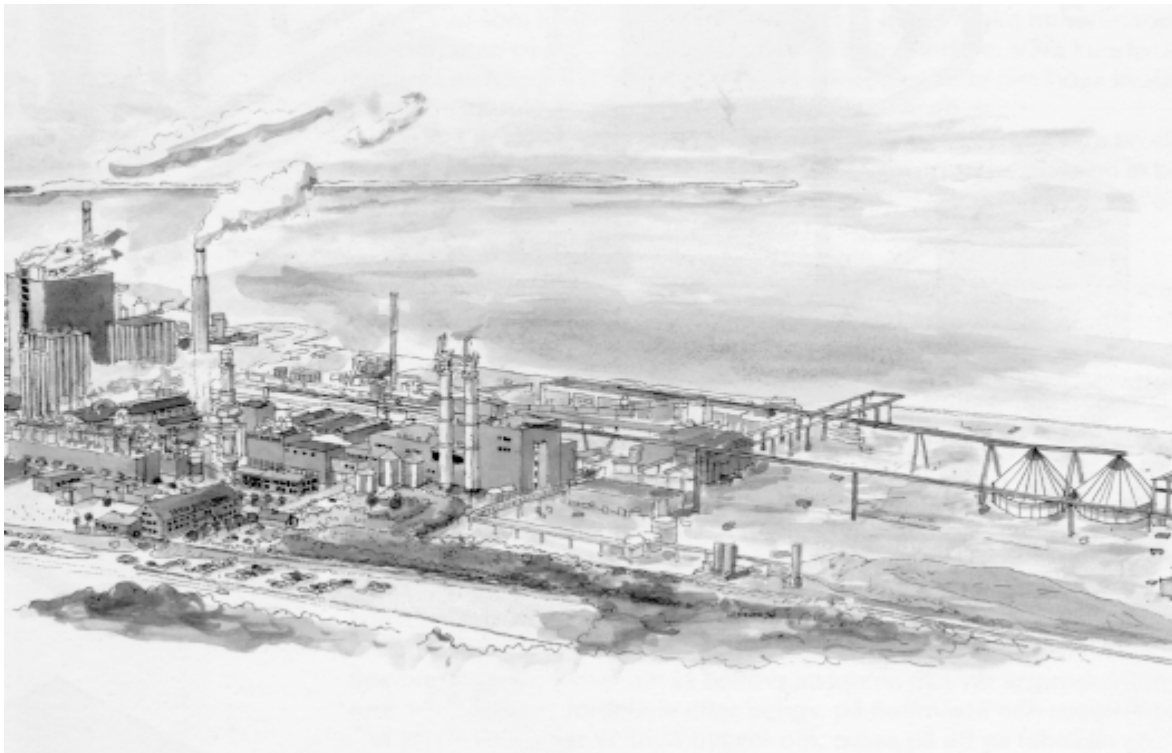




Brandingenjörslinjen
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet

SVAVELDIOXIDUTSLÄPP VID STORA CELL AB, SKUTSKÄR

- riskanalys av transport, lossning, lagring och distribution



LUND 1998

Andreas Bengtsson
Helena Norlin

Institutionen för brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund

Department of Fire Safety Engineering
Lund Institute of Technology
Lund University
Box 118
S-221 00 Lund
Sweden

SVAVELDIOXIDUTSLÄPP VID STORA CELL AB, SKUTSKÄR - riskanalys av transport, lossning, lagring och distribution

DISCHARGE OF SULFURDIOXIDE AT STORA CELL AB, SKUTSKÄR
- risk analysis of transport, unloading, storing and distribution

Andreas Bengtsson
Helena Norlin

Brandingenjörslinjen vid Lunds tekniska högskola
Aug 1998

ABSTRACT: Handling of sulfur dioxide (transport, unloading, storage and distribution) at a pulpmill. Risk analysis of discharge of sulfur dioxide according to the CPQRA-method, containing both consequence and frequency calculations. Handcalculations for rate of mass release, evaporation and dispersion combined to express a formula for risk distance, simulated in the statistical computer program @RISK. Discharge frequencies and number of exposed people presented as societal risk in F/N-curves. (Swedish)

KEYWORDS: risk analysis, sulfur dioxide, @RISK, CPQRA, frequency of discharge, societal risk,

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 SAMMANFATTNING	3
2 INLEDNING.....	5
2.1 MÅLSÄTTNING OCH SYFTE	5
2.2 METODIK.....	5
2.3 BEGRÄNSNINGAR	5
2.4 ERKÄNNANDEN	5
3 PRESENTATION AV FÖRETAGET	7
3.1 STORA CELL.....	7
3.2 STORA CELL I SKUTSKÄR.....	7
4 KORT BESKRIVNING AV PROCESSEN	9
4.1 SULFATPROCESSEN.....	9
4.2 KEMIKALIEÅTERVINNING	9
4.2.1 Indunstning	10
4.2.2 Sodahusprocessen.....	11
5 RISK OCH RISKANALYS	13
5.1 RISK	13
5.2 RISKANALYS	13
6 SYSTEMBESKRIVNING	15
6.1 TRANSPORT	15
6.2 LOSSNING.....	16
6.3 LAGRING	16
6.4 DISTRIBUTION	17
7 VAL OCH BESKRIVNING AV SKADEHÄNDELSER	19
7.1 TRANSPORT	19
7.2 LOSSNING.....	19
7.3 LAGRING	20
7.4 DISTRIBUTION	20
8 FREKVENSUPPSKATTNINGAR.....	21
8.1 TRANSPORT.....	21
8.2 RÖRLEDNINGAR OCH RÖRLEDNINGSKOMPONENTER.....	22
8.2.1 Rör (distribution).....	22
8.2.2 Slangar (lossning).....	22
8.2.3 Ventiler och flänsar (lossning, lagring, distribution).....	23
8.2.4 Säkerhetsventiler.....	24
8.2.5 Sprängbleck	24
8.2.6 Tryckkärl.....	24
8.3 UTSLÄPPSFREKVENSER	25
9 KONSEKVENSBERÄKNINGAR.....	27
9.1 VAL AV DIMENSIONERANDE KONCENTRATION	27
9.2 BERÄKNING AV RISKAVSTÅND	28
9.3 BERÄKNING AV ANTAL UTSATTA PERSONER.....	29
9.3.1 Befolkningstäthet	29
9.3.2 Antal utsatta personer.....	30
10 SAMHÄLLSRISK.....	31
10.1 FN-KURVA	31
10.2 ACCEPTANSKRITERIER	31
11 RESULTAT	33
11.1 RISKAVSTÅND	33

11.1.1 Transport	33
11.1.2 Lossning	34
11.1.3 Lagring	34
11.1.4 Distribution.....	35
11.2 SAMHÄLLSRISK	36
11.2.1 Transport	36
11.2.2 Lossning.....	36
11.2.3 Lagring	37
11.2.4 Distribution.....	37
11.3 RESULTATTABELL ÖVER RISKAVSTÅND OCH SAMHÄLLSRISK	38
12 SLUTSATSER OCH ÅTGÄRDSFÖRSLAG	39
13 REFERENSER	41

BILAGOR

- BILAGA 1 Översiktskarta, fabriksområdet
- BILAGA 2 Frekvensberäkningar
- BILAGA 3 CHEMS-PLUS
- BILAGA 4 Konsekvensberäkningar
- BILAGA 5 Karta över Skutskär
- BILAGA 6 Känslighetsanalys
- BILAGA 7 Vindfördelning
- BILAGA 8 Faktablåd, svaveldioxid
- BILAGA 9 Resultattabell

1 SAMMANFATTNING

Arbetet har bestått i att analysera de risker som finns i samband med svaveldioxidhanteringen vid STORA Cell AB i Skutskär. Vid fabriken produceras pappers- och fluffmassa. Varje år hanteras cirka 5000 ton svaveldioxid, som främst används till blekning.

Svaveldioxidhanteringen har delats upp i momenten

- transport
- lossning
- lagring
- distribution

Varje moment har i sin tur delats upp i ett antal möjliga skadehändelser. Skadehändelserna har ordnats efter storleken på utsläppet: litet utsläpp t ex flänsläckage, medelstort utsläpp t ex mindre hål eller reva på tankvagn och stort utsläpp t ex rörbrott eller tankhaveri.

Frekvenser för skadehändelser vid transport har beräknats med "SRV-modellen" för farligt gods transport på järnväg. För övriga skadehändelser har frekvenser uppskattats med hjälp av utländsk litteratur. Vissa värden har behövts modifieras för att stämma överens med utsläppsförhållanden i valda skadehändelser. Frekvenserna för de olika skadehändelserna varierar mellan $6 \cdot 10^{-9}$ utsläpp per år för tankhaveri vid transport och $3 \cdot 10^{-2}$ utsläpp per år för mindre läckage vid lagring och distribution.

Vid beräkning av riskavstånd har olika formler för utflöde, förångning och spridning kombinerats. Variablerna i formlerna t ex hålradius och tryck har givits en viss sannolikhetsfördelning, som sedan har använts vid simuleringar i datorprogrammet @RISK. I datorsimuleringarna kombineras olika värden från ingångsparametrarna och resultatet blir en sannolikhetsfördelning av riskavståndet. Generellt gäller att skadehändelser med mindre utsläpp genererar riskavstånd på 50 till 300 meter, vilket innebär att vid dessa utsläpp drabbas endast personal vid fabriken. Vid större utsläpp ligger riskavstånden kring 1500 meter, undantaget tankhaveri som ger 7500 meter. De parametrar som påverkar riskavståndet mest är hålradius, väderstabilitet och vindhastighet.

För att erhålla antalet personer som utsätts för kritisk koncentration 100 ppm svaveldioxid, har riskavståndet multiplicerats med befolkningstätheten och vindriktningen för Skutskär.

Riskanalysen följer CPQRA-metodiken, där frekvensen för respektive skadehändelse sammanvägs med antalet utsatta personer till en samhällsrisk, sk FN-kurva. Vidare har alla FN-kurvor adderats till en total samhällsrisk för svaveldioxidhanteringen. Den totala samhällsrisk är 0.2 pers/år, vilket motsvarar att en person förväntas utsättas för kritisk koncentration under ett tidsintervall på fem år.

FN-kurvorna för de olika skadehändelserna har jämförts, för att kunna bedöma vilken händelse som innebär störst risk, och var lämpliga åtgärder bör sättas in. Jämförelsen visar att mindre och större läckage vid lagring klart utgör de största riskerna.

För att minska riskerna vid fabriken har bl a följande förebyggande och/eller skadebegränsande åtgärder föreslagits

- fasta rutiner för tillsyn och underhåll av rörledningskomponenter
- inbyggnad av lagringstankarna
- utbildning

2 INLEDNING

Föreliggande riskanalys utgör ett projektarbete i problembaserad brandteknisk riskhantering, VBR 130. Projektarbetet är genomfört i grupp om två och ingår som en avslutande del på Brandingenjörs-linjen vid Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. Uppdragsgivare är STORA Cell AB, Skutskär.

2.1 MÅLSÄTTNING OCH SYFTE

Syftet med arbetet är att genomföra en riskanalys över svaveldioxidhanteringen vid STORA Cell AB Skutskär. Analysen ska belysa de risker som föreligger vid de olika hanteringsmomenten transport, lossning, lagring och distribution. Vidare ska arbetet leda fram till vilka riskavstånd olika utsläpp genererar samt en samhällsrisk avseende svaveldioxid, baserad på en sammanvägning av konsekvensberäkningar och frekvensuppskattningar för olika utsläppsfall.

Målet med arbetet är främst att via analysen ge ett underlag, som visar på var i hanteringen åtgärder bör vidtagas för att därigenom höja säkerheten för personer inom och utanför industrin.

2.2 METODIK

Arbetet har i huvudsak bedrivits vid Lunds Tekniska Högskola. Studiebesök vid STORA i Skutskär har utförts i syfte att studera svaveldioxidhanteringen i detalj, men även för att få en överblick av företaget med dess produktion och process.

Riskanalysens upplägg följer den sk CPQRA (Chemical Process Quantitative Risk Analysis)-metodiken /9/. Detta innebär i stora drag inventering, frekvensuppskattningar, konsekvensberäkningar och avslutande bedömningar. Vidare har konsekvensberäkningar utförts med hjälp av simuleringar i datorprogrammet @RISK/15/.

2.3 BEGRÄNSNINGAR

Riskanalysen behandlar endast personrisk och tar således ej upp miljö- och egendomsrisk. Personerna antas befinna sig utomhus och kritisk koncentration är satt till 100 ppm, då risk för allvarlig skada föreligger. Ingen hänsyn tas till utsläppets varaktighet eller den dos personerna utsätts för.

Vidare studeras enbart råvaruhanteringen, dvs de moment svaveldioxiden genomgår innan den används i processen.

Analysen ger svaveldioxidens enskilda bidrag till den totala samhällsrisk, där alla i samhället förekommande risker t ex trafikolyckor och översvämningar vägs samman.

Resultatet är bara applicerbart i Skutskär, dock är metodiken generell och kan användas på andra områden.

2.4 ERKÄNNANDEN

Vi vill rikta ett stort tack till handledarna Berit Andersson, civilingenjör kemi, Institutionen för brandteknik, LTH och Lennart Fager, Räddnings- & säkerhetschef, STORA Cell AB Skutskär. Tack även till Jan Hagman och Håkan Ericsson för bistånd med uppgifter och erfarenheter från fabriken.

3 PRESENTATION AV FÖRETAGET

STORA är ett av världens äldsta företag. Någon gång på 1000-talet fann en bonde och hans bock kopparfyndigheten i Falun, vilken lade grunden till Stora Kopparbergs Bergslags AB. Vid 1600-talets slut började man utvinna andra ämnen som svavel och pigment till rödfärg från gruvan. Så småningom gick verksamheten över från gruvdrift till skogsbruk och även järnframställning. Vid 1800-talets slut anlades Sveriges första sulfat- och sulfitmassafabrik i Skutskär och vid samma tidpunkt byggdes det första pappersbruket i Kvarnsveden inte långt från Falun. I slutet av 1970-talet utvecklades gruv- och stålrelsen. Under 1980-talet införlivades bl a de svenska företagen Billerud, Papyrus och Swedish Match med bolaget och efter förvärvet av tyska Feldmühlekonzernen 1990 räknas STORA som en av världens ledande skogsindustrikoncerner.

STORA är ett av Sveriges största exportföretag med verksamhet i 20-talet länder världen över. Koncernens verksamhet baseras på skog som råvara. Av denna råvara produceras sågade trävaror och pappersmassa som förädlas till bl a grafiskt papper, kartong och förpackningspapper. Den största delen av försäljningen sker till europeiska kunder. I Europa arbetar nästan alla anställda och här finns de flesta produktionsanläggningarna. Koncernen har även växande marknadsandelar i Asien och USA. Den totala produktionskapaciteten för papper och kartong är ca 6 miljoner ton per år och STORA:s fakturering 1996 uppgick till drygt 45 MSEK. Koncernen har ca 20 600 anställda.

3.1 STORA CELL

STORA Cell som är ett av STORA:s produktområden, är sedan många år en av huvudaktörerna på den europeiska marknaden vad gäller pappersmassa. STORA Cell tillverkar dels pappersmassa för tillverkning av bl a grafiskt papper, förpackningspapper och kartong, dels fluffmassa för blöjor, sjukvårdsartiklar och sanitetsprodukter. Produktionsenheterna finns i Skutskär, Norrsundet samt i Portugal.

3.2 STORA CELL I SKUTSKÄR

På STORA Cell i Skutskär, ca två mil söder om Gävle, tillverkas både pappersmassa och fluffmassa. På fabriken produceras 550 000 ton massa per år. Halva produktionen består av fluffmassa och den andra halvan består dels av armeringsmassa till finpapper, dels av kortfibrig massa baserad på lövråvara från björk. Tillverkningsprocessen för fluffmassa är mycket lik det sätt som pappersmassa produceras på. Den tydligaste synbara skillnaden är att fluffmassan packas i rullar istället för i balar. I Skutskär har man en omsättning på 1.6 miljarder kr/år och ca 620 anställda.



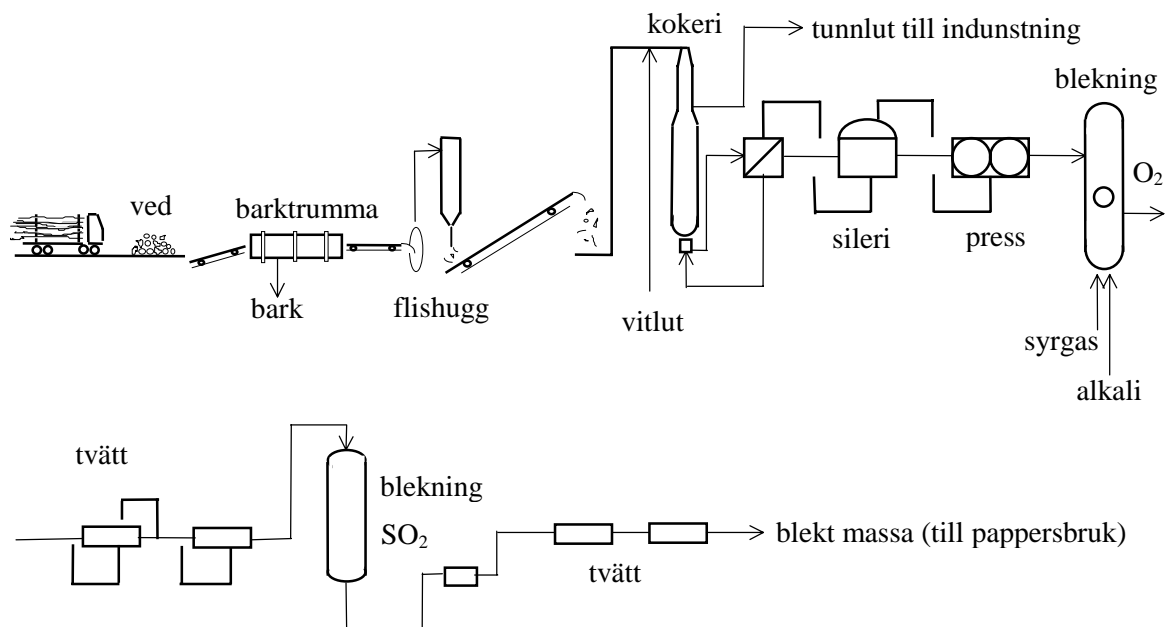
Figur 3.1 STORA Cell AB, Skutskär.

