0,2	13	517	106	1550

Tabell 4.7 Beräknat riskavstånd i ChemsPlus för stabilitetsklass D.

Stabilitetsklass B & F					
h_d (m)	u (m/s)	Q (kg/s)	Utströmningsti d (s)	Riskavstånd (m) klass B	Riskavstånd (m) klass F
0,01	0,5	1,29	42300	161	329
0,01	1	1,29	42300	117	233
0,01	2	1,29	42300	104	203
0,01	3	1,29	42300	93,9	202
0,01	4	1,29	42300	88,9	199
0,04	0,5	26,7	2640	722	1870
0,04	1	26,7	2640	493	1290
0,04	2	26,7	2640	372	1000
0,04	3	26,7	2640	343	1060
0,04	4	26,7	2640	324	1060
0,08	0,5	82,8	661	1350	3880
0,08	1	82,8	661	861	2640
0,08	2	82,8	661	604	1900
0,08	3	82,8	661	572	1950
0,08	4	82,8	661	542	1950
0,12	0,5	186	294	1980	6690
0,12	1	186	294	1310	4310
0,12	2	186	294	900	2990
0,12	3	186	294	811	2910
0,12	4	186	294	774	3090
0,2	0,5	517	106	3310	12700
0,2	1	517	106	2190	8350
0,2	2	517	106	1460	5890
0,2	3	517	106	1290	5400
0,2	4	517	106	1240	5330

Tabell 4.8 Beräknat riskavstånd i ChemsPlus för stabilitetsklass B och F.

Med grund i beräkningar av riskavstånd i ChemsPlus kan nu ett regressionsuttryck för riskavståndets variation med håldiameter och vindhastighet tas fram. Regressionsuttrycket skall vara av formen:

$$X = k \cdot h_d^n \cdot u^m, \text{ där } k, n, m \text{ är konstanter.}$$

Utdata från regressionsanalys i Exel presenteras i tabell 4.9.

	Klass B	Klass D	Klass F
R^2	0,991741	0,975435	0,990657
k	9386,77	7528,12	50857,86
n	0,915308	0,882766	1,132022
m	-0,41055	-0,13734	-0,33483

Tabell 4.9 Utdata från regressionsanalys i Exel för svaveldioxid i respektive stabilitetsklass.

Regressionsuttrycken blir därav:

$$\text{Klass B: } x = 9386,77 \cdot h_d^{0,9153} \cdot u^{-0,4106}$$

$$\text{Klass D: } x = 7528,12 \cdot h_d^{0,8828} \cdot u^{-0,1373}$$

$$\text{Klass F: } x = 50857,86 \cdot h_d^{1,1320} \cdot u^{0,3348}$$

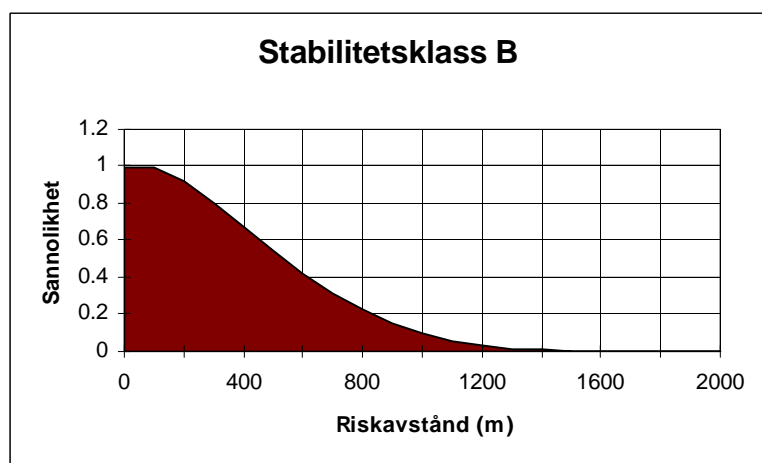
Av tabell 4.5 kan utläsas att håldiametern har störst betydelse för riskavståndet. Näst störst betydelse har vindhastigheten följt av väderstabilitetsklassen. Dessa parametrar sätts därför som fördelningar i vidare beräkningar, istället för som enkla värden, för att kunna ta hänsyn till deras betydelse för riskavståndet, enligt appendix 4.3.

En simulering i @Risk utföres för att få fram en sannolikhetsfördelning över riskavståndet. Indata i simuleringarna presenteras i tabell 4.10. Sannolikhetsfördelningarna presenterade för varje stabilitetsklass, uttrycker sannolikheten för att riskavståndet är, eller överstiger, ett givet antal meter.

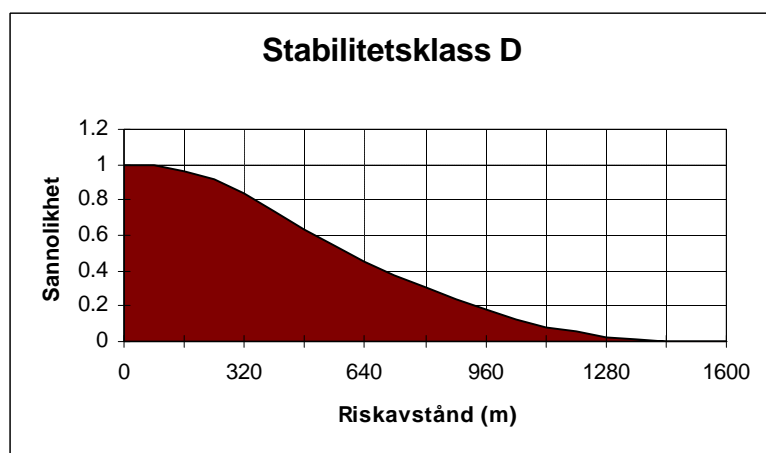
Parameter	Fördelning
u för klass B & F (m/s)	Risknormal(3,39;1,02)
u för klass D (m/s)	Tnormal(5,12;2,17;2;12)
h_d (m)	RiskTriang(0;4;20)