4 KORT BESKRIVNING AV PROCESSEN

Nedan ges en allmän beskrivning av processen som tillämpas vid massaframställning.

4.1 SULFATPROCESSEN

Vid massatillverkning enligt sulfatprocessen används alkalisk kokvätska. De aktiva kokkemikalierna är natriumhydroxid (NaOH) och natriumsulfid (Na_2S). Flisen impregneras med kokvätskan och matas in i toppen av kokaren i en kontinuerlig ström. Genom olika cirkulationssystem sker uppvärmning till ca 150°C medan flispelaren rör sig nedåt. Kemiska reaktioner löser ut lignin och frilägger fibrerna. I botten matas färdigkockt och delvis tvättad massa ut. Den använda kokvätskan med utlöst lignin som tvättats bort från fibrerna går till kemikalieåtervinningen. Fibrerna silas, tvättas ytterligare och bleks innan de torkas och transporteras till pappersbruket. Svaveldioxiden används bl a vid blekning.



Figur 4.1 Sulfatprocessen.

4.2 KEMIKALIEÅTERVINNING

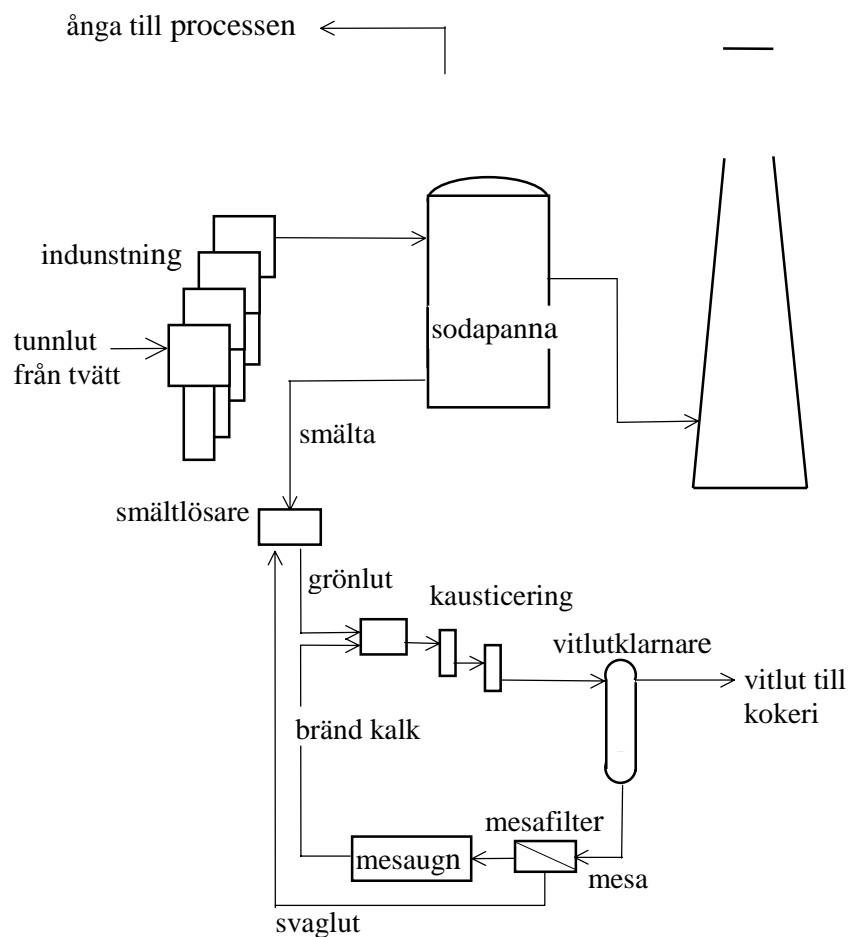
I kemikalieåtervinningen tar man tillvara värdefulla kemikalier samtidigt som energi utvinns. I sodahuset produceras ånga, som förser stora delar av processen i massafabriken med värmeenergi.

Den använda kokvätskan med kemikalier och lignin kallas svartlut eller tunnlut då den är utspädd med vatten. Tunnluten pumpas till kemikalieåtervinningen, där första steget är indunstningen (se figur 4.2). Här avdunstar vatten så att luten blir brännbar.

Luten bränns i sodapannan. Vid förbränningen genererar sodapannan ånga till processen, samtidigt som pannan verkar som en kemisk reaktor, som förändrar den kemiska sammansättningen hos de använda kokkemikalierna för att genom vidare processteg få fram ny kokvätska. De omvandlade kemikalier bildar en smälta på botten. Smältan rinner ut genom hål i botten och löser sig i en vätska, svaglut (se figur 4.2). Svagluten är tvättvätska från mesatvätten och innehåller en del

värdefulla kemikalier. Efter smältlösaren kallas vätskan grönlut och innehåller natriumkarbonat (Na_2CO_3) samt en mindre del natriumsulfid (Na_2S), vilka båda bildats i sodapannan. Natriumsulfid är den ena aktiva kokkemikalien, medan natriumkarbonaten ska behandlas vidare för att ge den andra aktiva kokkemikalien, natriumhydroxid.

Grönluten renas och blandas med bränd kalk i mixeriet. Den brända kalken reagerar med natriumkarbonaten till natriumhydroxid, den andra aktiva kokkemikalien. Samtidigt faller ett kalkslam, mesa ut. Mesan avskiljs, tvättas och bränns i mesaugnen för att åter ge bränd kalk.



Figur 4.2 Kemikalieåtervinning.

Två viktiga och riskfyllda moment i återvinningen är indunstningen samt sodahusprocessen, vilka beskrivs närmre nedan.

4.2.1 Indunstning

Efter tvättning innehåller den utspädda svartluten ca 15% torrs substans. I indunstningen höjs halten till ca 60%, vilket innebär att luten blir brännbar. Stora mängder vatten ska avdunsta, och det åtgår mycket värme.

Indunstningen sker i fem eller sex steg genom en serie indunstningsapparater. Dessa apparater är i princip värmeväxlare. Serien av värmeväxlare arbetar vid allt lägre tryck, vilket innebär att ångan kan användas från ett steg för att värma nästa genom kondensation. Den första apparaten tillförs färsånga

med övertryck, sedan faller tryck och temperatur för varje steg. Efter den sista apparaten sitter en vakumpump och en kondenser för att skapa undertryck.

Färskångkondensatet från den första apparaten är helt rent och förs tillbaka till matarvattentanken. Övrigt kondensat används som tvättvatten mm. Ångrummen där ångan kondenserar måste luftas ut så att processen inte hindras av att de fylls med icke kondenserbara gaser.

De icke kondenserbara gaserna innehåller svavelväte, metylmerkaptan, dimetylsulfid, dimetyldisulfid, metanol och terpentin. Gaserna är mycket illaluktande och bränns upp i destruktionsugnen.

4.2.2 Sodahusprocessen

Tjockluten från indunstningen förbränns i sodapannan. Syftet med processen är att generera ånga till uppvärmning i processerna i fabriken samt att återvinna använda kemikalier. Sodahuset består av sodapannan, anordningar för rökgasrening, smältlösare, fläktar, pumpar, asktransportörer mm.

Vid förbränningen förenar sig en del natrium från tjockluten med koldioxid till natriumkarbonat eller soda (Na_2CO_3), därav processens namn. Svavel reagerar med syre och natrium och bildar natriumsulfat (Na_2SO_4). Ytterligare kemiska reaktioner sker.

På sodapannans botten bildas en bädd av halvförbränd lut och kemikalier. Temperaturen är hög, 800°C , och det råder luftunderskott. Natriumsulfaten reduceras till natriumsulfid, den ena av de aktiva kokkemikalierna. De smälta kemikalierna rinner ut genom hål i pannans botten och löses i svaglut i smältlösaren till grönlut (se figur 4.2).

I form av finfördelade droppar sprutas luten in i sodapannan en bit upp i förbränningsugnen. Luten torkar och förgasas delvis. Gaserna förbränns. Värmen tas till vara via luftfyllda tuber på väggarna i ugnen.

För att avlägsna stoft från gasen finns elfilter och en scrubber. I scrubbern avskiljs även svaveldioxid från rökgaserna samtidigt som ytterligare värme tas till vara.

5 RISK OCH RISKANALYS

5.1 RISK

I en riskanalys bör man skilja mellan begreppen risk och riskkälla. Riskkällan kan ses som ett hot som kan leda till en olycka, medan risk kan definieras som en storhet. Risk är således en sammanvägning av frekvensen att en händelse inträffar och konsekvensen av händelsen enligt:

$$\text{risk} = \text{frekvensen för en händelse} \cdot \text{konsekvensen för händelsen}$$

Frekvensen för en händelse är ett statistiskt underlag över hur ofta händelsen inträffar under en viss tidsperiod. Vanlig enhet är per år.

Konsekvensen för händelsen är resultatet av en skadehändelse och anges i enheten antal skadade, antal döda eller skadekostnad för egendom eller dyl.

I rapporten görs en distinkt skillnad mellan frekvensen för en händelse och sannolikheten för en händelse. Här definieras sannolikhet som den andel med vilken en händelse inträffar utav totalt möjliga händelseutfall. Sannolikheten antar värden mellan 0-1 och är enhetslös.

5.2 RISKANALYS

För att uppskatta storleken på risken utförs en riskanalys. Riskanalysen innebär en identifiering och kartläggning av tänkbara riskkällor samt en mer eller mindre detaljerad analys av dessa riskkällor. Det finns olika riskanalysmetoder som ger olika nivåer av noggrannhet.

Denna riskanalys baseras på CPQRA -metodiken /9/, vilken innehåller följande moment:

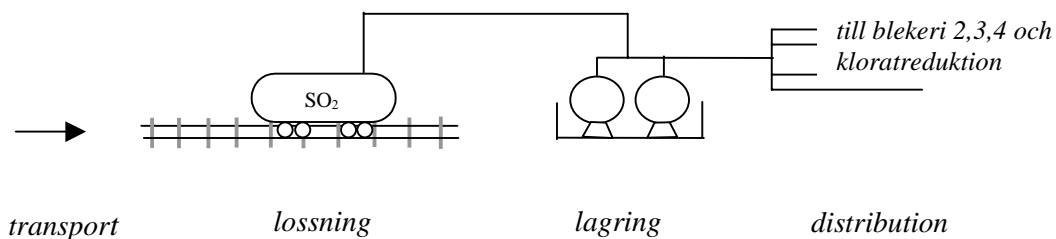
- 1) **Systembeskrivning**, innehållande information om industrin och dess process i form av utformning av utrustning, kritiska moment, arbetsrutiner och data om tryck, temperatur mm.
- 2) **Identifiering av olyckshändelser**, en kartläggning av tänkbara olyckshändelser med hjälp av olika instrument såsom checklistor, HazOp (hazard and operability studies), What if - analys eller ingenjörsmässiga bedömningar.
- 3) **Uppskattningar av frekvenser**, sker med hjälp av statistik över tidigare inträffade olyckor eller uppställd felträdsanalys.
- 4) **Konsekvensberäkningar**, innehållande modeller för beräkning av massflöde, förångning och spridning för olika händelseutfall. Resultatet från dessa används i sin tur för att bestämma riskavstånd, antal utsatta personer alternativt skador på byggnader.
- 5) **Riskuppskattning**, en sammanvägning av konsekvens och frekvens till något slag av riskmått t ex samhällsrisk, individuell risk eller riskindex.
- 6) **Slutsats**, där resultatet analyseras för att kunna utgöra underlag för eventuella riskreducerande åtgärder.

6 SYSTEMBESKRIVNING

Svaveldioxidhanteringen inom företaget kan delas upp i fyra olika delar enligt följande:

- transport
- lossning
- lagring
- distribution

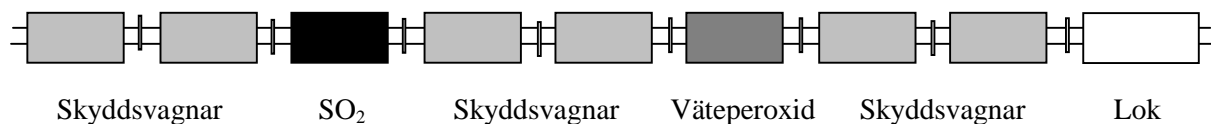
Dessa olika delar presenteras var för sig nedan.



Figur 6.1 Schematisk bild över svaveldioxidhanteringen.

6.1 TRANSPORT

All SO₂ som används inom företaget köps från KEMIRA KEMI AB i Helsingborg. Leverans sker via järnväg från Helsingborg till Skutskärs järnvägsstation. Företagets totala förbrukning av SO₂ motsvarar två stycken järnvägsvagnar à 58 ton per vecka. Järnvägstransporten vidare från Skutskärs järnvägsstation till Stora Cell, en sträcka på ca 2 km, ombesörjer företagets eget lokstall. På denna sträcka, som delvis utgörs av ett internt industrijärnvägsspår, finns det totalt fyra järnvägsövergångar. Av dessa är två försedda med ljud- och ljussignaler samt bommar medan de andra två är helt obebakade. Transport med SO₂ sker enligt uppgifter från lokstallet vid två tillfällen per vecka. Tågets sammansättning vid dessa tillfällen består normalt av en vagn med SO₂ och en vagn med väteperoxid samt ett antal skyddsvagnar. Skyddsvagnarna utgörs av tomma godsvagnar t ex timmervagnar eller godsfinckor. Nedan visas en schematisk bild över tågets sammansättning.



Figur 6.2 Tågsammansättning.

6.2 LOSSNING

För lossningsarbetet finns instruktioner utarbetade av leverantören, Kemira Kemi AB. Arbetet utförs av en person och går förenklat till på följande vis. Trycket i den tomma tanken sänks till 2-3 bar. Lossningsarbetet sker sedan med hjälp av tryckluft. Svaveldioxid i vätskefas trycks med 10 bar från järnvägsvagnen via en 2 tums slang ca 2 m lång och en fast rörledning till den stationära lagringstanken.

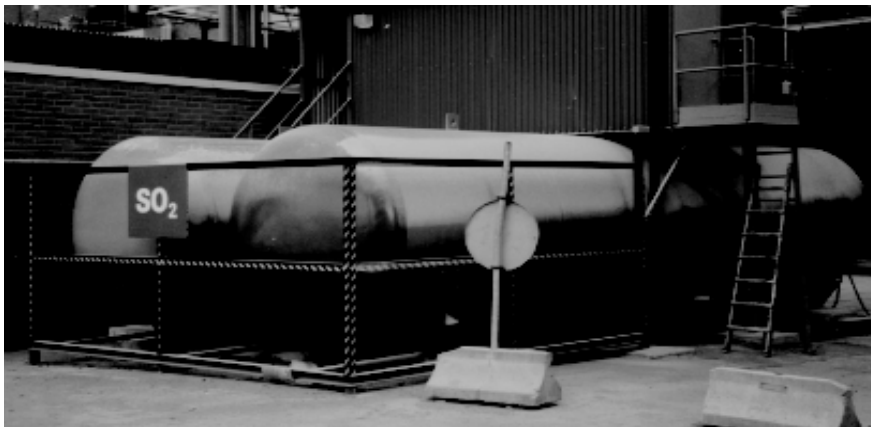
Svaveldioxiden används kontinuerligt i processen och tas från en av lagringstankarna i taget. Eftersom lagringstankens och järnvägstankens lagringskapacitet är 45 respektive 58 ton, måste lossning av en vagn ske i två steg. I första steget fylls den tomma lagringstanken. I nästa trycks återstoden 13 ton till den andra lagringstanken när mängden ryms däri. Den effektiva lossningstiden är ca 3 timmar, men pga lagringsbegränsningen tar hela proceduren 3 dagar. Varje vecka lossas i genomsnitt 2 järnvägsvagnar med svaveldioxid.



Figur 6.3 Lossningsstation, järnväg.

6.3 LAGRING

Lagring av svaveldioxid sker i två trycksatta tankar. Tankarna är cylindriska med diametern 2.25 m och längden 10.5 m. Varje lagringstank rymmer 50 m³ motsvarande 45 ton SO₂. Tankarna har tidigare använts för lagring av klor och har en godstjocklek på drygt 12 mm. Lagringstrycket ligger kring 7 bar och fyllnadsgraden är 90 %.



Figur 6.4 Lagringstankar med påkörningsskydd.

Lagringstankarna är placerade fritt utomhus (se bilaga 1). Planer finns på att inom en snar framtid förse tankarna med en invallning av betong, med kapacitet att rymma båda tankarnas innehåll.

För att förhindra kärleksprängning finns säkerhetsventiler och sprängbleck monterade i anslutning till tankarna. Från dessa säkerhetsanordningar leds svaveldioxiden vidare till en scrubber.

6.4 DISTRIBUTION

Svaveldioxid används till blekning vid blekeri 2, 3 och 4 samt vid kloratreduktion. Från lagringstankarna tas svaveldioxiden i vätskefas och distribueras, med arbetstrycket 7 bar, via ett rörsystem till de olika användningsområdena. Rörsystemet utgörs av en stamledning som grenar sig till fyra ledningar. Tre av dessa har längden 50 m och den fjärde 400 m.

Rörsystemet innehåller ett antal ventiler och flänsar och dessutom är 400-meters ledningen försedd med fyra stycken sektionerande nödstoppsventiler, vilka begränsar den mängd som strömmar ut vid ett rörbrott. Ledningarna är dragna både inomhus och utomhus. Totalt distribueras och förbrukas ca 16 ton SO₂ per dygn.

5 RISK OCH RISKANALYS

5.1 RISK

I en riskanalys bör man skilja mellan begreppen risk och riskkälla. Riskkällan kan ses som ett hot som kan leda till en olycka, medan risk kan definieras som en storhet. Risk är således en sammanvägning av frekvensen att en händelse inträffar och konsekvensen av händelsen enligt:

$$\text{risk} = \text{frekvensen för en händelse} \cdot \text{konsekvensen för händelsen}$$

Frekvensen för en händelse är ett statistiskt underlag över hur ofta händelsen inträffar under en viss tidsperiod. Vanlig enhet är per år.

Konsekvensen för händelsen är resultatet av en skadehändelse och anges i enheten antal skadade, antal döda eller skadekostnad för egendom eller dyl.

I rapporten görs en distinkt skillnad mellan frekvensen för en händelse och sannolikheten för en händelse. Här definieras sannolikhet som den andel med vilken en händelse inträffar utav totalt möjliga händelseutfall. Sannolikheten antar värden mellan 0-1 och är enhetslös.

5.2 RISKANALYS

För att uppskatta storleken på risken utförs en riskanalys. Riskanalysen innebär en identifiering och kartläggning av tänkbara riskkällor samt en mer eller mindre detaljerad analys av dessa riskkällor. Det finns olika riskanalysmetoder som ger olika nivåer av noggrannhet.

Denna riskanalys baseras på CPQRA -metodiken /9/, vilken innehåller följande moment:

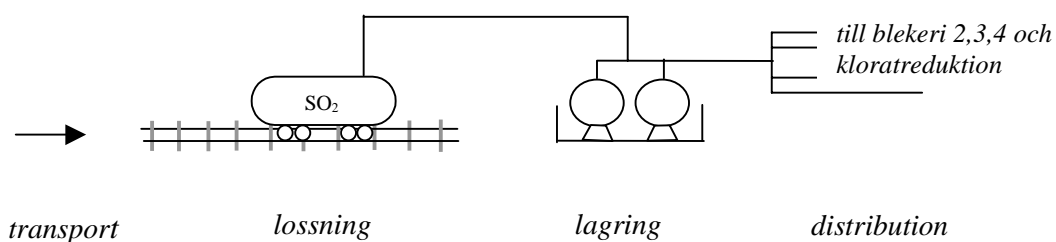
- 1) **Systembeskrivning**, innehållande information om industrin och dess process i form av utformning av utrustning, kritiska moment, arbetsrutiner och data om tryck, temperatur mm.
- 2) **Identifiering av olyckshändelser**, en kartläggning av tänkbara olyckshändelser med hjälp av olika instrument såsom checklistor, HazOp (hazard and operability studies), What if - analys eller ingenjörsmässiga bedömningar.
- 3) **Uppskattningar av frekvenser**, sker med hjälp av statistik över tidigare inträffade olyckor eller uppställd felträdsanalys.
- 4) **Konsekvensberäkningar**, innehållande modeller för beräkning av massflöde, förångning och spridning för olika händelseutfall. Resultatet från dessa används i sin tur för att bestämma riskavstånd, antal utsatta personer alternativt skador på byggnader.
- 5) **Riskuppskattning**, en sammanvägning av konsekvens och frekvens till något slag av riskmått t ex samhällsrisk, individuell risk eller riskindex.
- 6) **Slutsats**, där resultatet analyseras för att kunna utgöra underlag för eventuella riskreducerande åtgärder.

6 SYSTEMBESKRIVNING

Svaveldioxidhanteringen inom företaget kan delas upp i fyra olika delar enligt följande:

- transport
- lossning
- lagring
- distribution

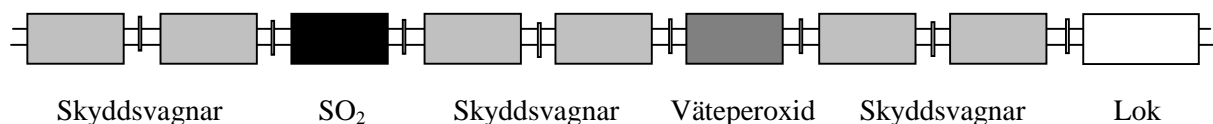
Dessa olika delar presenteras var för sig nedan.



Figur 6.1 Schematisk bild över svaveldioxidhanteringen.

6.1 TRANSPORT

All SO₂ som används inom företaget köps från KEMIRA KEMI AB i Helsingborg. Leverans sker via järnväg från Helsingborg till Skutskärs järnvägsstation. Företagets totala förbrukning av SO₂ motsvarar två stycken järnvägsvagnar à 58 ton per vecka. Järnvägstransporten vidare från Skutskärs järnvägsstation till Stora Cell, en sträcka på ca 2 km, ombesörjer företagets eget lokstall. På denna sträcka, som delvis utgörs av ett internt industrijärnvägsspår, finns det totalt fyra järnvägsövergångar. Av dessa är två försedda med ljud- och ljussignaler samt bommar medan de andra två är helt obebakade. Transport med SO₂ sker enligt uppgifter från lokstallet vid två tillfällen per vecka. Tågets sammansättning vid dessa tillfällen består normalt av en vagn med SO₂ och en vagn med väteperoxid samt ett antal skyddsvagnar. Skyddsvagnarna utgörs av tomma godsvagnar t ex timmervagnar eller godsfinckor. Nedan visas en schematisk bild över tågets sammansättning.



Figur 6.2 Tågsammansättning.

6.2 LOSSNING

För lossningsarbetet finns instruktioner utarbetade av leverantören, Kemira Kemi AB. Arbetet utförs av en person och går förenklat till på följande vis. Trycket i den tomma tanken sänks till 2-3 bar. Lossningsarbetet sker sedan med hjälp av tryckluft. Svaveldioxid i vätskefas trycks med 10 bar från järnvägsvagnen via en 2 tums slang ca 2 m lång och en fast rörledning till den stationära lagringstanken.

Svaveldioxiden används kontinuerligt i processen och tas från en av lagringstankarna i taget. Eftersom lagringstankens och järnvägstankens lagringskapacitet är 45 respektive 58 ton, måste lossning av en vagn ske i två steg. I första steget fylls den tomma lagringstanken. I nästa trycks återstoden 13 ton till den andra lagringstanken när mängden ryms däri. Den effektiva lossningstiden är ca 3 timmar, men pga lagringsbegränsningen tar hela proceduren 3 dagar. Varje vecka lossas i genomsnitt 2 järnvägsvagnar med svaveldioxid.



Figur 6.3 Lossningsstation, järnväg.

6.3 LAGRING

Lagring av svaveldioxid sker i två trycksatta tankar. Tankarna är cylindriska med diametern 2.25 m och längden 10.5 m. Varje lagringstank rymmer 50 m³ motsvarande 45 ton SO₂. Tankarna har tidigare använts för lagring av klor och har en godstjocklek på drygt 12 mm. Lagringstrycket ligger kring 7 bar och fyllnadsgraden är 90 %.



Figur 6.4 Lagringstankar med påkörningsskydd.

Lagringstankarna är placerade fritt utomhus (se bilaga 1). Planer finns på att inom en snar framtid förse tankarna med en invallning av betong, med kapacitet att rymma båda tankarnas innehåll.

För att förhindra kärleksprängning finns säkerhetsventiler och sprängbleck monterade i anslutning till tankarna. Från dessa säkerhetsanordningar leds svaveldioxiden vidare till en scrubber.

6.4 DISTRIBUTION

Svaveldioxid används till blekning vid blekeri 2, 3 och 4 samt vid kloratreduktion. Från lagringstankarna tas svaveldioxiden i vätskefas och distribueras, med arbetstrycket 7 bar, via ett rörsystem till de olika användningsområdena. Rörsystemet utgörs av en stamledning som grenar sig till fyra ledningar. Tre av dessa har längden 50 m och den fjärde 400 m.

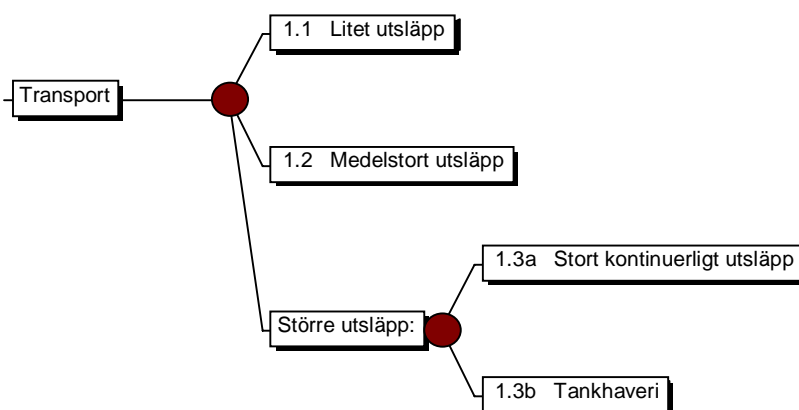
Rörsystemet innehåller ett antal ventiler och flänsar och dessutom är 400-meters ledningen försedd med fyra stycken sektionerande nödstoppsventiler, vilka begränsar den mängd som strömmar ut vid ett rörbrott. Ledningarna är dragna både inomhus och utomhus. Totalt distribueras och förbrukas ca 16 ton SO₂ per dygn.

7 VAL OCH BESKRIVNING AV SKADEHÄNDELSER

Vid en industrianläggning kan många olika skadehändelser inträffa. I riskanalysen har ett antal händelser valts ut, som representerar flertalet av dessa. Nedan följer en presentation av de valda skadehändelserna, uppdelade på momenten transport, lossning, lagring och distribution. Avslutningsvis redovisas skadehändelserna i ett händelsetråd.

7.1 TRANSPORT

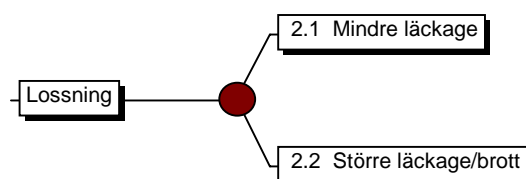
Vid val av tänkbara skadehändelser i samband med transport, har endast den del av transporten som företaget själv ombesörjer beaktats. Efter samtal med personal på företagets lokstall samt litteraturstudier, har två typer av skadehändelser valts ut för vidare analys. Dessa två är urspårning samt kollision med tungt fordon vid en plankorsning. Vid urspårningen välter SO₂-vagnen och glider på marken, detta medför att ett hål eller en reva på tanken uppstår. Vad gäller kollisionen kan denna tänkas ske med en hjullastare eller liknande vid en av de två obevakade plankorsningarna. Även här antas det att ett hål eller en reva på tanken uppstår. Beroende på hur urspårningen eller kollisionen inträffar, erhålls olika varianter av massflöde och förångningsprocesser. Tilläggs bör att enligt /19/ har inga utsläpp skett vid olyckor där tjockväggiga järnvägsvagnar, avsedda för tryckkondenserade gaser, varit inblandade.



Figur 7.1 Händelsetråd för transport.

7.2 LOSSNING

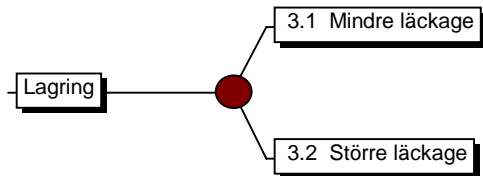
Tänkbara skadehändelser vid lossning är mindre läckage samt större läckage eller brott på ga inre eller yttre påverkan. Läckagen kan uppstå från fläns, ventil, rör, slang eller slangkoppling.



Figur 7.2 Händelsetråd för lossning.

7.3 LAGRING

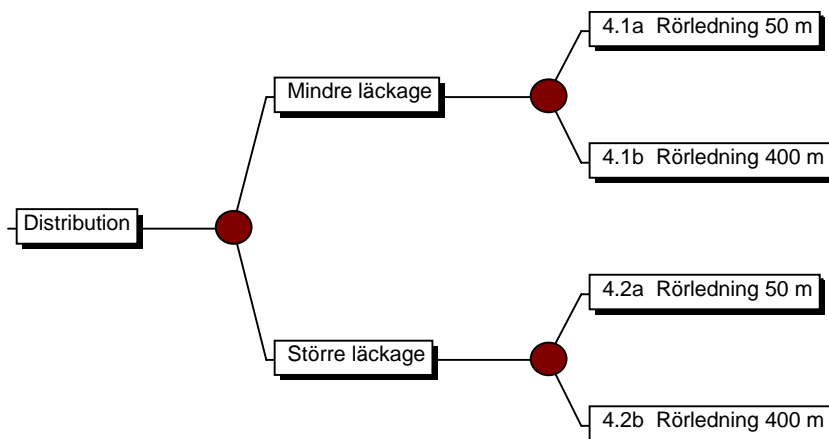
Valda skadehändelser relaterade till lagring är mindre och större läckage från fläns eller ventil i nära anslutning till tank. Läckagen kan uppkomma främst genom korrosion.



Figur 7.3 Händelsetråd för lagring.

7.4 DISTRIBUTION

Skadehändelser vid distribution väljs till mindre och större läckage/rörbrott från fläns, ventil eller rör. Vidare sker en uppdelning av rörsystemet i två olika längder, 50 och 400 meter (se kap 6 Systembeskrivning).



Figur 7.4 Händelsetråd för distribution.

8 FREKVENSUPPSKATTNINGAR

För att på bästa sätt uppskatta frekvenser, bör dessa baseras på noggranna systematiska analyser av faktorer som kan orsaka haveri samt rådande omständigheter i processen. Då det är svårt att genomföra sådana omfattande analyser, finns det sammanställda tabellerade värden över haverifrekvenser för olika komponenter att tillgå i en del litteraturer. Användning av dessa är dock förknippad med osäkerheter eftersom värdena härstammar från olika typer av industrier med olika processer och därmed utgör ett slags medelvärden.

Vid transport har frekvenserna skattats enligt anvisningar från Räddningsverket /6/. Frekvenserna avseende lossning, lagring och distribution har baserats på ovan nämnda haverifrekvenser för komponenter /5/ /16/.

De i systemet ingående komponenterna med deras funktioner och haveriorsaker presenteras allmänt nedan. Detta för att öka förståelsen och lättare kunna genomföra trovärdiga uppskattningar av frekvenserna. Resultaten av frekvensuppskattningarna presenteras löpande i den allmänna beskrivningen samt sist i kapitlet i form av ett händelsesträd. För beräkningar av frekvenserna för respektive skadehändelse se bilaga 2.

Frekvenserna skall inte tolkas som några absoluta siffervärden utan utgör endast en grov uppskattning för valda händelser.

8.1 TRANSPORT

Frekvenserna och sannolikheter för de valda skadehändelserna har skattats med hjälp av ”Räddningsverkets handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg” /6/. De framräknade resultaten måste användas med stor försiktighet eftersom det här är frågan om ett kort lokalt järnvägsavsnitt på ca 2 km. Tilläggas bör också att inga utsläpp har skett vid olyckor där tjockväggiga järnvägsvagnar, avsedda för tryckkondenserade gaser, varit inblandade /19/.

För att beräkna förväntad frekvens för olyckor med farligtgodsvagnar krävs vissa indata t ex avsnittets längd, antal tåg per år med farligt gods, urspårningstal samt utformning av järnvägs korsning (se bilaga 2).



Figur 8.1 Järnvägs korsning.

8.2 RÖRLEDNINGAR OCH RÖRLEDNINGSKOMPONENTER

En processanläggning innehåller ofta ett utbrett rörsystem med många meter rörledning. Rörledningskomponenter som flänsar och ventiler mm orsakar ofta utsläpp av giftiga och/eller brandfarliga medier och viss del i riskanalysen bör ägnas åt detta.

Grundläggande krav för design och skötsel av rörsystem finns i tryckkärlkommisionens Rörledningsnormer (1978) och Tryckkärlsnormer (1997) samt i Arbetskyddsstyrelsens kungörelse om Tryckkärl AFS 1994:39.

Faktorer som påverkar konstruktionen och bör beaktas är korrosion, övertryck, termisk expansion, frysrisk, vibrationer och yttre påverkan som påkörningsrisk.

8.2.1 Rör (distribution)

Rörledningar i sig går sällan sönder. Haverifrekvensen varierar med typ av ledning och dimension samt med underhåll och kontroll. Haverierna beror på korrosion 40%, yttre påverkan 30%, defekt rörledning eller svets 20% och övrigt 10% /11/.

Konstruktion av röstöd och upphängningar för rörledningar är viktig. Rören måste kunna röra sig fritt och ta upp de krafter som uppstår vid normal drift och speciella driftsätt som exempelvis nedkörning och start av processen i samband med reparations- och översiktsstopp.

Bristfällig design, för korta eller kläna röstöd och bortglömda fasta rörupphängningar har förorsakat ett flertal olyckor. En annan vanlig orsak till rörledningsläckage är haveri av kläna avstick. Haverierna beror på vibrationer i systemet eller mekanisk åverkan /11/.

Beroende på litteratur ges varierande data för haveri. Frekvenserna nedan har hämtats från Hazardous Locations /5/.

Rörledning diameter 25 mm:

Mindre läckage (0.01A)	$1.0 \cdot 10^{-4}$	[/år och m]
Större läckage (0.1A)	$1.0 \cdot 10^{-5}$	[/år och m]
Brott (A)	$1.0 \cdot 10^{-6}$	[/år och m]

För att matcha valda skadehändelser och fördelningar av ingångsparametern hålradi används följande frekvenser, baserade på frekvenserna från Hazardous Locations /5/.

Mindre läckage (0 - 0.1A)	$1.1 \cdot 10^{-4}$	[/år och m]
Större läckage/brott (0.1A - A)	$1.0 \cdot 10^{-6}$	[/år och m]

8.2.2 Slangar (lossning)

Begränsad användning av slangar inom industrin eftersträvas. I de fall slangar används är det viktigt att val av slang och kopplingar görs med hänsyn till mediets egenskaper, tryck och temperatur mm.

Felfrekvenser för slang och koppling har hämtats från Safety cases /16/.

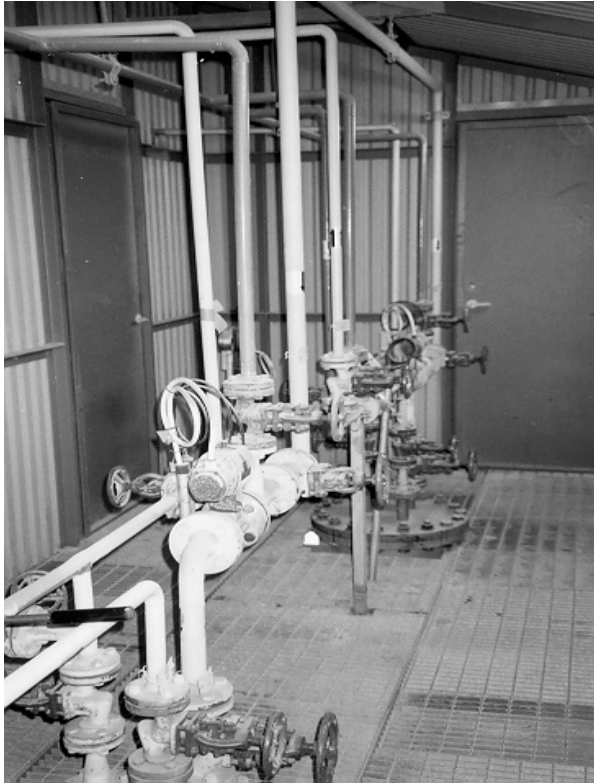
Mindre läckage	$1.5 \cdot 10^{-4}$	[/år och 50 operationer]
----------------	---------------------	--------------------------

Större läckage/brott

$1.5 \cdot 10^{-6}$ [/år och 50 operationer]

8.2.3 Ventiler och flänsar (lossning, lagring, distribution)

Ventiler i rörsystemet har två huvuduppgifter, att stänga av och reglera flöden. Val av ventil beror på flera faktorer bl a korrosionsförhållanden, inre och yttre miljö, möjlighet till fjärromanövrering samt temperatur- och tryckförhållanden.