Tabell 4.10 Indata i @Risk för svaveldioxid

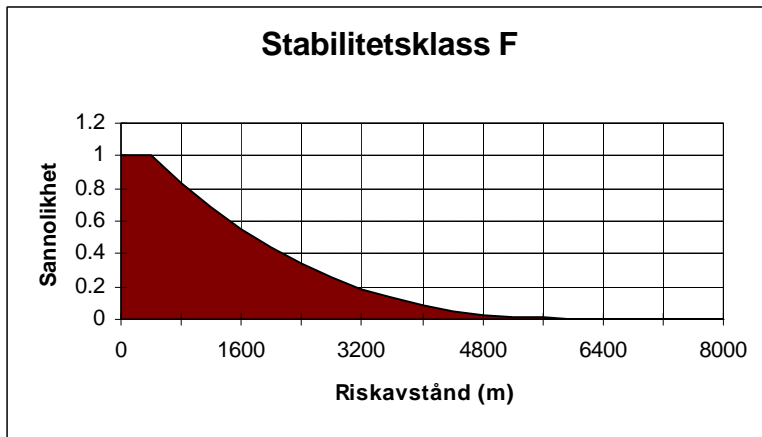
I @Risk utföres 10000 iterationer, i en Latin Hypercube-simulering, av de statistisk fördelade parametrarna u och h_d . Resultatet av sannolikhetsfördelningarna för respektive stabilitetsklass redovisas i figur 4.4-4.6.



Figur 4.4 Sannolikhetsfördelning för riskavståndet för svaveldioxid, stabilitetsklass B.



Figur 4.5 Sannolikhetsfördelning för riskavståndet för svaveldioxid, stabilitetsklass D.



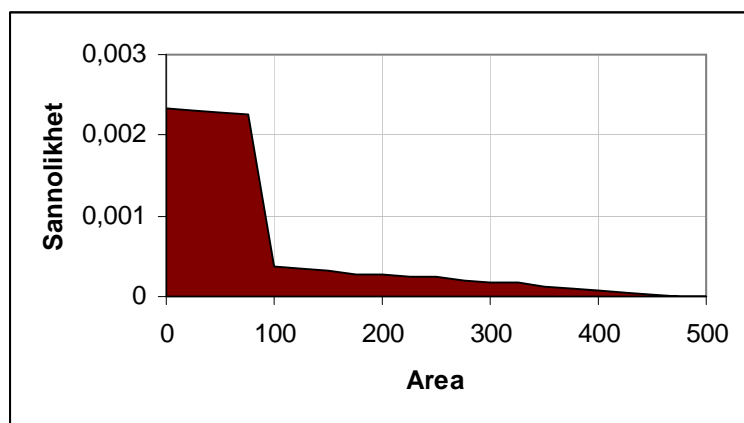
Figur 4.6 Sannolikhetsfördelning för riskavståndet för svaveldioxid, stabilitetsklass F.

APPENDIX 5 Konsekvens av utsläpp av brandfarlig vätska

Beräkningsgång för riskavstånd vid pölbrand av brandfarlig vätska:

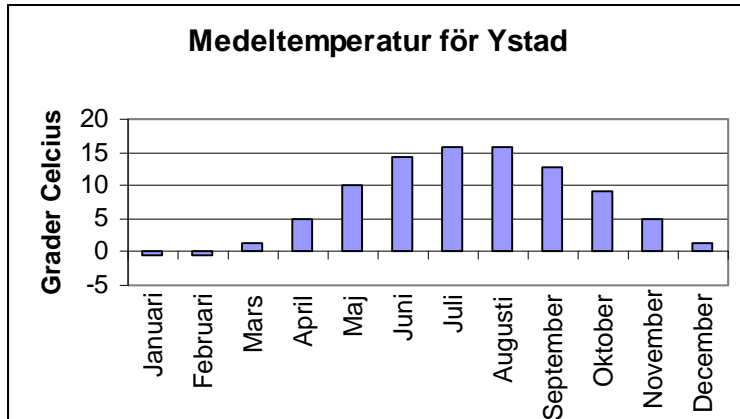
1. En fördelning av lufttemperaturen för Ystad skapas med hjälp av datorprogrammet BestFit. Uppgift om luftmedeltemperaturer kommer från SMHI /14/.
2. Utifrån uppgift om utsläppsstorlek vid farlig godsolycka, från VTI rapport 387:4 /13/, skapas en fördelning av pölstorleken.
3. I datorprogrammet ChemsPlus beräknas sedan riskavståndets beroende av de två variablerna lufttemperatur och pölstorlek.
4. Utdata från ChemsPlus används sedan i Excel för att hitta ett regressions samband för riskavståndets beroende av temperatur och area.
5. Regressionsuttrycket, tillsammans med uppgift om fördelning av lufttemperatur och pölstorlek, utgör indata i @Risk där en sannolikhetsfördelning för riskavståndet tas fram. Riskavståndet presenteras som sannolikheten att riskavståndet är lika med, eller överstiger ett visst antal meter.

Vid ett utsläpp av koldisulfid bildas en pöl som kan antändas varvid värmestrålning avges till omgivningen. Från statistik för utsläppsstorlek och utsläppsmängd vid farligt godsolycka /13/ redovisas att 75 % av utsläppen understeg 10 m^3 utsläppsmängd, vilket inte kan ge mer än 100 m^2 brandyta. 25 % översteg 10 m^3 så att en brandyta på mer än 100 m^2 kunde skapas. I datorprogrammet Excel skapades därav en fördelning över utsläppsarean, se figur 5.1 nedan, där det är tydligt att merparten av utsläppen kommer att medföra en brandyta på mindre än 100 m^2 .



Figur 5.1 Fördelning över brandyta, baserad på statistik från /13/.

Från SMHI /14/ kommer uppgift om medeltemperatur för Ystad baserad på statistik för åren 1961-1990. Medeltemperaturen presenteras i figur 5.2.



Figur 5.2 Medeltemperatur för Ystad, åren 1961-1990.

Genom att studera uttryck för riskavståndet i /12/ kan man se att avståndet beror av de två variablerna temperatur och brandarea. Riskavståndets beroende av de av de två variablerna lufttemperatur och pölstorlek beräknas med hjälp av datormodellen ChemsPlus. Därefter kommer ett regressionsuttryck för sambandet mellan riskavstånd och variablerna att tas fram i Excel, för att till sist bearbeta uttrycket i @Risk för att kunna skapa en sannolikhetsfördelning för riskavståndet.

Anmärkning:

I handberäkningsmodeller i FOA /4/ finns formler för beräkning av infallande strålning hos ett objekt på ett givet avstånd från pölbranden. Formeln ($Q_i = Q_y \cdot \tau \cdot F$) anger infallande strålningen som en funktion av strålning från ytan multiplicerad med transmissionsförmågan och synfaktorn. Det är något komplicerat att lösa ur riskavståndet ur beräkningssambandet för synfaktorn. För att inte behöva införa nya osäkerheter i beräkningarna i form av approximerade värden på till exempel transmissionsförmågan och emittansen, beräknas inte riskavståndet med hjälp av ovanstående formel och tillhörande samband, utan med hjälp av datormodellen ChemsPlus.

Först beräknas utsläppshastighet och tid till tömning för en cylindrisk tank, med diametern 2,3 m och längden 11,9 m, med ett hål i skrovet av 0,2 m i diameter. Brandens storlek beror även av förbränningshastigheten, b' , som för koldisulfid beräknas av ChemsPlus till $0,032 \text{ kg/m}^2\text{s}$. Emissiviteten tillåts uppskattas av datorprogrammet. Då temperaturen och brandarean varierar, och tid till tömning samt utsläppshastighet hålls konstanta, erhålls utdata från ChemsPlus enligt tabell 5.1.

Temperatur (K)	Pölarea (m^2)	Riskavstånd (m)
263	10	6.32
273	10	6.32
278	10	6.29
293	10	5.99
263	30	11
273	30	10.8
293	30	10.1
263	50	14.2
273	50	13.8
293	50	12.9
263	70	16.8
273	70	16.2
293	70	15.2
263	90	18.9
273	90	18.2
293	90	17.1
263	120	21.7
273	120	20.9
293	120	19.6
263	160	24.9
273	160	24
263	200	27.7
273	200	26.7
293	200	25
263	250	30.8
273	250	29.6
293	250	27.8
263	300	33.5
273	300	32.3
293	300	30.3
263	350	36.1
273	350	34.8
293	350	32.6
263	400	38.4
273	400	37.1
293	400	34.7
263	450	40.7
273	450	39.2
293	450	36.7
263	500	42.8
273	500	41.2
293	500	38.6

Tabell 5.1 Sampel av utdata från ChemsPlus, koldisulfid.

Utdata från ChemsPlus används sedan som underlag för en regressionsanalys i Excel för riskavståndets beroende av temperatur och brandarea. Regressionssambandet skall vara av formen:

$$X = k \cdot T^n \cdot A^m, \text{ där } k, n, m \text{ är konstanter.}$$

Resultatet från regressionsanalysen återges i tabell 5.2.

	Värde
k	322,31
n	-0,89611
m	0,478167
R ²	0,999886

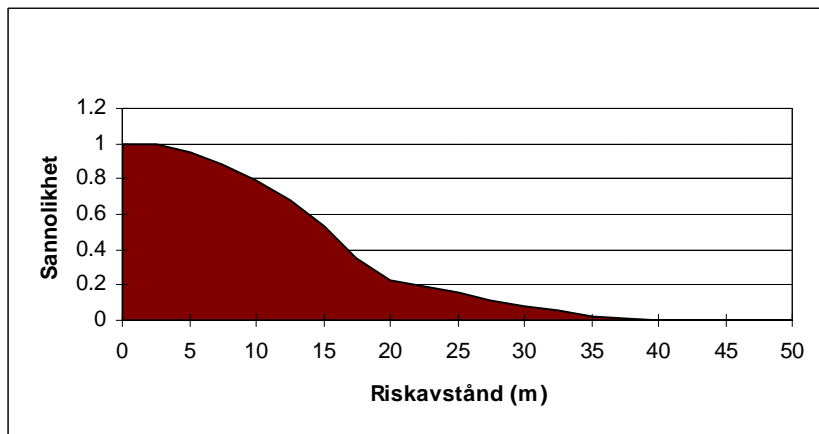
Tabell 5.2 Utdata från regressionsanalys i Excel, koldisulfid.

Med hjälp av BestFit hittas den fördelning som stämmer bäst överens med medeltemperaturen i figur 5.2. Arian presenteras som en villkorad fördelning för att bäst överensstämmer med indata från/13/. I datorprogrammet @Risk utförs sedan 10000 iterationer, i en Latin Hypercube-simulering, av de statistisk fördelade parametrarna T och A för att få fram en sannolikhetsfördelning över riskavståndet. Indata i simuleringarna presenteras i tabell 5.3.

Parameter	Fördelning
T	RiskUniform(271;288)
A _s	RiskUniform(0;1)
A _{villkorad}	OM(A _s <0,75;RiskUniform(0;100);RiskTriang(100;100;500))

Tabell 5.3 Indata i @Risk för koldisulfid.

Sannolikhetsfördelningen, vilken uttrycker sannolikheten för att riskavståndet är, eller överstiger ett givet antal meter, redovisas i figur 5.3.



Figur 5.3 Sannolikhetsfördelning för riskavståndet för koldisulfid.

APPENDIX 6 Antändning av explosivt ämne

Beräkning av värmestrålning:

Beräkningarna redovisas för fallet med 15,7 ton sprängämne. Strålningseffekten av detonation/deflagration är större än vid annan förbränning ty strålningseffekten ökar med fjärde graden av temperaturen (enligt formeln $Q = 5,7 \varepsilon (T/100)^4$), samt då det råder mycket höga temperaturer.