Figur 8.2 Ventiler och flänsar vid lossningsstationen.

Ventilerna ska tas med i riskanalyser pga att de förekommer i stort antal i en anläggning samt att de genom sin konstruktion med flänsar och packboxar medför läckagerisk.

Ventiler brukar sällan haverera totalt. Som nämnts ovan finns det risk för läckage. Många olyckor har dock uppkommit pga att ventilens position, stängd kontra öppen motsvarande $\frac{1}{4}$ varv, uppfattats felaktigt av drift- och underhållspersonal /11/.

Sammanfattningsvis kan följande fel uppstå:

- packningar i ventiler och flänsar kan vara trasiga
- vid stängd ventil och termisk expansion av innesluten volym finns risk för deformation av ventilen och dess komponenter
- positionsindikatorn kan vara felmonterad
- manöverhandtaget kan ha flyttats till fel position genom slag eller vibrationer

Felfrekvenser för ventiler och flänsar är hämtade från Hazardous Locations /5/.

Ventiler:

Mindre läckage (0.01A)	$1.0 \cdot 10^{-3}$ [/år]
Större läckage (0.1A)	$1.0 \cdot 10^{-4}$ [/år]
Brott (A)	$1.0 \cdot 10^{-5}$ [/år]

Flänsar:

Mindre läckage (0.1A)	$1.0 \cdot 10^{-3}$ [/år]
Större läckage (A)	$1.0 \cdot 10^{-4}$ [/år]

För att matcha valda skadehändelser och fördelningar av ingångsparametern hålradi används följande frekvenser, baserade på frekvenserna från Hazardous Locations /5/.

Ventiler:

Mindre läckage (0 - 0.1A)	$1.1 \cdot 10^{-3}$ [/år]
Större läckage/brott (0.1A - A)	$1.0 \cdot 10^{-5}$ [/år]

Flänsar:

Mindre läckage (0 - 0.1A)	$1.0 \cdot 10^{-3}$ [/år]
Större läckage (0.1 - A)	$1.0 \cdot 10^{-4}$ [/år]

8.2.4 Säkerhetsventiler

Säkerhetsventiler används för att skydda utrustningar och kärl mot övertryck. Det finns två typer av säkerhetsventiler konventionell och pilotopererad typ. Dessa ventiler ger inte någon absolut säkerhet. Felfrekvensen att ventilerna inte öppnar vid angivet övertryck är 1 gång per år /11/.

För att haveri eller kärlsprängning av lagringstankarna ska kunna uppstå krävs att :

- Tanken stumfylls vid lossningsarbetet *och*
- att temperaturen stiger, vilket medför expansion och tryckökning *samtidigt* som
- säkerhetsventiler inte utlöser.

Hur ofta händer då detta? Frekvensen är mycket svår att uppskatta, men bedöms vara väldigt liten eller försumbar. Då händelsen ändå kan inträffa redovisas för fullständighetens skull konsekvensberäkningar för haveri av lagringstank i bilaga 3, men antas alltså inte ge något bidrag till samhällsrisken.

8.2.5 Sprängbleck

Ett alternativ eller komplement till säkerhetsventiler är sprängbleck. Sprängblecket används då säkerhetsventilen inte hinner reagera på befarat övertryckningsförlopp samt då påtaglig risk finns för blockering av säkerhetsventilen. Nackdelen med sprängbleck är att processen ofta behöver stängas av när ett sprängbleck har utlöst vid övertryck eller till följd av utmattning vid lägre tryck /11/.

8.2.6 Tryckkärl

Tryckkärlshaveri är mycket ovanligt. Sprickor och andra skador har rapporterats vid trycktest eller rutinundersökningar, men större haverier som lett till kraftiga läckage är svåra att finna i litteraturen.

Design av tryckkärl regleras i Tryckkärlsnormer /18/. Olika faktorer som påverkar designen är tryckhållfasthet, korrosionspåverkan vid inträngning av vatten och externa laster som plattformar, rör, isolering, snö och is, vindkrafter och vibrationer. Normal drift men även onormal drift och nödförhållanden måste beaktas.

8.3 UTSLÄPPSFREKVENSER

	<i>Moment i SO₂-hantering</i>	<i>Skadehändelse</i>	<i>Frekvens SO₂-utsläpp (år⁻¹)</i>	
Utsläpp av svaveldioxid	Transport	1.1 Litet utsläpp	5.7·10 ⁻⁷	
		1.2 Medelstort utsläpp	1.9·10 ⁻⁷	
	Större utsläpp	1.3a Stort kont. utsläpp	1.45·10 ⁻⁷	
		1.3b Tankhaveri	6.05·10 ⁻⁹	
	Lossning	2.1 Mindre läckage	1.125·10 ⁻³	
		2.2 Större läckage	5.05·10 ⁻⁵	
	Lagring	3.1 Mindre läckage	2.2·10 ⁻²	
		3.2 Större läckage	1.9·10 ⁻³	
	Distribution	Mindre läckage	4.1a Rörledning 50 m	2.5·10 ⁻²
			4.1b Rörledning 400 m	1.9·10 ⁻²
		Större läckage	4.2a Rörledning 50 m	1.35·10 ⁻³
4.2b Rörledning 400 m			3.5·10 ⁻⁴	

Figur 8.3 Sammanställning av utsläppsfrekvenser för respektive skadehändelse.

9 KONSEKVENSBERÄKNINGAR

Konsekvensberäkningarna inriktas på personsäkerhet och ska leda fram till riskavstånd och antal utsatta personer vid tänkbara svaveldioxidutsläpp. Beroende på hur långt från utsläppskällan man befinner sig utsätts man för varierande koncentration av svaveldioxid. Riskavståndet beräknas som avståndet från utsläppskällan till den punkt, där koncentrationen av svaveldioxid i molnet eller plymen avtagit till ett specificerat, kritiskt värde. Med hjälp av riskavstånd, befolkningstäthet, molnets utbredningsvinkel samt vindens fördelning i olika väderstreck kan antal utsatta personer inom riskzonen beräknas.

9.1 VAL AV DIMENSIONERANDE KONCENTRATION

Ovan nämnda kritiska koncentration av svaveldioxid är satt till 100 ppm. Vid 100 ppm SO₂ föreligger risk för allvarlig skada på människan. Enligt Räddningstjänstförordningen (1986:1107) 68§ skall ägare eller innehavare av 43§-anläggning Räddningstjänstlagen (1986:1102) analysera riskerna för sådana olyckshändelser vid anläggningen som kan medföra allvarliga skador på människor eller i miljön.

Svaveldioxid är giftig men inte brännbar. Den har ångtrycket 340 kPa och mättnadskoncentrationen 100 % /7/. Svaveldioxid tillhör de retande gaserna. Den är vattenlöslig och verkar kraftigt irriterande på ögonens och luftvägarnas slemhinnor. Risk för utveckling av toxiskt lungödem föreligger efter inandning av höga halter och/eller långvarig exposition.

Koncentration (ppm)	Verkan
0.8-1.5	Luktgräns
2	Hygieniskt gränsvärde
5.5-11	Irriterande i ögon och näsa
50-95	Uthärdligt endast under kort tid
115-150	Outhärdligt
150-190	Farligt efter ca 45 min
380-490	Livsfarligt även vid kortvarig exposition

Tabell 9.1 Medicinska verkningar av svaveldioxid /17/.

Exakt hur människan påverkas vid den givna koncentrationen 100 ppm är svårt att klarlägga, då det beror på individuella faktorer t ex försvarsmekanismer samt vilken mängd gas man inandas i olika situationer. Lungventilationen varierar med arbetstyngden enligt tabellen nedan /1/.

Arbete	Lungventilation (l/min)
Sittande (vila)	< 10
Mycket lätt (kontorsarbete)	10 – 15
Lätt (promenad)	15 – 25
Medeltungt (byggnadsarbete)	25 – 40
Tungt (långsam löpning)	40 – 50
Mycket tungt (rökdykning)	> 50

Tabell 9.2 Hur arbetstyngden påverkar lungventilationen.

Konsekvensberäkningarna grundar sig på en specificerad kritisk koncentration. Alla personerna inom riskzonen, dvs inom och vid längre avstånd även utanför fabriken, antas utsättas för denna koncentration eller högre. Ingen hänsyn tas till hur länge de utsatta människorna exponeras.

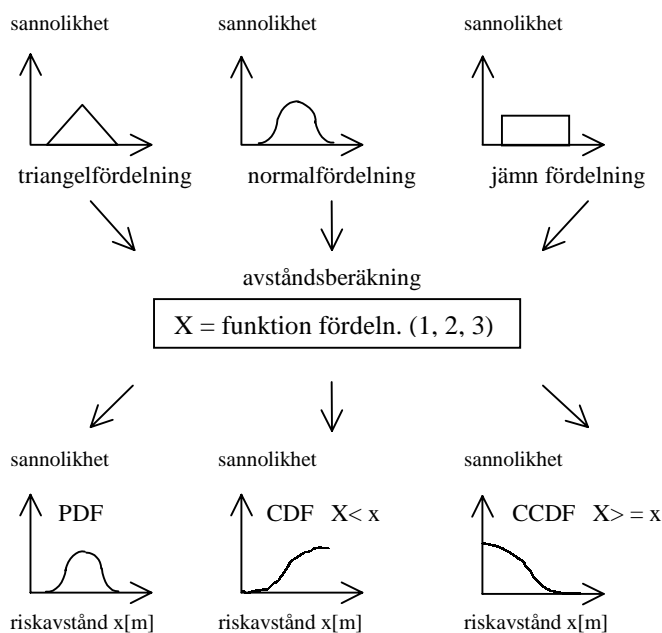
9.2 BERÄKNING AV RISKAVSTÅND

För att räkna fram riskavstånd för tänkbara utsläpp krävs uttryck för massflöde, förångning och spridning. Dessa handräkningsuttryck har hämtats från FOA /8/, Introduktion till konsekvensberäkningar /2/ samt TNO /13/ och redovisas i bilaga 4.

Riskavståndet beror på många olika parametrar som hålradi, vindhastighet, temperatur m fl. Beroende på hur värdet för dessa ingångsparametrar varierar erhålls olika riskavstånd. För att undersöka hur variationer i indata påverkar resultatet, uppskattas fördelningar för de ingående parametrarna. De för riskavståndet kombinerade handräkningsuttrycken med fördelade ingångsvariabler simuleras i datorprogrammet @RISK /15/.

@RISK är ett mycket specialiserat program som kan användas för att simulera utsläpp. Programmet används inte självständigt utan är en tilläggsmodul till ett kalkylprogram t ex Excel. Beräkningsgången går till som följer:

- 1) Konstanter och variabler för valda uttryck definieras. Variablerna fördelas inom antagna intervall med t ex triangel-, normal- eller jämn fördelning.
- 2) Det kombinerade uttrycket för riskavståndet sätts upp i Excel och definieras som resultatcell i @RISK.
- 3) Konfigurering av @RISK, dvs vilken simuleringsmetod som ska användas (Monte Carlo) och lämpligt antal itereringar (100 000) bestäms.
- 4) Simuleringen startas. Resultatet presenteras i tabellform som förväntat (medel)värde, minimum, maximum, percentilvärden, standardavvikelse mm. Resultatet presenteras även grafiskt i form av PDF-, CDF- och CCDF-diagram. Diagrammen bör konfigureras i @RISK, men sedan importereras till Excel för vidare bearbetning.



Figur 9.1 Schematisk bild över simulering i @RISK.

PDF (probability distribution function) = sannolikhet att konsekvensen antar ett visst värde
 CDF (cumulative density function) = sannolikhet att konsekvensen är mindre än ett visst

värde

CCDF (complementary cumulative density function) = sannolikhet att konsekvensen är större än ett visst värde, $1 - \text{CDF}$

9.3 BERÄKNING AV ANTAL UTSATTA PERSONER

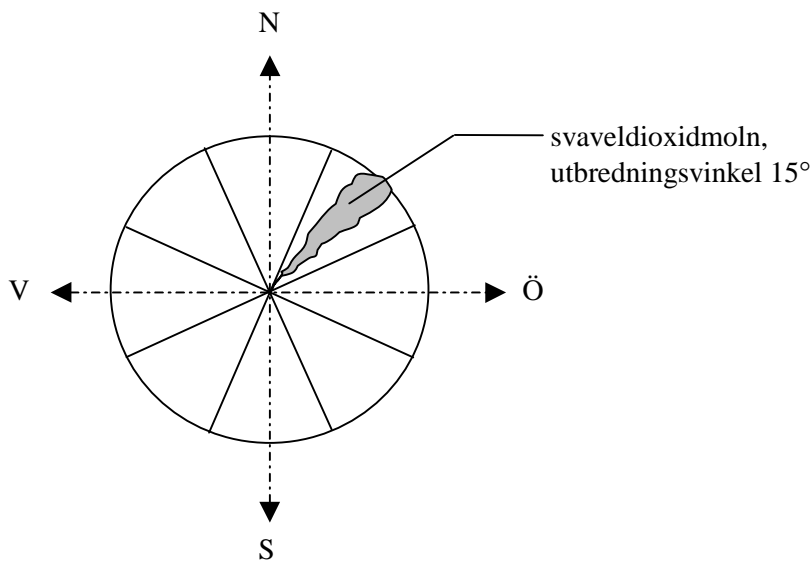
Det framräknade riskavståndet ger en riskzon. För att beräkna hur många personer som utsätts för kritisk koncentration, dvs antas befinna sig inom riskzonen, vid ett utsläpp, måste hänsyn tas till befolkningstäthet, molnets utbredning samt hur ofta det blåser i de olika väderstrecken (se bilaga 5 och 7).

9.3.1 Befolkningstäthet

Befolkningstätheten i Skutskär har uppskattats med hjälp av data från kommunkontoret, Älvkarleby kommun /21/. Följande områdesindelning har gjorts:

- bostadsområde (B) = 1200 pers/km²
- glesbygd/skog inkl enstaka friluftsanläggningar (G) = 100 pers/km²
- vattenområde (V) = 0 pers/km²

Riskzonen delas in i åtta bitar efter väderstrecken. För varje bit uppskattas hur stor andel av arean som utgörs av de olika områdena för att bestämma en medelbefolkningstäthet för biten.



Figur 9.2 Riskzon med indelning efter vädersträck.

I tabell 9.3 redovisas medelbefolkningstäthet, vindriktningsfördelning samt befolkningstäthet viktad med vinden för Skutskär. Summeras viktad befolkningstäthet för respektive vädersträck, fås medelbefolkningstäthet viktad med vinden för hela riskzonen.

Vädersträck	Områdesindelning % av area			Befolkningstäthet, medel ρ [pers/km ²]	Vindriktningsfördelning %	Befolkningstäthet viktad med vinden ρ_v [pers/km ²]
	B	G	V			
N	-	-	100	0	13	0
NO	-	-	100	0	20	0
O	8	42	50	138	12	17
SO	50	50	-	650	11	72
S	7	93	-	177	12.5	22

SV	5	70	25	130	12.5	16
V	30	70	-	430	8	34
NV	5	15	80	75	11	8
						Σ 169 pers/km ²

Tabell 9.3 Befolkningstäthet och vindfördelning.

9.3.2 Antal utsatta personer

Vid beräkningen erhålls antal utsatta personer vid ett utsläpp genom multiplikation av viktad befolkningstäthet (tabell 9.3) och area av riskzonen, där hänsyn tas till molnets utbredning (antagen utbredningsvinkel 15°) enligt följande:

$$N = \rho_v \cdot \pi \cdot r^2 \cdot 15^\circ/360^\circ$$

N = antal personer utsatta för kritisk koncentration, 100 ppm, [st]

ρ_v = medelbefolkningstäthet för riskzonen viktad med vindriktningsfördelning [169 pers/km²]

r = riskavstånd [km]

Riskavståndet beror på ingångsparametrarnas fördelning och resultatet ges som en slags sannolikhetsfördelning. Då denna fördelning (PDF) används istället för ett bestämt värde på riskavståndet vid beräkning av antal utsatta personer, erhålls på samma sätt en sannolikhetsfördelning med minimum, maximum och förväntat antal utsatta personer.

10 SAMHÄLLSRISK

Samhällsrisk är ett mått på alla risker som uppträder i samhället, t ex från trafik, översvämningar och industrier. I motsats till individuell risk, som endast avser risken för att en individ skall omkomma eller skadas på ett visst avstånd från riskkällan, tar samhällsrisk hänsyn till antalet utsatta personer som befinner sig inom riskområdet.

10.1 FN-KURVA

Vanligen presenteras samhällsrisk i en FN-kurva, där F = kumulativ frekvens och N = antal personer som omkommer alternativt skadas. FN-kurvor för respektive skadehändelser, trafikolycka, kemikalieutsläpp osv adderas till en FN-kurva som visar den totala samhällsrisk.

I riskanalysen redovisas FN-kurvor för olika skadehändelser vid transport, lossning, lagring och distribution (kap 11 Resultat). I diagram 10.1 redovisas svaveldioxidens sammanslagna bidrag till samhällsrisk. Den totala samhällsrisk är 0.2 pers/år, vilket motsvarar att en person förväntas utsättas för kritisk koncentration under ett tidsintervall på fem år.

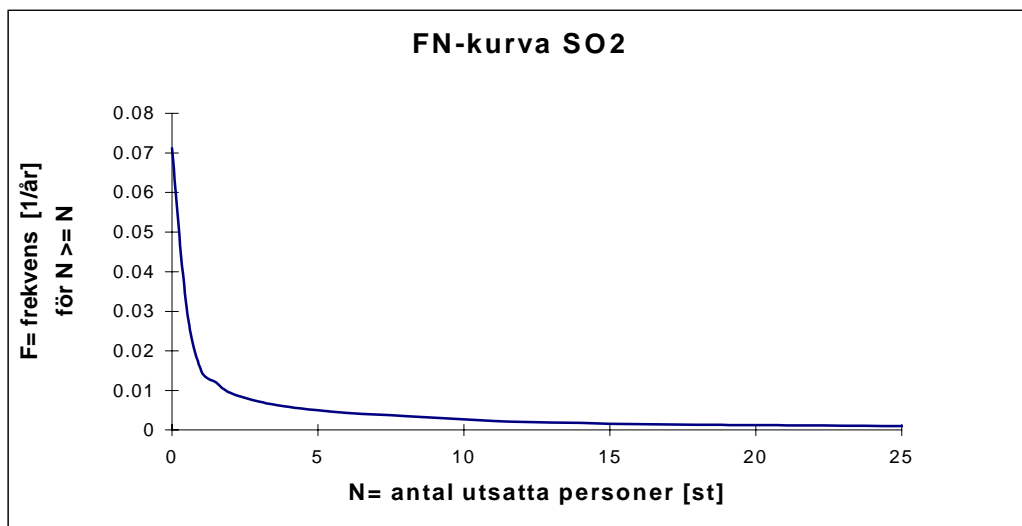


Diagram 10.1 Samhällsrisk, svaveldioxid.

10.2 ACCEPTANSKRITERIER

I Sverige finns inga acceptanskriterier reglerade i lag vad gäller olycks- och samhällsrisker. Detta innebär i förlängningen att det är upp till politikerna att bedöma en verksamhets (o)säkerhet och varande eller icke varande, dvs avgöra hur mycket samhället tål. Till hjälp finns bl a Boverkets "Bättre plats för arbete"/4/, där riktlinjer avseende riskavstånd vid olika verksamheter redovisas. Riktvärdet för pappersbruk är satt till 500 meter.

I Räddningsverkets rapport Värdering av risk /20/ görs en sammanställning av acceptanskriterier från olika länder och projekt. I Holland sätts maximalt tillåten samhällsrisk till tio döda eller fler per 100 000 år för kemiska industrianläggningar och rangerbangårdar. Diagram 10.1 visar att tio personer eller fler utsätts för kritisk koncentration med frekvensen $2.7 \cdot 10^{-3}$ per år vilket motsvarar att tio personer eller fler utsätts på 370 år.

Acceptanskriterierna för personrisk i Räddningsverkets rapport anges i enheten antal döda/år, medan föreliggande analys anger enheten i antal utsatta pers/år. Detta innebär att det är svårt att göra några direkta jämförelser.

Risikanalysen och samhällsriskerna utgör ingen värdering över hur säker SO₂-hanteringen är. Däremot kan jämförelser med andra liknande objekt göras och framförallt ges underlag för var i hanteringen riskreducerande åtgärder är lämpliga att genomföra för att höja säkerheten.

11 RESULTAT

I detta kapitel redovisas resultat från konsekvensberäkningar, riskavstånd och samhällsrisk. Resultatet presenteras som förväntat värde, dvs ett beräknat medelvärde av både små och stora utsläpp som inträffar under ett längre tidsintervall. Detta värde motsvaras av grafens tyngdpunkt i diagrammen och ska skiljas från det mest sannolika värdet vid ett enskilt utsläpp, vilket illustreras av "toppen" i diagrammen.

Samhällsrisk baseras på beräkningar av antal utsatta personer sammanvägt med frekvensen för skadehändelsen. En sammanställning över riskavstånd, antal utsatta personer, utsläppsfrekvens och samhällsrisk redovisas sist i kapitlet. I bilaga 9 redovisas även standardavvikelse och 95%- percentil för riskavstånd och samhällsrisk.

11.1 RISKAVSTÅND

Riskavstånden presenteras i diagram i form av PDF, probability density function, vilka anger sannolikheten för olika riskavstånd. Simuleringarna i @RISK ger även information om hur de olika ingångsparametrarna påverkar riskavståndet. Variation av hålradi, väderstabilitet och vindhastighet påverkar riskavståndet mest, medan temperaturer och kontraktionsfaktor har mindre betydelse. (se bilaga 6)

11.1.1 Transport

Förväntat riskavstånd för litet och medelstort utsläpp vid transport är 300 respektive 1750m. De olika avstånden beror på varierande hålradi.

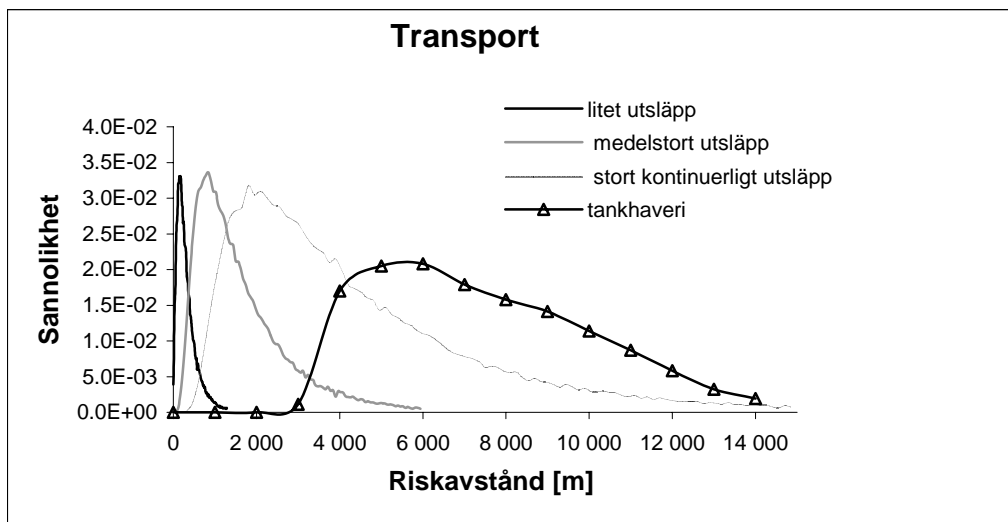


Diagram 11.1 Riskavstånd, transport.

Förväntat riskavstånd för stort kontinuerligt utsläpp och momentant utsläpp (tankhaveri) är 4750 respektive 7500m. Vid det kontinuerliga utsläppet tillförs poolen vätska, som sedan förångas och avgår i en plym.

Vad gäller tankhaveriet avgår initialt ett gasmoln sk puffspridning och resten bildar en pool. Från poolen sker sedan kontinuerlig förångning, men det är puffspridningen som orsakar det långa riskavståndet.

11.1.2 Lossning

Förväntat riskavstånd för mindre och större läckage vid lossning är 340 respektive 1530m. Ökad hålradi medför längre riskavstånd.

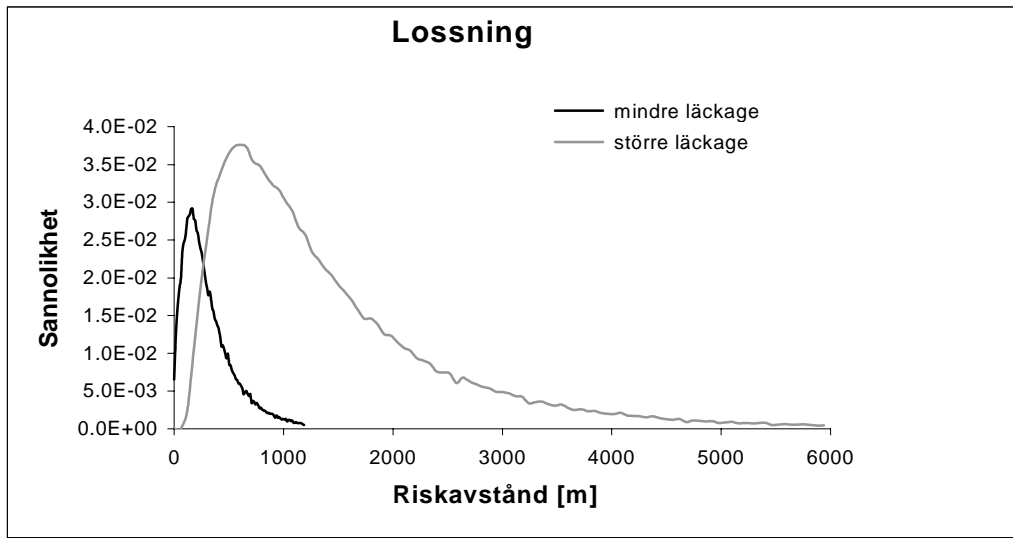


Diagram 11.2 Riskavstånd, lossning.

11.1.3 Lagring

Förväntat riskavstånd för mindre och större läckage vid lagring är 240 respektive 1050m. Liksom i de föregående fallen beror de olika avstånden på varierande hålradi.

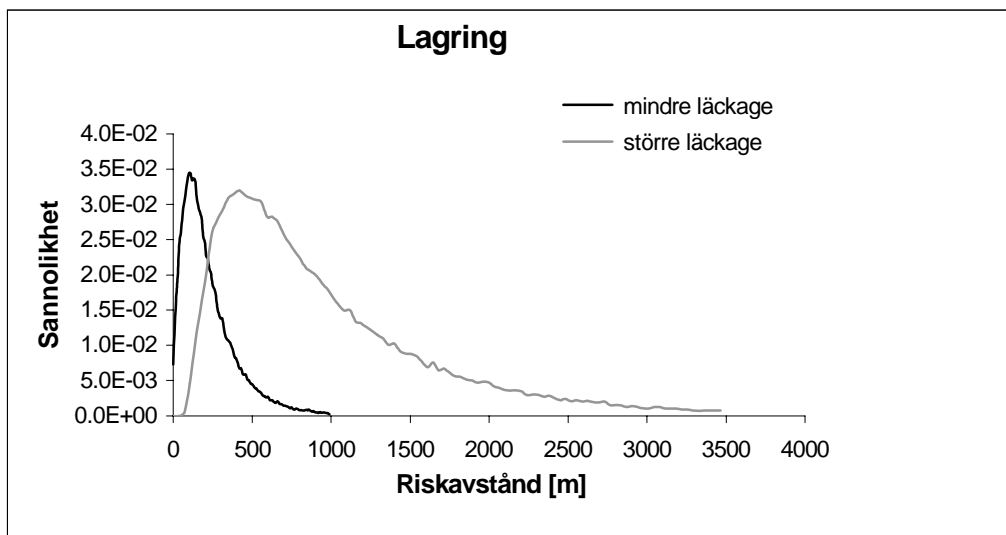


Diagram 11.3 Riskavstånd, lagring.

Jämförs riskavstånden för lossning och lagring ger lossningen längre avstånd pga högre tryck och större rördiameter (hålradi).

11.1.4 Distribution

Förväntat riskavstånd för mindre och större läckage på 50-meters ledningen vid distribution är 80 respektive 390m. De olika avstånden beror på varierande hålradii.

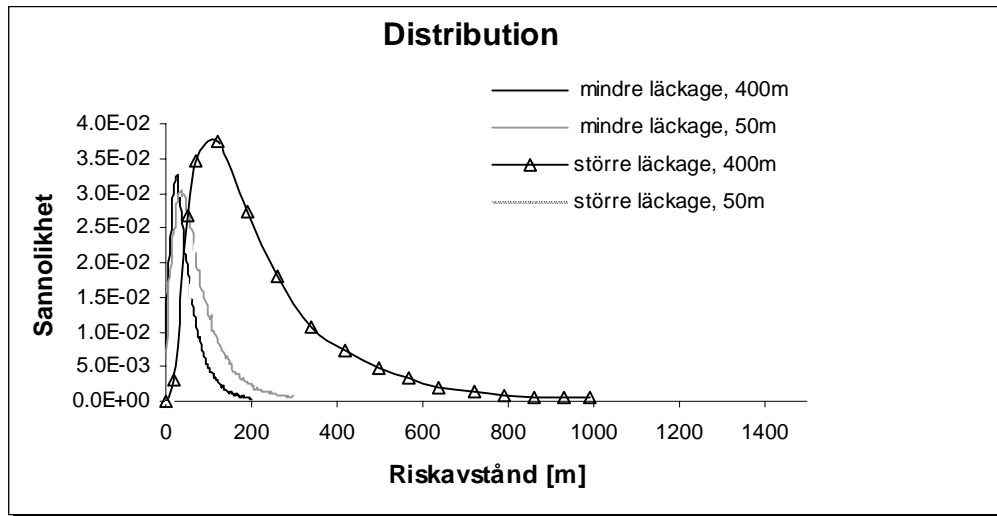


Diagram 11.4 Riskavstånd, distribution.

Förväntat riskavstånd för mindre och större läckage på 400-meters ledningen vid distribution är 55 resp 270m. Liksom ovan ökar riskavståndet med hålradien.

Läckage på 400-meters ledningen medför kortare riskavstånd än på 50-meters ledningen beroende på ökad friktion och tryckförlust.

11.2 SAMHÄLLSRISK

Samhällsrisk presenteras i diagram i form av CCDF, complementativa cumulative density function. Diagrammen visar frekvensen för minsta antal personer utsatta för kritisk koncentration (100 ppm).

11.2.1 Transport

Förväntad samhällsrisk vid transport är enligt följande:

Litet utsläpp	$2.6 \cdot 10^{-6}$ pers/år
Medelstort utsläpp	$2.3 \cdot 10^{-5}$ pers/år
Stort kontinuerligt utsläpp	$1.3 \cdot 10^{-4}$ pers/år
Tankhaveri	$8.5 \cdot 10^{-6}$ pers/år

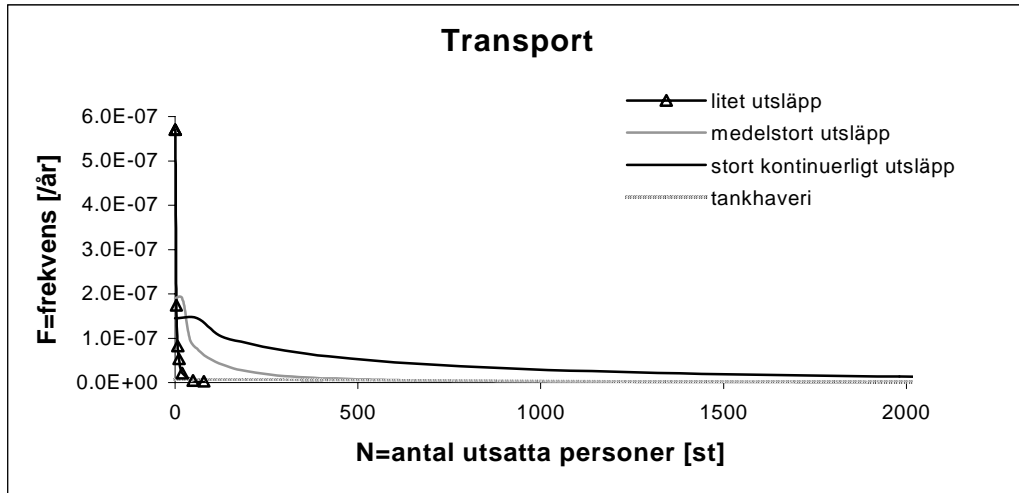


Diagram 11.5 Samhällsrisk, transport.

I diagrammet framgår att litet utsläpp är mest frekvent, men vid stort kontinuerligt utsläpp utsätts betydligt fler personer och således ger denna skadehändelse störst bidrag till samhällsrisk avseende transport. Nämnas bör att vid tankhaveri på järnväg utsätts många personer, men frekvensen för detta scenario ligger nära noll.

11.2.2 Lossning

Förväntad samhällsrisk för mindre och större läckage vid lossning är $6.5 \cdot 10^{-3}$ resp $4.8 \cdot 10^{-3}$ pers/år. Mindre läckage inträffar oftare än större och ger ett större bidrag till samhällsrisk.

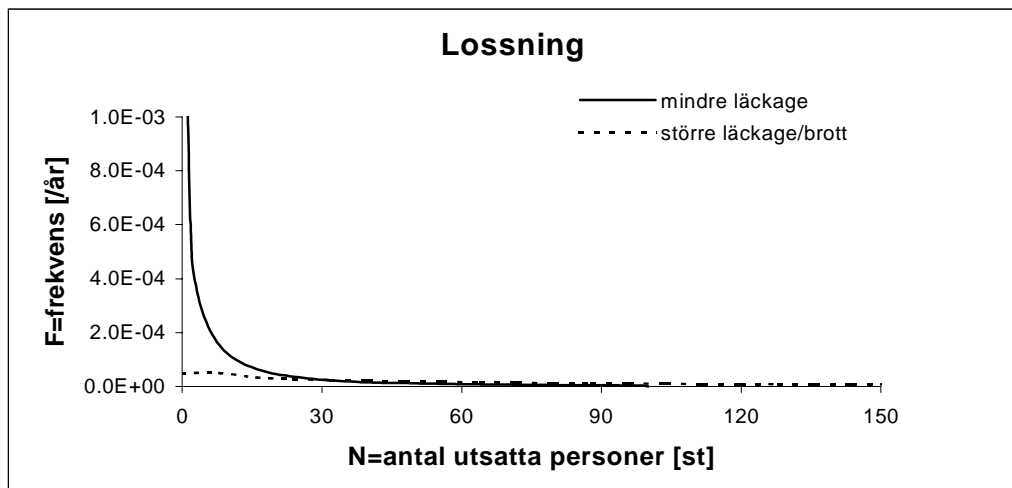


Diagram 11.6 Samhällsrisk, lossning.

11.2.3 Lagring

Vid lagring är förväntad samhällsrisk för mindre och större läckage $6.8 \cdot 10^{-2}$ respektive $8.7 \cdot 10^{-2}$ pers/år. Större läckage inträffar mindre frekvent, men medför större konsekvenser än mindre läckage.