Energiinnehållet för Trotyl är:

$$E_t = \Delta H / m = 1230 \text{ kJ/mol} / 0,227 \text{ kg/mol} = 5,42 \text{ MJ/kg},$$

ΔH = reaktionsentalpi (J/mol)

m = ämnets molmassa (g/mol)

Laddningens totala energiinnehåll blir /3/:

$$E = E_t \cdot M = 5,42 \text{ MJ/kg} \cdot 15700 \text{ kg} = 8,5 \cdot 10^{10} \text{ J},$$

E = laddningens totala energiinnehåll i Joule.

M = explosivämnesmängden i kg.

$$\text{Eldklotets diameterstorlek /3/} = 3,5 \cdot M^{0,333} = 3,5 \cdot 15700^{0,333} = 87 \text{ m}$$

$$\text{Eldklotets varaktighet /3/} = 0,3 \cdot M^{0,333} = 0,3 \cdot 15700^{0,333} = 7,5 \text{ s}$$

Mottagen strålningsenergi från eldklotet vid halvsfärisk utbredning beräknas enligt /3/, där det antas att hälften av den utvecklade energin avges i form av värmestrålning /2/:

$$Q = (E/2)/(4\pi r^2)$$

Q är mottagen strålningsenergi (J/m^2)

E är laddningens totala energiinnehåll (J)

r är avståndet från laddningens centrum (m)

Med olika värden på den mottagna strålningsenergin fås tillhörande riskavstånd från ovanstående formel. Skadekriterier för brännskador beroende av totalt mottagen värmestrålningsenergi är tagna från /1/. Vid beräkning av 99% dödlighet används värden från /11/ (figur 3-11.41). Resultatet kan avläsas i tabell 6.1.

Brännskador	Mottagen strålningsenergi (kJ/m ²) vid 7,5 s exponeringstid	Riskavstånd (m), avstånd från laddningscentrum
1:a gradens brännskada	50 kJ/m ²	260 m
2:a gradens brännskada	120 kJ/m ²	168 m
3:e gradens brännskada	200 kJ/m ²	130 m
99 % döda	3000 kJ/m ²	34 m

Tabell 6.1 Riskavstånd med hänsyn till mottagen strålningsenergi.

Beräkning av tryck:

Beräkningarna redovisas för den lägre samt den högre mängden explosivämne. Beräkningsunderlag och metodik är tagen från /3/.

Metodik:

1. Först beräknas laddningsvikten. Då en laddning exploderar på mark sker en spegling av trycket vilket kan kompenseras genom att räkna med en 1,8 gånger större laddning än givet /3/. Det skalade avståndet ($r/Q^{1/3}$) beräknas där r är avståndet till laddningen och Q är omräknade laddningsvikten.
2. Övertryck och impulstäthet för den omräknade laddningsvikten beräknas för ett område med radien 750 m från explosionens centrum. Med uppgifter om avstånd och laddningsvikt bestäms det infallande fria trycket med hjälp av figur 6.3.
3. Med hjälp av det infallande trycket kan det reflekterade trycket på ytor vända mot laddningen beräknas. Då en yta är vänd mot laddningen blir det uppmätta trycket och impulstätheten högre enligt ett förhållande visad i figur 6.4. Skador eller rasering av byggnader bestäms utifrån formel (Granström, 1958) /3/:

$I_c/I_+ + P_c/P_+ < 1$ medför väggras, där

I_c är karakteristisk impulstäthet för byggnad enligt tabell 6.2, (kPa)

I_+ är aktuell impulstäthet (kPa)

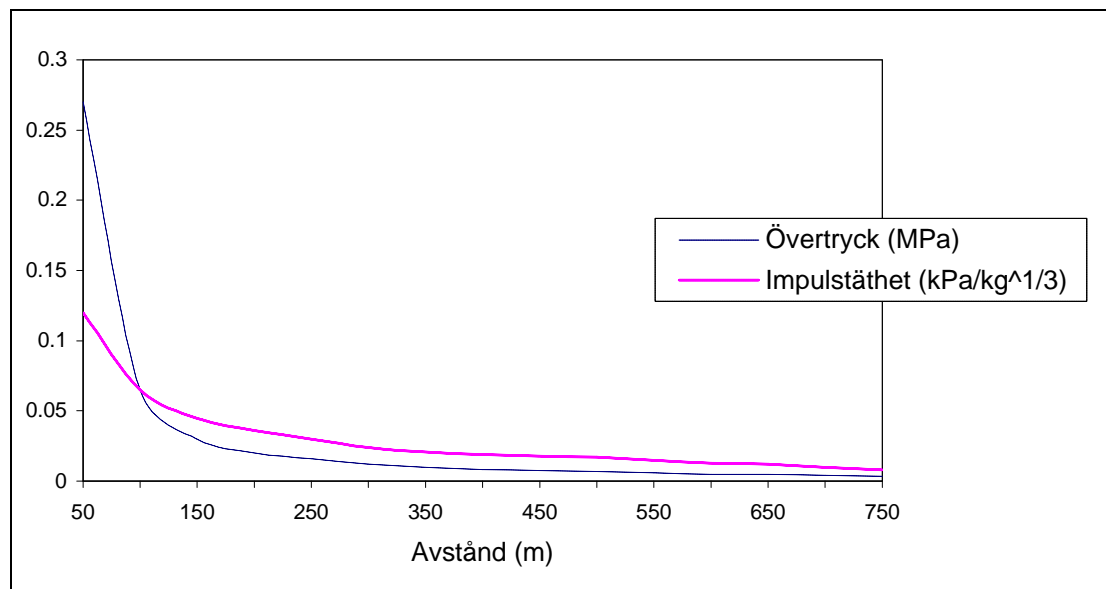
P_c är karakteristisk tryck för byggnad enligt tabell 6.2, (kPa)

P_+ är aktuellt tryck (kPa)

Fall 1. Verkan av tryck vid explosion av 15,7 ton sprängämne.

Den omräknade laddningsvikten blir $1,8 \cdot 15\,700 \text{ kg} = 28\,260 \text{ kg}$.

Beräkningar av det infallande tryckets- samt impulstäthets beroende av avståndet till laddningscentrum kan utläsas av figur 6.1 nedan.

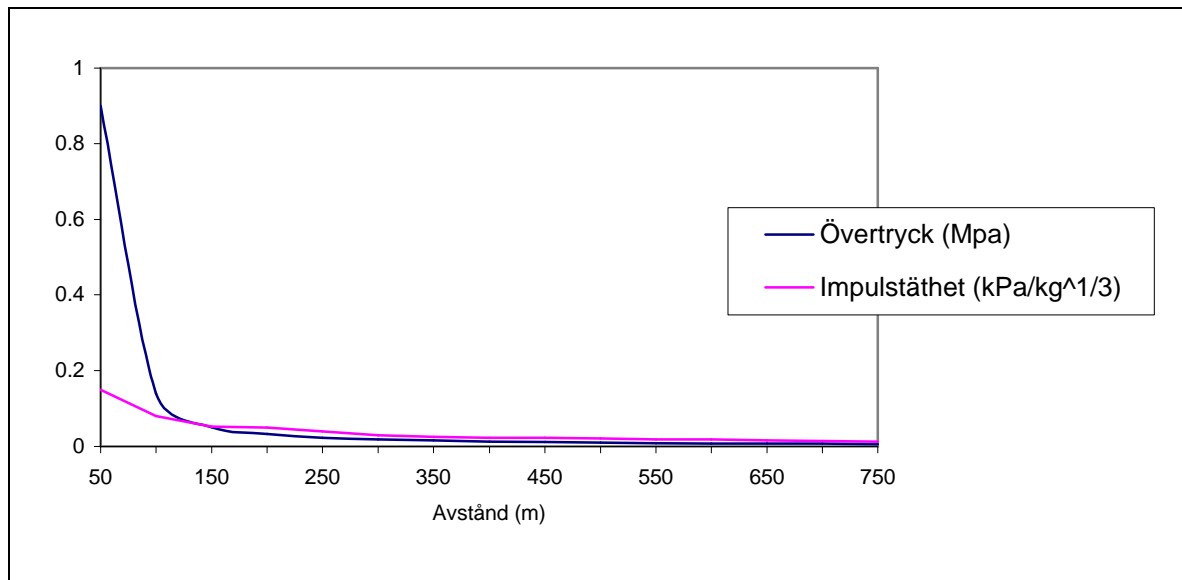


Figur 6.1 Infallande övertryck och impulstäthet vid detonation av 15,7 ton explosivämne med halvsfärisk utbredning.

Fall 2. Verkan av tryck vid explosion av 41,1 ton sprängämne.

Den omräknade laddningsvikten blir $1,8 \cdot 41\ 100\ \text{kg} = 73\ 980\ \text{kg}$.

Beräkningar av det infallande tryckets beroende av avståndet till laddningscentrum kan utläsas av figur 6.2 nedan.



Figur 6.2 Infallande övertryck och impulstäthet vid detonation av 41,1 ton explosivämne med halvsfärisk utbredning.

Beräkning av eventuell byggnadskollaps:

Byggnaderna som presenteras i beräkningarna är objekten HB05, HB08 och HB22. Av säkerhetsskäl anges inte explosivämnets placering, vilket refereras till som laddningscentrum.

Objekt HB05:

Avstånd från laddningscentrum till hamnterminalen är 675 m. Skalat avstånd blir $675/(28260)^{1/3} = 22,2 \text{ m/kg}^{1/3}$. Infallande tryck avläses i figur 6.3 till 0,004 MPa och impulstäthet till $0,011 \cdot 28260^{1/3} = 0,34 \text{ kPa}$. Byggnaden approximeras till att vara en P1MH, enligt tabell 6.2, en byggnad med karakteristisk tryck och impulstäthet av 5 kPa respektive 0,5 kPa. Trycket faller in mot byggnaden med en vinkel av 70° vilket enligt figur 6.4 ger kvoten $k = 2,4$ mellan infallande- och reflekterad tryck.

Det omräknade trycket blir då $2,4 \cdot 0,34 \text{ kPa} = 0,816 \text{ kPa}$ och omräknad impulstäthet blir $2,4 \cdot 0,5 = 1,2 \text{ kPa}$.

$I_c/I_+ + P_c/P_+ = 0,816/1,2 + 1,2/0,5 = 1,68 + 2,4 = 4,08 > 1$, vilket innebär att väggen inte kollapsar.

Objekt HB08:

Avståndet från laddningscentrum till tullvisitations- och kontorsbyggnaden är 325 m. Skalat avstånd blir $325/(28260)^{1/3} = 10,7 \text{ m/kg}^{1/3}$. Infallande tryck avläses till 12 kPa och impulstätheten till $0,22 \cdot 28260^{1/3} = 0,67 \text{ kPa}$ i figur 6.3. Trycket faller in mot byggnaden med en vinkel av 70° vilket enligt figur 6.4 ger kvoten $k = 2,2$ mellan infallande- och reflekterad tryck. Det omräknade trycket blir då $2,2 \cdot 0,67 \text{ kPa} = 1,474 \text{ kPa}$ och omräknad impulstäthet blir $2,2 \cdot 0,67 = 1,474 \text{ kPa}$. Karakteristisk tryck och impulstäthet för en byggnad av typen T3MS är, enligt tabell 6.2, 10 kPa respektive 0,8 kPa.

$I_c/I_+ + P_c/P_+ = 1,474/1,474 + 1,474/0,8 = 1,0 + 1,8425 = 2,8425 > 1$, vilket innebär kollaps av väggen.