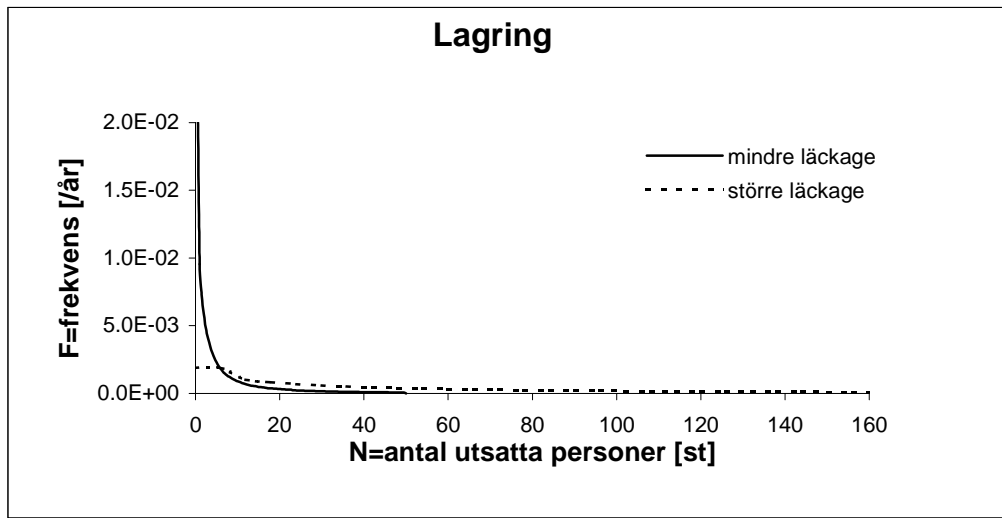


Diagram 11.7 Samhällsrisk, lagring.

11.2.4 Distribution

För distribution är förväntad samhällsrisk enligt följande:

Mindre läckage på ledning, 50m	$1.1 \cdot 10^{-2}$ pers/år
Mindre läckage på ledning, 400m	$5.1 \cdot 10^{-3}$ pers/år
Större läckage/rörbrott på ledning, 50m	$8.8 \cdot 10^{-3}$ pers/år
Större läckage/rörbrott på ledning, 400m	$8.8 \cdot 10^{-4}$ pers/år

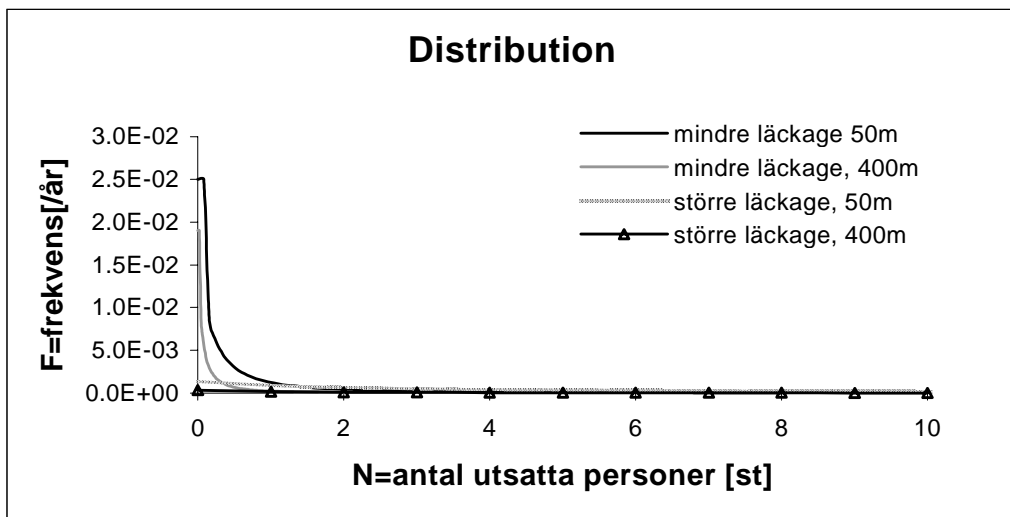


Diagram 11.8 Samhällsrisk, distribution.

I diagrammet framgår att mindre läckage, 50m är mest frekvent. Vid större läckage utsätts dock betydligt fler personer men med en avsevärt lägre frekvens.

11.3 RESULTATTABELL ÖVER RISKAVSTÅND OCH SAMHÄLLSRISK

SKADEFÄNDELSE		Förväntat riskavstånd (m)	Förväntat antal utsatta personer (st)	Frekvens för utsläpp av SO ₂ (år ⁻¹)	Förväntad samhällsrisk (pers/år)
TRANSPORT					
1.1	Litet utsläpp	335	4.5	$5.7 \cdot 10^{-7}$	$2.6 \cdot 10^{-6}$
1.2	Medelstort utsläpp	1750	121	$1.9 \cdot 10^{-7}$	$2.3 \cdot 10^{-5}$
1.3a	Stort kont utsläpp	4750	912	$1.4 \cdot 10^{-7}$	$1.3 \cdot 10^{-4}$
1.3b	Totalt tankhaveri	7510	1411	$6.0 \cdot 10^{-9}$	$8.5 \cdot 10^{-6}$
LOSSNING					
2.1	Mindre läckage	340	5	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$6.5 \cdot 10^{-3}$
2.2	Större läckage/ slangbrott	1530	96	$5.1 \cdot 10^{-5}$	$4.8 \cdot 10^{-3}$
LAGRING					
3.1	Mindre läckage	240	2.5	$2.2 \cdot 10^{-2}$	$6.8 \cdot 10^{-2}$
3.2	Större läckage	1050	46	$1.9 \cdot 10^{-3}$	$8.7 \cdot 10^{-2}$
DISTRIBUTION					
4.1a	Mindre läckage, 50 m	80	0.3	$2.5 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$
4.1b	Mindre läckage, 400 m	50	0.1	$1.9 \cdot 10^{-2}$	$5.1 \cdot 10^{-3}$
4.2a	Större läckage/ rörbrott, 50m	390	6.3	$1.3 \cdot 10^{-3}$	$8.8 \cdot 10^{-3}$
4.2b	Större läckage/ rörbrott, 400m	250	2.5	$3.5 \cdot 10^{-4}$	$8.8 \cdot 10^{-4}$

Tabell 11.1 Riskavstånd, antal utsatta personer, utsläppsfrekvens och samhällsrisk.

12 SLUTSATSER OCH ÅTGÄRDSFÖRSLAG

Då de olika skadehändelserna jämförs, visar det sig att större och mindre läckage vid lagring klart utgör de största riskerna. Övriga skadehändelser innebär betydligt mindre risk för samhället än de två ovan nämnda (presenteras inte heller i diagrammet nedan då de sammanfaller med x-axeln). Ett första steg att minska riskerna med svaveldioxid hanteringen är därför att åtgärda lagringsförhållandena.

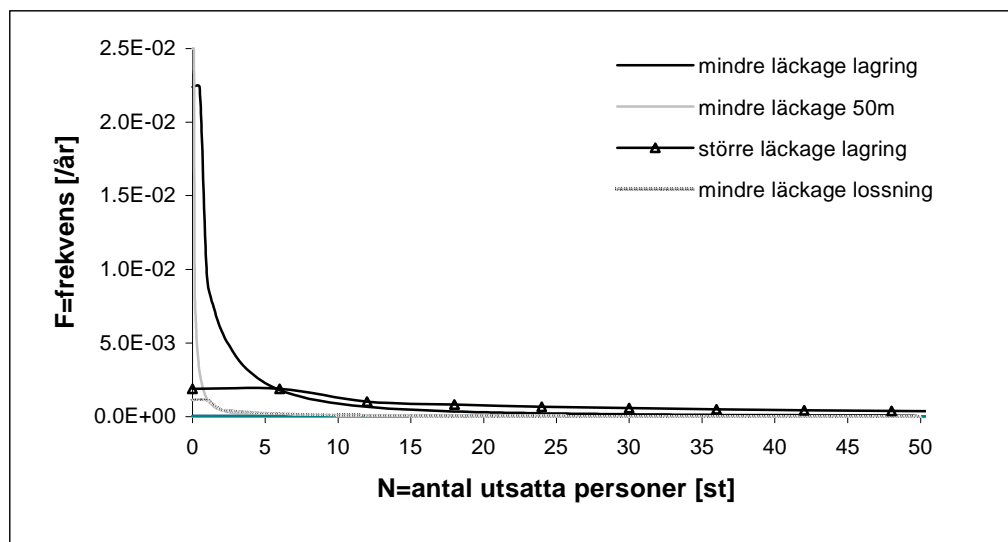


Diagram 12 Jämförelse av samhällsrisik för olika skadehändelser.

Åtgärder för att minska riskerna vid svaveldioxidhanteringen, kan indelas i förebyggande- och skadebegränsande åtgärder. En förebyggande åtgärd är att tydliga instruktioner för lossningsarbetet utformas och efterföljs. Detta gäller såväl ordinarie personal som semester- och tillfällig personal.

Vidare är det viktigt med fasta rutiner för tillsyn och underhåll av komponenter som ingår i hanteringen. Här bör korta tidsintervall eftersträvas, för att på ett tidigt stadium kunna upptäcka korrosionspåverkan på ventiler och torrsprickor i flänstätningar mm.

När det gäller skadebegränsande åtgärder finns det idag planer på att förse lagringstankarna med en invallning. Detta är ett steg i rätt riktning eftersom resultatet från riskanalysen visar att just lagringen ger störst bidrag till samhällsrisken avseende svaveldioxidhanteringen. Dock bör man gå vidare och komplettera denna med en tätslutande överbyggnad av t ex plåt eller liknande. Detta innebär att ett eventuellt utsläpp kan begränsas till att enbart beröra tankens närhet.

Ett område som berör både förebyggande- och skadebegränsande åtgärder är utbildning. Utbildningen bör vara kontinuerlig och innehålla både teoretiska och praktiska moment inom svaveldioxidhanteringen. Exempel på moment är tätning av läckage, återkondensering, invallning, och överpumpning. Utbildning inom dessa områden bör samordnas mellan STORA:s industribrandkår och den kommunala räddningstjänsten i Skutskär.

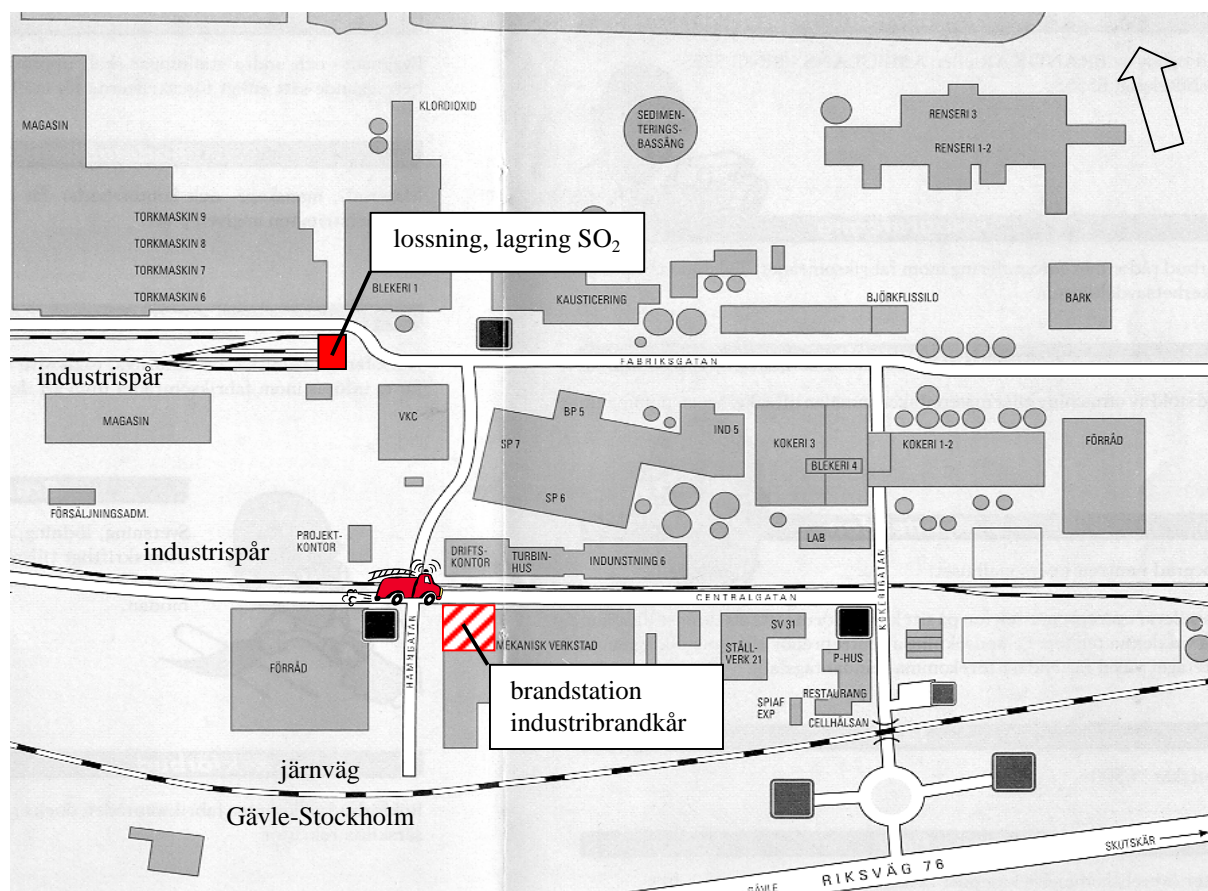
Det är också viktigt att samtlig personal på fabriken känner till riskerna med svaveldioxid och är informerade om utrymnings-/inrymningsplaner och uppsamlingsplatser.

Eftersom utsläpp av svaveldioxid kan medföra stora konsekvenser för samhället måste brandkår, polis och sjukvård samöva, för att på ett effektivt sätt lösa de problem som uppstår kring begränsning av utsläpp, utrymning (VMA), sanering och sjukvård av utsatta personer.

13 REFERENSER

- /1/ Akselsson, R. et al. **Arbete - Människa - Teknik**, Arbetskyddsnämnden, 1994
- /2/ Andersson, B. **Introduktion till konsekvensberäkningar**, Institutionen för brandteknik, Lunds tekniska högskola 1992
- /3/ Borg, O. F. **Sulfatmassatillverkning – kokning, tvättning, återvinning**, Sveriges skogsindustriförbund, 1991
- /4/ **Bättre plats för arbete – Planering av arbetsområden med hänsyn till miljö, hälsa och säkerhet**, Boverket, Allmänna råd 1995:5
- /5/ Cox, A. W. et al. **Hazardous Locations**, Institution of Chemical Engineers, England 1990
- /6/ **Farligt gods**, Riskbedömning vid transport med farligt gods på väg eller järnväg, Statens räddningsverk, Karlstad 1996
- /7/ **Farligt gods, kort 27 – svaveldioxid**, Svenska Brandförsvarsföreningen, Stockholm 1993
- /8/ Fisher, S. et al. **Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor**, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm 1996
- /9/ **Guidelines for Chemical Process Quantative Risk Analysis**, CPQRA, American Institute of chemical Engineers, USA 1989
- /10/ Harderup, E. **Klimatdata**, Institutionen för byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola
- /11/ Jacobsson, A. **Processsäkerhet**, , AJ Riskengineering AB, Sverige 1990
- /12/ **Kemikontorets skyddsblad 53 – svaveldioxid**, Kemikontorets förlag AB
- /13/ **Methods for the calculating of the physical effects of the escape of dangerous material (liquides and gases)**, TNO, Voorburg 1979
- /14/ **Risk analysis of six potentially hazardous industrial objects in the Rijnmond area**, a pilot study, a report to the Rijnmond public authority, Holland 1992
- /15/ @RISK manual, **Adwanced risk analysis for spreadsheets**, Palisade Corporation, New York 1996
- /16/ **Safety Cases within the Control of Industrial Major Accident Hazards**, (CIMAH) - Regulations 1984, Lees, F.P. and Ang, M.L, Butterworths, Sevenoaks, UK, 1984.
- /17/ **Toxiska ämnen kondenserade gaser** (medicinska verkningar), Statens Räddningsverk, Karlstad 1988
- /18/ **Tryckkärlsnormer**, Tryckkärlskommisionen, Stockholm 1997
- /19/ Väg- och transportforskningsinstitutet, VTI rapportserie 1994
 - Lindberg, E. och Moren, B. **Riskanalysmetod för transporter av farligt gods på väg och järnväg** 387:1
 - Fredén S. **Sannolikhet för järnvägsolyckor med farligt gods** 387:2
 - **Konsekvensanalys av olika olycksscenarioer vid transport av farligt gods på väg eller järnväg** 387:4
- /20/ **Värdering av risk**, Statens räddningsverk, Karlstad 1997
- /21/ Älvkarleby - invånarantal, statistiskt material från kommunkontoret, Älvkarleby

BILAGA 1 Översiktskarta, fabriksområdet



Figur 1 Översiktskarta med industrispår och lossnings/lagringsplats för SO₂ vid STORA Cell AB, Skutskär.

BILAGA 2 FREKVENSBERÄKNINGAR

I kapitel 8 Frekvensuppskattningar presenteras en allmän beskrivning av felfrekvenser för olika komponenter i systemet samt frekvenser för tillbud och utsläpp vid järnvägstransport. I följande bilaga redovisas beräkningar av slutfrekvenser för respektive skadehändelse. Slutfrekvenserna används för sammanvägning med konsekvenserna till samhällsrisk (se kapitel 10).

Transport

Frekvensen för de valda skadehändelserna har skattats med hjälp av "Räddningsverkets handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg"/6/. För att beräkna förväntad frekvens av olyckor med farligtgodsvagnar krävs vissa indata. En del av dessa indata har erhållits från företagets lokstall och redovisas i tabellen nedan. I tabellen redovisas också beteckningar och uppgifter som hämtats ur /6/.

Beskrivning	Värde	Beteckningar
Avsnittets längd [km]	2	S
Antal tåg/år med SO ₂ [st]	104	AT
Tågets totala antal vagnaxlar inkl skyddsvagnar [st]	20	TAF
Antal plankorsningar med bommar, ljud och ljus [st]	2	PK1
Antal plankorsningar utan skydd [st]	2	PK3
Urspårningstal för spårfel i aktuell spårklass	$1,9 \cdot 10^{-9}$	UTif
Urspårningstal ej spårfel i aktuell spårklass	$4,0 \cdot 10^{-9}$	UTOF

Tabell 2.1 Indata för frekvensberäkning av olycka med farligtgodsvagn.