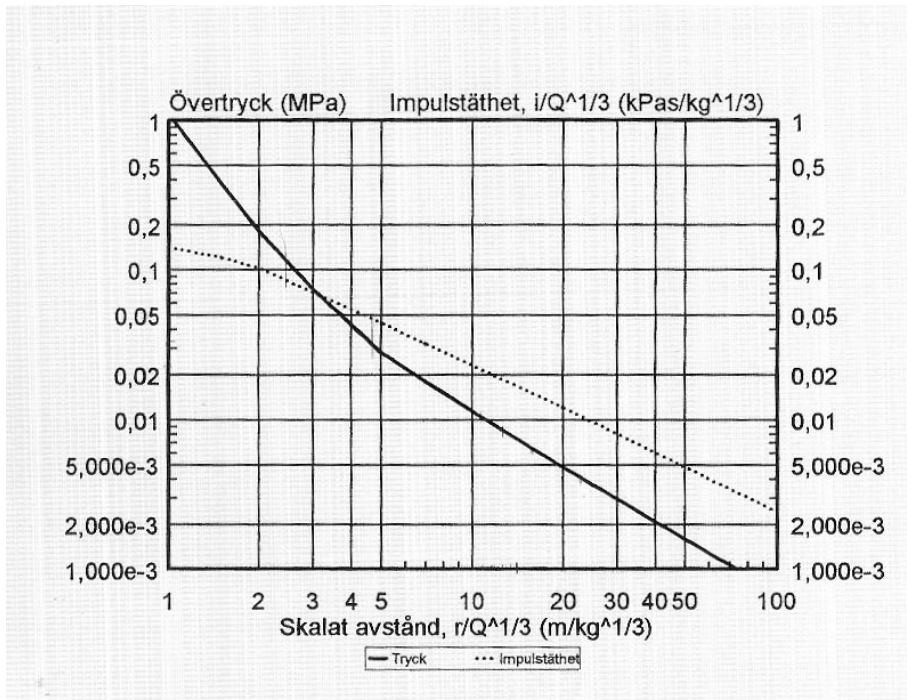
Enligt kapitel 5.3.2 antas uppskattningsvis 1/3 av de personer som befinner sig inom en invändig raszon på 5 m dödas och ytterligare 1/3 skadas /4/. Detta medför att om 4 personer befinner sig inom raszonen skulle 1 person omkomma och ytterligare 1 person skadas allvarligt.

Objekt HB22:

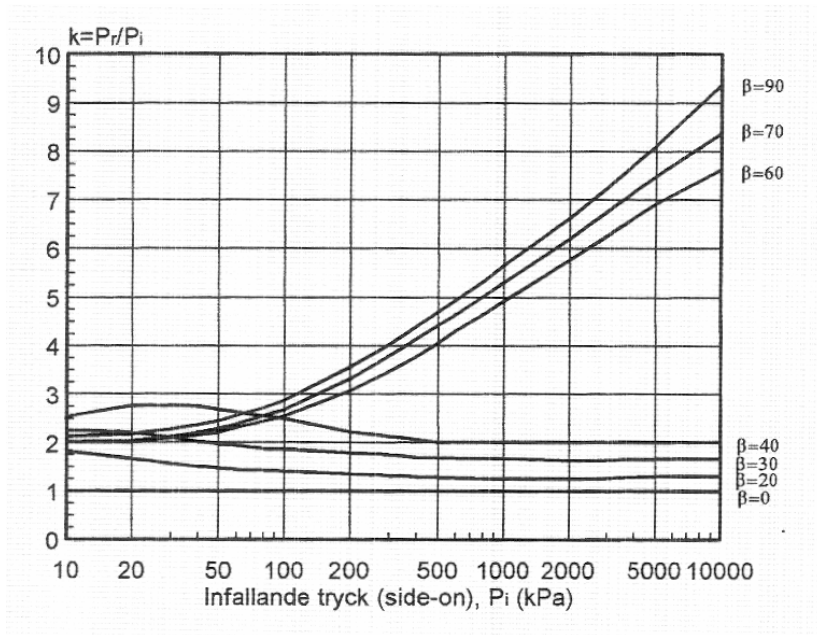
Avståndet från laddningscentrum till byggnaden, som används som kontor, magasin och personalutrymme samt att den har högspänning, är 75 m. Byggnaden av typen SiLN har ett karakteristisk tryck och impulstäthet av 15 kPa respektive 1,5 kPa. Skalat avstånd blir $75/(28260)^{1/3} = 2,5 \text{ m/kg}^{1/3}$. Infallande tryck avläses i figur 6.3 till 130 kPa och impulstätheten till $0,08 \cdot 28260^{1/3} = 2,4 \text{ kPa}$. För vinkelrätt infall mot byggnaden blir $k = 3,1$ i figur 6.4. Omräknade trycket blir då $3,1 \cdot 2,4 = 7,44 \text{ kPa}$ och impulstätheten blir $3,1 \cdot 1,5 = 4,65 \text{ kPa}$.

$I_c/I_+ + P_c/P_+ = 7,44/4,65 + 4,65/15 = 1,6 + 0,31 = 1,91 > 1$, vilket innebär kollaps av väggen.

Byggnadens närhet till explosionen samt uppförande ger bedömningen att raszonen skulle omfatta halva byggnaden. Detta innebär att om 6 personer befann sig i byggnaden vid explosionen skulle 3 personer dödas och ytterligare 3 skadas allvarligt.



Figur 6.3 Maximalt övertryck och positiv impulstäthet för detonerande laddningar av trotyl, vid sfärisk utbredning /3/.



Figur 6.4 Kvot mellan reflekterad- och infallande tryck /3/.

Typ av konstruktion	Beteckn.	vån.höjd (m)	Pc (kPa)	Ic (kPas)
Byggnader med stomme i plåtgjuten betong:				
Bärande ytterväggar av 20 cm betong (och invändiga pelare)	B1TN	3,5	200	2,5
Lätta utfackningsväggar (plåtkassetter) i pelarhus	B2LN	3,5	5	0,5
Medeltunga utfackningsväggar (regelstomme och fasadtegelskal) i pelarhus	B2MN	3,5	5	1,0
Bärande tvärväggar och utfäckade långsgående ytterväggar:	B3MN	2,5		
Gavel med 16 cm betong			200	2,5
Långsida (regelstomme och fasadtegelskal)			10	1,0
Cellhus med bärande ytterväggar av 15 cm betong	B4TN	2,5	200	2,5
Byggnader med stomme i monterad betong:				
Hallbyggnad med ytterväggar av 25 cm lättbetongelement (spännvidd 6 m)	P1MH	6,0	5	0,5
Hallbyggnad med ytterväggar av sandwichelement (betong- isolering-betong), (spänn- vidd 4 m)	P1TH	8,0	6	2,8
Pelarbalkstomme med ytterväggar av sandwichelement (betong-isolering-betong)	P1TN	3,5	200	3,1
Elementhus med ytterväggar av sandwichelement (betong-isolering-betong)	P1TN	2,5	200	3,1
Typ av konstruktion	Beteckn.	vån.höjd (m)	Pc (kPa)	Ic (kPas)
Byggnader med stomme i stål:				
Hallbyggnad med lätta ytter- väggar (profilerad plåt på stålreglar, spännvidd 6 m)	S1LH	7,5	5	0,5
Pelarhus med lätta utfacknings- väggar (stålreglar med utvändigt plåtbeklädnad)	S1LN	3,5	15	1,5
Pelarhus med medeltunga utfack- ningsväggar (regelstomme och fasadtegelskal)	S1MN	3,5	15	1,0
Hallbyggnad med tunga ytter- väggar (2 halvstens tegel- murar med mellanliggande isolering)	S1TH	7,5	2,5	0,3
Byggnader med murad stomme:				
Småhus med yttervägg av 250 mm lättbetong	M1LS	2,5	25	0,5
Flerfamiljshus med 1-stens bärande ytterväggar	M1TN	3,0	80	1,5
Äldre tegelbyggnad (1,5-stens yttervägg)	M2TN	3,0	200	1,8
Byggnader med trästomme:				
Plank- och timmerhus	T1MN	3,0	20	0,6
Hallbyggnad med pelare/balk- stomme (väggbeklädnad träpanel på träreglar, spv 6 m)	T2LH	6,0	2	0,1
Hallbyggnad med regelstomme (väggbeklädnad träpanel)	T3LH	3,0	1	0,1
Större hus med regelstomme (väggbeklädnad träpanel)	T3LN	3,0	2	0,2
Småhus med regelstomme (yttervägg med 1/2-stens fasadtegelskal)	T3MS	2,5	10	0,8

Tabell 6.2 Karakteristiska tryck och impulstätheter för kollaps av olika väggtyp /3/.

APPENDIX 7 Beräkning av individ- och samhällsrisk

Individrisk

Sannolikhetsfördelningarna för riskavståndet från appendix 4.6 används som indata för beräkning av individ- och samhällsrisk. Sannolikheten att en individ omkommer på grund av ett utsläpp beräknas enligt formel nedan. Individriska beräknas för de olika ämnena var för sig, vilka slutligen adderas samman för att ge den totala individriska.

$$\text{Individrisk} = F_{\text{utsläpp}} \cdot S_{\text{riskavstånd}} \cdot S_{\text{vind}}$$

$F_{\text{utsläpp}}$ = Utsläppsfrekvens för varje enskilda ämne (år^{-1})

$S_{\text{riskavstånd}}$ = Sannolikheten för att konsekvensen av ett utsläpp ger ett visst avstånd (x,y), för varje enskilda ämne.

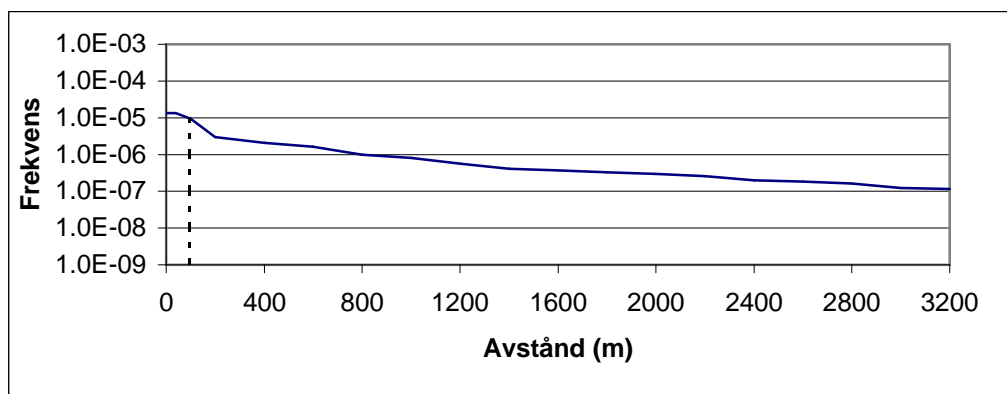
S_{vind} = Sannolikheten för att det blåser från en viss riktning mot punkten (x,y)

Sannolikheten för att vinden blåser från en viss riktning ges i tabell 7.1/16/.

Vindriktning	Relativ frekvens (%)
<i>N (nordlig)</i>	11,34
<i>NE (nordöstlig)</i>	9,31
<i>E (östlig)</i>	12,34
<i>SE (sydöstlig)</i>	5,90
<i>S (sydlig)</i>	10,58
<i>SW (sydvästlig)</i>	15,14
<i>W (västlig)</i>	22,78
<i>NW (nordvästlig)</i>	8,82
<i>Lugnt</i>	3,79
	$\Sigma = 100$

Tabell 7.1 Relativa frekvenser av vindriktning för Ystad (vilken riktning det blåser från).

Vid att vikta avståndet med de olika vindriktningarnas relativa frekvenser kan en medelindividriska beroende på avståndet presenteras enligt figur 7.1.



Figur 7.1 Medelindividrisk beroende av avståndet.

Enligt kapitel 2.1 är $1 \cdot 10^{-5}$ övre gränsen för området där risker under vissa förutsättningar kan accepteras. Denna gräns är, enligt figur 7.1, vid 95 meter.

Samhällsrisk

Eftersom samhällsrisken uttrycker risken för en grupp individer, är uppgifter om hur många personer som vistas inom området en viktig uppgift. Enligt Ystad Hamn Logistik AB vistas uppskattningsvis ett snitt av 3800 personer själva hamnen inom ett dygn. Den närliggande stadskärnan har ett invånartal av ungefär 17 000 personer.

Samhällsrisken beräknas för personer som vistas utomhus under tiden för det aktuella utsläppet. För att kunna beräkna risken görs följande bedömningar:

- Av invånarna i tätorten bedöms 10 % vara hemmavarande på dagen och 90% vara hemma på natten, vilket grundas i uppgifter från /22/.
- I bostadsområden antas 10 % av de hemmavarande personerna vistas utomhus dagtid, 0,5 % nattetid.
- I själva stadskärnan antas 10 % av de hemmavarande personerna vistas utomhus dagtid, 0,5 % antas vistas utomhus i snitt nattetid.
- I de delar av hamnområdet som inkluderar stationsområde, bilparkering, uppställningsplatser för avgång etc., skattas 30 % vistas utomhus dagtid och 5 % nattetid.

Ovanstående bedömningar och antaganden grundas dels i observationer av området, dels i kännedom om stadens struktur, industrier och verksamheter.

Utsläppet antas ske på Bornholmsgatan, se figur 7.3 i beräkning av individrisk. För att ta hänsyn till persontätheten på de olika vädersträcken, delas området upp i åtta cirkelsektorer. Varje cirkelsektor delas sedan in i segment om 200 meter vardera. För att få fram medelvärdet av antal döda med 200 meters intervall, beräknas först antalet personer som exponeras inom varje cirkelsektor som antal per km². Därefter multipliceras antalet med sannolikheten för att det blåser i en viss vindriktning (se figur 7.1). Konsekvenserna att drabbas reduceras med en faktor 30/45, för att ta hänsyn till att sektorvinkeln är 45° medan utsläppsvinkeln är 30°. Medelvärdet av antal döda beräknas för båda dag- och nattetid enligt:

$N = S(P_{\text{vind}} \cdot n_s) / 8 \cdot 30/45$, där:

N = medelvärdet av antal döda

P_{vind} = sannolikheten för sektorns vindriktning

n_s = sektorns persontäthet

30/45 = reduktionsfaktor

Ett medelvärde för dygnet beräknas enligt formel nedan:

$$N_{\text{medel}} = \sum (N_{\text{dag}} \cdot S_{\text{dag}} + N_{\text{natt}} \cdot S_{\text{dag}})$$

N_{natt} = medelvärdet av antal döda nattetid

N_{dag} = medelvärdet av antal döda dagtid

S_{dag} = sannolikheten att det är dag = 0,5

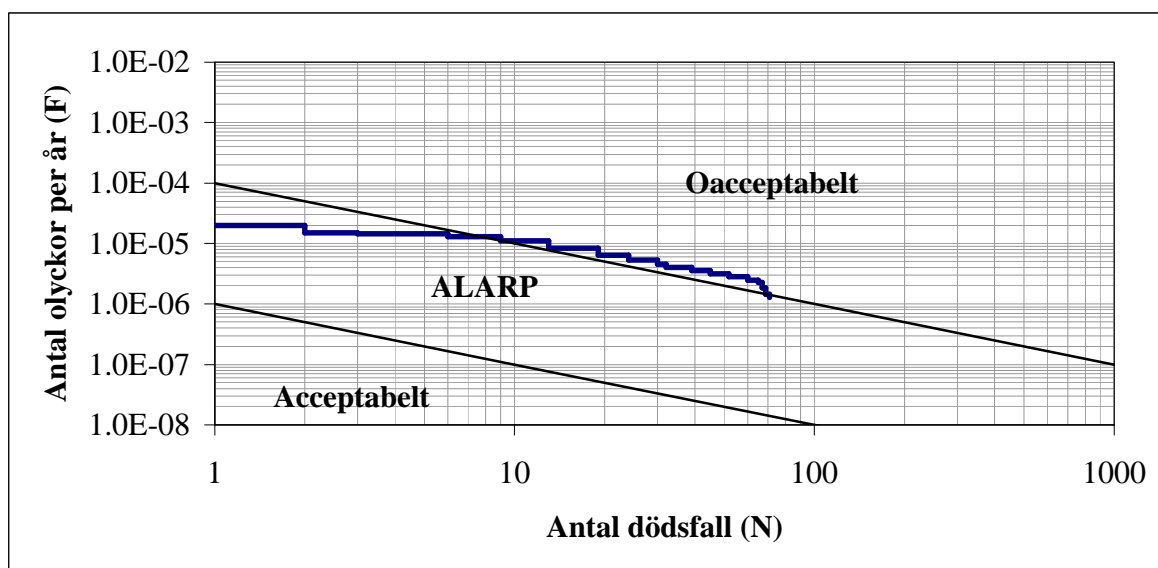
S_{natt} = sannolikheten att det är natt = 0,5

I tabell 7.2 visas medelvärdet av antal döda inom avståndet 2600 meter.

Riskavstånd (m)	Antal döda
0	0
200	3
400	6
600	9
800	13
1000	19
1200	24
1400	30
1600	32
1800	39
2000	45
2200	52
2400	60
2600	65
2800	67
3000	69
3200	71

Tabell 7.1 Medelantalet döda av utsläpp på Bornholmogatan.

För att få fram en FN-kurva som redovisar frekvensen av en olycka i förhållande till antal döda, beräknas antalet döda som funktion av sannolikheterna för ett visst riskavstånd. Beräkning görs för varje ämne med hjälp av sannolikhetsfördelningar i appendix 5, för ett avstånd av 3200 meter. De olika FN-kurvorna adderas sedan samman och redovisas i figur 7.4.



Figur 7.4 Samhällsrisken i jämförelse med acceptanskriterier framtagna av DNV /9/.