Den förväntade frekvensen **F** för en olycka med farligtgodsvagnar, där tåget utgörs av vagnar med farligt gods inklusive skyddsvagnar, beräknas enligt (1) nedan.

$$\mathbf{F} = \mathbf{F1} + \mathbf{F2} + \mathbf{F3} \quad (1)$$

De olika termerna representerar frekvens av skadade vagnar med farligt gods, vid :

$$\text{Urspårning } \mathbf{F1} = \text{AT} \cdot \text{S} \cdot \text{TAF} \cdot 2,5 \cdot (\text{UTif} + \text{UTOF})$$

Kollisioner tåg – tåg **F2**, denna term försummas eftersom den aktuella sträckan endast trafikeras av ett tågset per tillfälle.

$$\text{Kollisioner vid plankorsningar } \mathbf{F3} = \text{AT} \cdot 2 \cdot (\text{PK1} \cdot \text{FKV1} + \text{PK3} \cdot \text{FKV3})$$

Resultat för transport

$$\text{Urspårning } \mathbf{F1} = 104 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 2,5 \cdot (1,9 \cdot 10^{-9} + 4,0 \cdot 10^{-9}) = 6,136 \cdot 10^{-5} / \text{år}$$

$$\text{Kollisioner vid plankorsningar } \mathbf{F3} = 104 \cdot 2 \cdot [(2 \cdot 5 \cdot 10^{-8}) + (2 \cdot 2 \cdot 10^{-8})] = 2,912 \cdot 10^{-5}$$

Den förväntade frekvensen **F** för en olycka med farligtgodsvagnar blir alltså lika med:

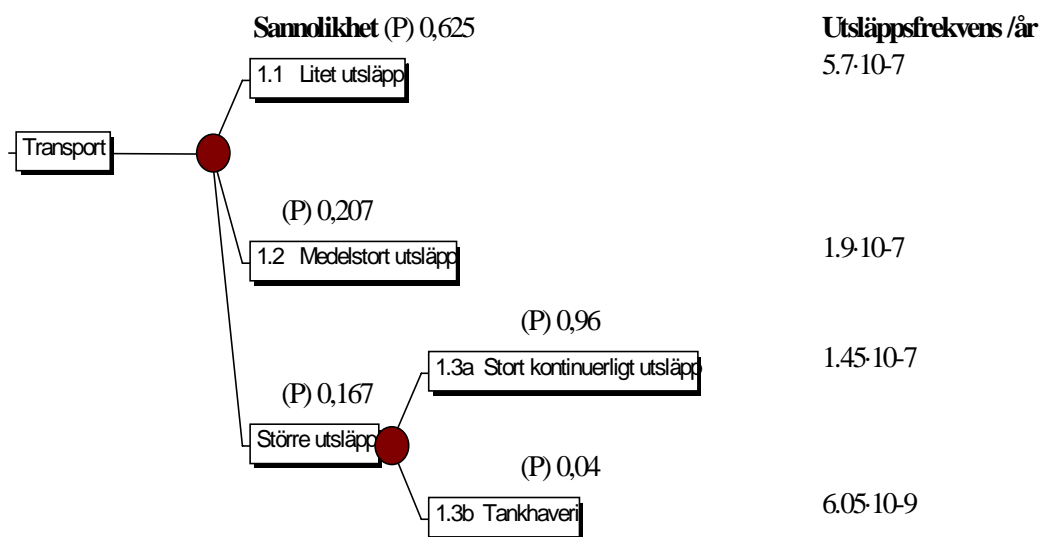
$$6,136 \cdot 10^{-5} + 2,912 \cdot 10^{-5} = 9,048 \cdot 10^{-5} / \text{år}$$

Vid tillbud som urspårning eller kollision är sannolikheten att tillbudet resulterar i utsläpp 0.01 för tjockväggiga tankar, oavsett utsläppets storlek och rörelsens art /6/.

Således blir sannolikheten för en svaveldioxidolycka vid järnvägstransport med utsläpp som följd:

$$9,048 \cdot 10^{-5} \cdot 0.01 = \mathbf{9,048 \cdot 10^{-7} / \text{år}}$$
 motsvarande en olycka per 1105217 år.

Utsläppet delas upp i litet, medelstort och stort utsläpp. Stort utsläpp delas i sin tur upp i kontinuerligt och momentant utsläpp (tankhaveri). Med hjälp av sannolikheter för dessa fall beräknas de slutliga frekvenserna för skadefallen 1.1 – 1.3b, vilka redovisas i figur 2.1 nedan /19/.



Figur 2.1 Utsläppsfrekvenser för skadehändelser vid transport.

Lossning

Vid beräkning av frekvenser för skadefall vid lossning (2.1, 2.2) ingår haverifrekvenser för ventiler, flänsar, slang/koppling och rör.

Delfrekvens (F_d) för respektive komponent beräknas enligt följande:

$$F_d = \text{antal komponenter} \cdot \text{komponentens haverifrekvens} \cdot \text{operationstid per år}^1$$

Slutfrekvenserna (F_s) för respektive skadefall erhålls som summan av delfrekvenserna:

$$F_s = \sum F_d$$

Komponent	Antal	Mindre läckage, haverifrekvens [/ <i>år</i>]		Större läckage/brott, haverifrekvens [/ <i>år</i>]	
		Enskild komponent, <i>F</i>	Delfrekvens, <i>F_d</i>	Enskild komponent, <i>F</i>	Delfrekvens, <i>F_d</i>
ventil	5 st	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$2.0 \cdot 10^{-4}$	$1.0 \cdot 10^{-5}$	$1.8 \cdot 10^{-6}$
fläns	12 st	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$4.3 \cdot 10^{-4}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$4.3 \cdot 10^{-5}$
slang/koppl	1 st	$1.5 \cdot 10^{-4}/50 \text{ op}^2)$	$6.0 \cdot 10^{-4}$	$150 \cdot 10^{-6}/50 \text{ op}^2)$	$6.0 \cdot 10^{-6}$
rör	15 m	$1.1 \cdot 10^{-4}/\text{m}$	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$1.0 \cdot 10^{-6}/\text{m}$	$5.3 \cdot 10^{-7}$
		$\Sigma 1.3 \cdot 10^{-3}$		$\Sigma 5.1 \cdot 10^{-5}$	

Tabell 2.2 Frekvenser för komponenter och skadefall vid lossning.

$$^1) \text{ operationstid} = \frac{2 \text{ ggr/v} \cdot 3 \text{ h} \cdot 52 \text{ v}}{365 \cdot 24 \text{ h}} = 0,036 \text{ år}$$

$$^2) \text{ haverifrekvens per 50 operationer [/*år*]$$

Lagring

Vid beräkning av frekvenser för skadefall vid lagring (3.1, 3.2) ingår haverifrekvenser för ventiler och flänsar /5//16/.

Delfrekvens (F_d) för respektive komponent beräknas enligt följande:

$$F_d = \text{antal komponenter} \cdot \text{komponentens haverifrekvens}$$

Slutfrekvenserna (F_s) för respektive skadefall erhålls som summan av delfrekvenserna:

$$F_s = \Sigma F_d$$

Komponent	Antal	Mindre läckage, haverifrekvens [/ <i>år</i>]		Större läckage/brott, haverifrekvens [/ <i>år</i>]	
		Enskild komponent, <i>F</i>	Delfrekvens, <i>F_d</i>	Enskild komponent, <i>F</i>	Delfrekvens, <i>F_d</i>
ventil	8 st	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$8.8 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-5}$	$8.0 \cdot 10^{-5}$
fläns	18 st	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$1.8 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$
		$\Sigma 2.7 \cdot 10^{-2}$		$\Sigma 1.9 \cdot 10^{-3}$	

Tabell 2.3 Frekvenser för komponenter och skadefall vid lagring.

Distribution

Vid beräkning av frekvenser för skadefall vid distribution (4.1a, 4.1b, 4.2a, 4.2b) ingår haverifrekvenser för ventiler, flänsar och rör /5//16/.

Delfrekvens (F_d) för respektive komponent beräknas enligt följande:

$$F_d = \text{antal komponenter} \cdot \text{komponentens haverifrekvens}$$

Slutfrekvenserna (F_s) för respektive skadefall erhålls som summan av delfrekvenserna:

$$F_s = \sum F_d$$

Komponent	Antal	Mindre läckage, haverifrekvens [/år]		Större läckage/brott, haverifrekvens [/år]	
		Enskild komponent, F	Delfrekvens, F_d	Enskild komponent,	Delfrekvens, F_d
ventil	5 st	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$5.5 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-5}$	$5.0 \cdot 10^{-5}$
fläns	11 st	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$
rör, 50m	4 st	$1.1 \cdot 10^{-4}/m$	$2.2 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-6}/m$	$2.0 \cdot 10^{-4}$
			$\Sigma 3.8 \cdot 10^{-2}$		$\Sigma 1.4 \cdot 10^{-3}$

Tabell 2.4 Frekvenser för komponenter och skadehändelse 4.1a och 4.2a vid distribution (rörledning 50m).

Komponent	Antal	Mindre läckage, haverifrekvens [/år]		Större läckage/brott, haverifrekvens [/år]	
		Enskild komponent, F	Delfrekvens, F_d	Enskild komponent,	Delfrekvens, F_d
ventil	4 st	$5.5 \cdot 10^{-4}$	$2.2 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-5}$	$4.0 \cdot 10^{-5}$
fläns	8 st	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$8.0 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$8.0 \cdot 10^{-4}$
rör, 350m	1 st	$5.5 \cdot 10^{-5}/m$	$1.9 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-6}/m$	$3.5 \cdot 10^{-4}$
			$\Sigma 5.1 \cdot 10^{-2}$		$\Sigma 1.2 \cdot 10^{-3}$

Tabell 2.5 Frekvenser för komponenter och skadehändelse 4.1b och 4.2b vid distribution (rörledning 350m).

Resultat slutfrekvenser

Skadehändelse		Slutfrekvens [år ⁻¹]
Transport		
1.1	Litet utsläpp (urspårn./kollision)	$5.7 \cdot 10^{-7}$
1.2	Medelstort utsläpp (urspårn./kollision)	$1.9 \cdot 10^{-7}$
1.3a	Stort kontinuerligt utsläpp (urspårn./ kollision)	$1.5 \cdot 10^{-7}$
1.3b	Totalt tankhaveri (urspårn./kollision)	$6.1 \cdot 10^{-9}$
Lossning		
2.1	Mindre läckage från fläns, ventil, slang/koppling, rör	$1.3 \cdot 10^{-3}$
2.2	Större läckage från fläns, ventil, slang/koppl., rör, alt. slangbrott	$5.1 \cdot 10^{-5}$
Lagring		
3.1	Mindre läckage från fläns, ventil i nära anslutning till tanken	$2.7 \cdot 10^{-2}$
3.2	Större läckage från fläns, ventil i nära anslutning till tanken	$1.9 \cdot 10^{-3}$
Distribution		
4.1a	Mindre läckage på rörledning, 50m	$3.8 \cdot 10^{-2}$
4.1b	Mindre läckage på rörledning, 350m	$5.1 \cdot 10^{-2}$
4.2a	Större läckage /rörbrott på rörledning, 50m	$1.4 \cdot 10^{-3}$
4.2b	Större läckage /rörbrott på rörledning, 350m	$1.2 \cdot 10^{-3}$

Tabell 2.6 Utsläppsfrekvenser för respektive skadehändelse.

BILAGA 3 Beräkningar i CHEMS PLUS

För att jämföra datorsimuleringarna i @-risk har två utvalda skadehändelser simulerats i ett annat datorprogram, CHEMS PLUS. Det som är av intresse är att få en uppfattning om huruvida de båda modellerna stämmer överens eller ej.

I CHEMS PLUS finns en databas med olika ämnen och deras karakteristiska data. Programmet kan beräkna en mängd olika typer av utsläpp för både gaser och vätskor. Vidare kan programmet genomföra spridningsberäkningar för olika spridningsmodeller.

De skadehändelser som valts ut för jämförelse är distribution, mindre läckage på 400-meters ledning och större läckage på 50-meters ledning. I programmet modelleras rören som tankar med längden 400 meter respektive 50 meter med diametern 25 mm.

Spridningsmodellen som används är Continous Heavy Gas Model (kontinuerligt läckande tung gas). Detta beror på att svaveldioxiden är en tung gas, d v s tyngre än luft. Efterhand som gasen sprids, blandas den med luft och späds ut, vilket innebär att gasen så småningom går över till att spridas med vinden. Denna övergång tar programmet hänsyn till i beräkningarna.

I tabell 3.1 anges värden från de olika datorsimuleringarna.

<i>Skadehändelse</i>	<i>Riskavstånd med @-risk (m)</i>	<i>Riskavstånd med CHEMS-PLUS (m)</i>
Mindre läckage 400m	50	55
Större läckage 50m	390	270

Tabell 3.1 Jämförelse av riskavstånd framräknade mha @RISK och CHEMS-PLUS.

Resultatet visar att de båda simuleringarna ger liknande värde på mindre läckage men vid större läckage blir riskavståndet kortare i datorsimuleringen med CHEMS-PLUS. En av anledningarna till detta kan vara att röret modelleras som en tank, lagringstrycket sjunker och utsläppt mängd minskar efterhand som utsläppet varar.

Distribution; stort utsläpp 50m ledning
CHEMS-PLUS, V 2.0

Two-phase flow from vessels

User Inputs:

Temperature, (K)	280
Total mass in vessel, (kg)	36
Hole diameter, (m)	0.0165
Discharge coefficient	0.75

Model Outputs:

Mass discharge rate, (kg/s)	0.89
Time to empty, (s)	40.5
Flash fraction	0.0592
Liquid density, (kg/m ³)	42E+03
Vapor density, (kg/m ³)	2.79
2-Phase mixture density, (kg/m ³)	45.7

Continuous Heavy Gas Model

User Inputs:

Atmospheric stability class	D
Limiting concentration, (ppm)	100
Reference wind speed, (m/s)	6
Reference wind speed height, (m)	10
Wind power law constant	0.14
Surface roughness length, (m)	0.4
Cloud height fraction used to calculate downwind cloud advection	1
Surface-friction drag coefficient	0.01
Percent relative humidity	60
Ambient temperature, (K)	280
Ambient pressure, (Pa)	1.01E+05
Ground surface temperature, (K)	280

Initial release conditions:

Temperature, (K) [Corrected]	263
Molar fraction vapor	0.12
Molar flow rate, (kmol/s)	0.0139
Volumetric flow rate, (m ³ /s)	0.0366
Mass flow rate, (kg/s)	0.89
Duration, (s)	40.5
Air molar flow rate, (kmol/s)	0
Water molar flow rate, (kmol/s)	0
Semi-width, (m)	3.07
Height, (m)	0.00307
Height to semi-width ratio	0.001

Transition to passive dispersion:

Density difference is small	
Cloud front is at	47.3m
Cloud concentration	2624ppm
Cloud density	1.285kg/m ³
Air density	1.262kg/m ³

Dispersion Results

Time	Downwind	Conc	Semiw
0	0	9,99E+05	3,07
0,1	0,208	3,82E+05	3,1
0,2	0,435	2,41E+05	3,12
0,3	0,674	1,81E+05	3,16
0,4	0,924	1,47E+05	3,19
0,5	1,18	1,26E+05	3,23
0,6	1,45	1,10E+05	3,27
0,7	1,71	9,84E+04	3,31
0,9	2,27	8,20E+04	3,4
1,1	2,84	7,10E+04	3,5
1,3	3,43	6,32E+04	3,59
1,6	4,33	5,49E+04	3,75
1,9	5,26	4,91E+04	3,91
2,29	6,5	4,36E+04	4,13
2,76	8,02	3,90E+04	4,41
3,39	10,2	3,41E+04	4,82
3,88	11,9	2,94E+04	5,17
4,26	13,2	2,50E+04	5,43
4,68	14,8	2,08E+04	5,73
5,13	16,5	1,71E+04	6,04
5,63	18,4	1,41E+04	6,37
6,17	20,5	1,16E+04	6,72
6,76	22,8	9,50E+03	7,1
7,41	25,4	7,79E+03	7,5
8,11	28,3	6,39E+03	7,94
8,9	31,6	5,24E+03	8,41
9,77	35,3	4,30E+03	8,91
10,8	39,6	3,53E+03	9,44
11,9	44,6	2,90E+03	10
14,6	56,9	2,11E+03	11,7
16,8	66,5	1,33E+03	12,6
18,9	76,2	956	13,3
21	85,8	743	13,8
23,2	95,4	603	14,2
25,3	105	500	14,4
27,4	115	419	14,6
29,6	124	354	14,6
31,7	134	302	14,4
33,9	144	259	14,2
36	153	228	14
38,1	163	204	13,7
40,3	172	184	13,2
42,4	182	166	12,7
44,5	192	151	12
46,7	201	138	11,1
48,8	211	127	9,88
51	220	117	8,32
53,1	230	108	6,05
55,2	240	100	0

Time: Time, (s)

Downwind: Downwind distance of cloud front, (m)

Conc: Concentration, (ppm)

Semiw: Semi-width, (m)

Transition to passive dispersion:

Time	11.8766 s
Downwind distance	44.5619 m
Semi-width	10.0195 m
Concentration	2896.4620 ppm
CPU Time	191.484 s

Distribution; litet utsläpp 400m ledning
CHEMS-PLUS, V 2.0

Two-phase flow from vessels

User Inputs:

Temperature, (K)	280
Total mass in vessel (kg)	4,50E+04
Hole diameter, (m)	0,0052
Discharge coefficient	0,75

Model Outputs:

Mass discharge rate, (kg/s)	0,0884
Time to empty, (s)	5,09E+05
Flash fraction	0,0592
Liquid density, (kg/m ³)	1,42E+03
Vapor density, (kg/m ³)	2,79
2-Phase mixture density, (kg/m ³) ...	45,7

Continuous Heavy Gas Model

User Inputs:

Atmospheric stability class	D
Limiting concentration, (ppm)	100
Reference wind speed, (m/s)	6
Reference wind speed height, (m)	10
Wind power law constant	0,14
Surface roughness length, (m)	0,4
Cloud height fraction used to calculate downwind cloud advection	1
Surface-friction drag coefficient	0,01
Percent relative humidity	60
Ambient temperature, (K)	280
Ambient pressure, (Pa)	1,01E+05
Ground surface temperature, (K)	280

Initial release conditions:

Temperature, (k) [corrected]	263
Molar fraction vapor	0,12
Molar flow rate, (kmol/s)	0,00138
Volumetric flow rate, (m ³ /s)	0,00363
Mass flow rate, (kg/s)	0,0884
Duration, (s)	5,09E+05
Air molar flow rate, (kmol/s)	0
Water molar flow rate, (kmol/s)	0
Semi-width, (m)	1,05
Height, (m)	0,00105
Height to semi-width ratio	0,001

Transition to passive dispersion

Density difference is small	
Cloud front is at	17,02m
Cloud concentration	2573ppm
Cloud density	1,28kg/m ³
Air density	1,26kg/m ³

Dispersion Results

Time	Downw	Conc	Semiw
0	0	9,99E+05	1,05
0,1	0,192	1,91E+05	1,06
0,2	0,411	1,08E+05	1,08
0,3	0,645	7,82E+04	1,11
0,4	0,89	6,25E+04	1,13
0,5	1,14	5,29E+04	1,16
0,6	1,4	4,64E+04	1,19
0,8	1,94	3,85E+04	1,26
1	2,5	3,39E+04	1,33
1,3	3,38	2,95E+04	1,45
1,6	4,29	2,60E+04	1,58
1,8	4,92	2,24E+04	1,67
2	5,56	1,84E+04	1,76
2,19	6,19	1,52E+04	1,85
2,41	6,91	1,26E+04	1,94
2,64	7,7	1,03E+04	2,04
2,89	8,59	8,46E+03	2,14
3,17	9,59	6,94E+03	2,26
3,48	10,7	5,69E+03	2,38
3,81	12	4,66E+03	2,51
4,2	13,4	3,82E+03	2,65
4,63	15,1	3,14E+03	2,81
5,12	17	2,57E+03	2,97
5,83	19,8	2,26E+03	3,36
6,54	22,6	1,54E+03	3,67
7,25	25,4	1,13E+03	3,91
7,96	28,3	891	4,1
8,67	31,1	729	4,24
9,38	33,9	607	4,36
10,1	36,7	510	4,44
10,8	39,5	432	4,49
11,5	42,3	369	4,52
12,2	45,1	317	4,51
12,9	47,9	275	4,48
13,6	50,7	240	4,41
14,3	53,5	211	4,31
15,1	56,3	186	4,16
15,8	59,1	166	3,95
16,5	61,9	148	3,67
17,2	64,8	133	3,3
17,9	67,6	121	2,79
18,6	70,4	110	2,04
19,3	73,2	100	0

Time: Time, (s)

Downw: Downwind distance of cloud front, (m)

Conc: Cloud concentration, (ppm)

Semiw: Semiwidth, (m)

Transition to passive dispersion:

Time	5,1249s
Downwind distance	17,0198m
Semi-width	2,9691m
Concentration	2573,33ppm
CPU Time	217,143s

Lagring; tankhaveri
CHEMS-PLUS, V 2.0

Instantaneous Heavy Gas Model

User Inputs: Ambient Conditions

Atmospheric stability class	D
Reference wind speed, (m/s)	6
Reference wind speed height, (m)	10
Wind power law constant	0.14
Percent relative humidity	60
Ambient temperature, (K)	280
Ground surface temperature, (K)	280
Surface roughness length, (m)	0.4
Surface-friction drag coefficient	0.01

User Inputs: Release Conditions

Temperature, (K) [Corrected]	263
Chemical vapor to liquid molar ratio	0.12
Number of moles of chemical, (kmol)	702
Number of moles of dry air, (kmol)	0
Number of moles of water, (kmol)	0
Total cloud volume, (m3)	1.85E+03
Total cloud mass, (kg)	4.5E+04
Cloud radius, (m)	6.65
Cloud height, (m)	13.3
Height to radius ratio	2
Limiting concentration, (ppm)	100
Upper concentration limit, (ppm)	1.5E+05

Model Outputs:

Transition to passive dispersion

Density difference is small.	
Cloud center, (m)	700
Concentration, (ppm)	7.64E+03
Density, (kg/m3)	1.28
Air density, (kg/m3)	1.62

Transition to passive dispersion:

Time	153.9698 s
Downwind distance	700.0582 m
Radius	298.2568 m
Concentration	7641.8889 ppm
CPU Time	97.5824 s

Dispersion Results

Time	Downwind	Conc	Radius	Mcloud
0	0	1,00E+06	6,65	1,28E+04
0,7	4,13	8,79E+05	13,3	1,42E+04
4,74	24,3	7,09E+05	35,6	1,69E+04
14,6	66,7	5,61E+05	67	2,03E+04
22,3	97,8	4,41E+05	86,2	2,43E+04
28,4	122	3,51E+05	100	2,86E+04
34,6	147	2,72E+05	114	3,39E+04
40,3	170	2,14E+05	126	3,91E+04
46,3	195	1,65E+05	139	4,40E+04
52,5	221	1,27E+05	152	4,49E+04
61,3	258	8,88E+04	169	4,48E+04
72,1	304	5,99E+04	189	4,48E+04
83,9	357	4,04E+04	209	4,47E+04
97,2	418	2,73E+04	229	4,45E+04
112	489	1,84E+04	250	4,43E+04
125	550	1,37E+04	266	4,41E+04
134	595	1,13E+04	276	4,39E+04
143	645	9,29E+03	287	4,37E+04
154	700	7,64E+03	298	4,35E+04
154	700	7,64E+03	298	4,35E+04
323	1,71E+03	1,01E+03	314	3,59E+04
492	2,73E+03	611	313	3,12E+04
661	3,74E+03	453	305	2,75E+04
830	4,76E+03	360	292	2,41E+04
999	5,77E+03	289	274	2,03E+04
1,17E+03	6,78E+03	231	253	1,61E+04
1,34E+03	7,80E+03	186	226	1,15E+04
1,51E+03	8,81E+03	150	191	6,86E+03
1,68E+03	9,83E+03	122	141	2,64E+03
1,84E+03	1,08E+04	100	0	4,80E-05

Time: Time, (s)

Downwind: Downwind distance of cloud center, (m)

Conc: Cloud concentration, (ppm)

Radius: Cloud radius, (m)

Mcloud: Mass within specified concentration limits

BILAGA 4 KONSEKVENSBERÄKNINGAR**Transport****Skadehändelse 1.1**

Litet utsläpp i samband med järnvägstransport, där utsläppsmängden antas förångas direkt. Massflödet från tanken beräknas enligt följande:

$$\dot{Q} = C_d \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \sqrt{2(P_T - P_a)} \cdot \rho_l \quad \text{ekv. 1.1}$$

Q = massflöde	[kg/s]
C _d = kontraktionsfaktor	[enhetlös]
r = hålradi	[m]
P _T = tanktryck	[Pa]
P _a = atmosfärstryck	[Pa]
ρ _l = densitet för vätskefas	[kg/m ³]

Spridningen från utsläppet beräknas enligt en förenklad gaussisk spridningsmodell /13/. Modellen ger koncentrationen för en punkt mitt i plymen enligt följande:

$$C = \frac{\dot{Q}}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \quad \text{ekv. 1.2}$$

C = koncentration	[ppm]
Q = massflöde	[kg/s]
U = vindhastighet	[m/s]
σ _y och σ _z är dispersionskoefficienter	

Dispersionskoefficienterna beräknas enligt nedan:

$$\sigma_y = ax^b \quad \text{ekv. 1.3}$$

$$\sigma_z = cx^d \quad \text{ekv. 1.4}$$

(x = utsläppsavstånd i vindriktningen [m])

Konstanterna a, b, c och d beror på vissa väderstabilitetsklasser enligt tabell 4.1.

Stabilitetsklass	a	b	c	d
A (mycket ostadigt)	0,527	0,865	0,28	0,90
B (ostadigt)	0,371	0,866	0,23	0,85
C (något ostadigt)	0,209	0,897	0,22	0,80
D (neutralt)	0,128	0,905	0,20	0,76
E (stabil)	0,098	0,902	0,15	0,73
F (mycket stabil)	0,065	0,902	0,12	0,67

Tabell 4.1 Dispersionskoefficienternas beroende av stabilitetsklass

Eftersom konstanterna a, b, c och d har en viss inbördes korrelation kan dessa ej dras slumpmässigt från sin respektive fördelning. Därför approximeras konstanterna b, c och d som linjära funktioner uttryckta i a enligt följande:

$$\begin{aligned} b &= -0,09809a + 0,912355 \\ c &= 0,289672a + 0,132507 \\ d &= 0,439002a + 0,682713 \end{aligned}$$

Utsläppsavståndet x kan nu lösas ut ur ekvation 1.3 och 1.4 enligt:

$$x = \left(\frac{\sigma_y \cdot \sigma_z}{a \cdot c} \right)^{\left(\frac{1}{b+d} \right)} \quad \text{ekv. 1.5}$$

Dispersionskoefficienterna i täljaren löses ut från ekvation 1.2 där koncentrationen först omräknats från ppm till kg/m^3 enligt följande:

$$C_{\text{kg}/\text{m}^3} = \frac{C_{\text{ppm}} \cdot M \cdot P_a}{10^9 \cdot R \cdot T_a} \quad \text{ekv. 1.6}$$

C_{ppm}	= koncentration	[ppm]
C_{kg/m^3}	= koncentration	[kg/m^3]
M	= molmassa	[g/mol] (64,06 för SO_2)
P_a	= atmosfärstryck	[Pa]
R	= allmänna gaskonstanten	[8,314 J/(mol·K)]
T_a	= lufttemperatur	[K]

Av dessa parametrar varierar temperaturen mellan 263 och 293 K. Detta påverkar koncentrationen marginellt och värdet $2,67 \cdot 10^{-4} \text{ kg}/\text{m}^3$ används i kommande beräkningar.

Resultatet blir:

$$\sigma_y \cdot \sigma_z = \frac{\dot{Q}}{\pi \cdot U \cdot C_{\text{kg}/\text{m}^3}} \quad \text{ekv. 1.7}$$

Efter insättning av siffervärden på konstanterna b, c och d får ekvation 1.5 följande utseende:

$$x = \left(\frac{C_d \cdot r^2 \cdot \sqrt{2(P_T - P_a)} \cdot \rho_l}{U \cdot C_{\text{kg}/\text{m}^3} \cdot (0,290a^2 + 0,133a)} \right)^{\left(\frac{1}{0,341a+1,601} \right)} \quad \text{ekv. 1.8}$$

I tabell 4.2 redovisas konstanter och parametrar med typ av fördelning och värde.

Konstanter	
Tanktryck, P_T	$3 \cdot 10^5$ Pa
Atmosfärstryck, P_a	$1 \cdot 10^5$ Pa
Densitet för vätskefas, ρ_l	1450 kg/m^3
Koncentration, $C_{\text{kg/m}^3}$	$2,675 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$

Fördelade parametrar	
Kontraktionsfaktor, C_d	Triangelfördelad (0,5; 0,8; 0,95)
Hålradi, r	Triangelfördelad (0; 0,01; 0,01) m
Vindhastighet, U	Triangelfördelad (0; 4; 15) m/s
Stabilitetsklassvariabel, a	Triangelfördelad (0,065; 0,128; 0,527)

Tabell 4.2 Konstanter och varierande parametrar.

Resultat för skadehändelse 1.1

Riskavståndet erhöles enligt följande:

Medelvärde: 334 meter

Minsta värde: 1 meter

Största värde: 4400 meter

Standard avvikelse: 280 meter

Skadehändelse 1.2

Medelstort utsläpp i samband med järnvägstransport, där utsläppsmängden antas förångas direkt. I detta fall används samma beräkningsgång och formler som i skadehändelse 1.1. Den enda parameter som skiljer sig från skadehändelse 1.1 är hålradien, denna antas fortfarande vara triangelfördelad men värdet varierar enligt (0,01; 0,035; 0,035).

Resultat för skadehändelse 1.2

Riskavståndet erhöles enligt följande:

Medelvärde: 1444 meter

Minsta värde: 123 meter

Största värde: 22000 meter

Standard avvikelse: 1310 meter

Skadehändelse 1.3a

Stort kontinuerligt utsläpp i samband med järnvägstransport. I detta fall förångas inte hela utsläppsmängden direkt, utan det bildas en pool på marken ur vilken det sker en kontinuerlig förångning under viss tid. Massflödet Q , beräknas enligt ekvation 1.1 i skadehändelse 1.1. Till följd av trycksänkningen i tanken vid utsläppet sker en partiell förångning en sk flash, som består av ånga + små vätskedroppar (aerosoler). Andelen ånga kan beräknas enligt:

$$f = \frac{c_{pl} \cdot (T_s - T_b)}{h_{fg}} \quad \text{ekv. 1.9}$$

c_{pl} = specifikt värme för vätskefas [J/(kg·K)] (1320 J/(kg·K) för SO₂)

h_{fg} = ångbildningsvärme [J/kg] (3,9·10⁵ J/kg för SO₂)

T_0 = lagringstemperatur [K]

T_b = kokpunkt vid atmosfärstryck [K]

Tillförseeln av vätska till poolen beräknas enligt ekvation 1.10, där flashandelen multipliceras med två för att ta hänsyn till både ånga och aerosoler som avgår vid utsläppets initialskelede.

$$\dot{V} = \frac{Q \cdot (1 - 2f)}{\rho_l} \quad \text{ekv. 1.10}$$

\dot{V} = tillförsel av vätska till poolen [m³/s]

Q = massflöde [kg/s] (ekvation 1.1)

f = andel flashande ånga

ρ_l = densitet för vätskefas [kg/m³]

Förångningshastigheten från poolen beräknas med hjälp av följande uttryck:

$$m = s \cdot c \cdot \frac{\pi}{2,0} \cdot t_d \quad \text{ekv. 1.11}$$

där

$$s = \frac{T_m - T_b}{h_{fg}} \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^6}{\pi} \right)^{0,5} \quad \text{ekv. 1.12}$$

och

$$c = 0,75 \cdot (2,0 \cdot \pi \cdot g \cdot \dot{V})^{0,5} \quad \text{ekv. 1.13}$$

m = förångningshastighet [kg/s]

t_d = förångningstid [s]

T_m = markens ursprungstemperatur [K]

T_b = kokpunkt vid atmosfärstryck [K]

h_{fg} = ångbildningsvärme [J/kg] (3,9·10⁵ J/kg för SO₂)

g = tyngdaccelerationen = 9.81 [m/s²]

\dot{V} = tillförsel av vätska till poolen [m³/s]

Om de värden som är kända stoppas in i ekvation 1.11 får ekvationen följande utseende:

$$m = 0,0189 \cdot (T_m - T_b) \cdot t_d \cdot \sqrt{\frac{\dot{Q} \cdot (1 - 2f)}{\rho_l}} \quad \text{ekv. 1.14}$$

Utsläppsavståndet x , kan bestämmas med hjälp av ekvationerna 1.5 och 1.7 från skadehändelse 1.1. Dock måste massflödet \dot{Q} ersättas med summan av förångningshastigheten från den bildade poolen och dubbla flashhandelen. Ekvationen för utsläppsavståndet blir alltså:

$$x = \left(\frac{0,0189 \cdot (T_m - T_b) \cdot t_d \cdot \sqrt{\frac{\dot{Q} \cdot (1 - 2f)}{\rho_l}} + 2f \cdot \dot{Q}}{\pi \cdot U \cdot C \cdot (0,290a^2 + 0,133a)} \right)^{\left(\frac{1}{0,341a + 1,601} \right)} \quad \text{ekv. 1.15}$$

I tabell 4.3 redovisas konstanter och parametrar med typ av fördelning och värde.

Konstanter	
Tanktryck, P_T	$3 \cdot 10^5$ Pa
Atmosfärstryck, P_a	$1 \cdot 10^5$ Pa
Densitet för vätskefas, ρ_l	1450 kg/m^3
Specifikt värme för vätskefas, c_{pl}	$1320 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$
Ångbildningsvärme, h_{fg}	$3,9 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$
Koncentration, $C_{\text{kg/m}^3}$	$2,675 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$
Kokpunkt vid atmosfärstryck, T_b	263 K

Fördelade parametrar	
Förångningstid, t_d	Triangelfördelad (900; 1200) s
Kontraktionsfaktor, C_d	Triangelfördelad (0,5; 0,8; 0,95)
Hålradien, r	Triangelfördelad (0,035; 0,125; 0,125) m
Vindhastighet, U	Triangelfördelad (0; 4; 15) m/s
Lagringstemperatur, T_o	Triangelfördelad (278; 283; 288) K
Markens ursprungstemperatur, T_m	Triangelfördelad (268; 283; 293) K
Stabilitetsklassvariabel, a	Triangelfördelad (0,065; 0,128; 0,527)

Tabell 4.3 Konstanter och varierande parametrar.

Resultat för skadehändelse 1.3a

Riskavståndet erhöles enligt följande:

Medelvärde: 4900 meter

Minsta värde: 430 meter

Största värde: 100921 meter

Standard avvikelse: 4465 meter

Skadehändelse 1.3b

Stort momentant utsläpp d v s tankhaveri i samband med järnvägstransport. I detta fall kommer spridningen från utsläppet att ske i två steg, kontinuerligt genom förångning från den bildade poolen samt momentant via en sk puffspridning. Därför delas skadehändelse 1.3b upp i två fall, I och II.

Skadehändelse I

För att beräkna andelen som flashar vid utsläppet används ekvation 1.9.

$$f = \frac{c_{pl} \cdot (T_s - T_b)}{h_{fg}} \quad \text{ekv. 1.9}$$

c_{pl} = specifikt värme för vätskefas [J/(kg·K)] (1320 J/(kg·K) för SO₂)

h_{fg} = ångbildningsvärme [J/kg] (3,9·10⁵ J/kg för SO₂)

T_o = lagringstemperatur [K]

T_b = kokpunkt vid atmosfärstryck [K]

Tankens totala innehåll Q är 58 ton, enligt uppgift från KEMIRA Kemi Helsingborg. Mängden vätska i poolen bestäms genom:

$$V = \frac{Q \cdot (1 - 2f)}{\rho_l} \quad \text{ekv. 1.16}$$

V = mängden vätska i poolen [m³]

Q = mängden vätska i tanken [kg/s]

f = andel flashande ånga

ρ_l = densitet för vätskefas [kg/m³]

Förångningshastigheten från poolen beräknas med hjälp av följande uttryck:

$$m = s \cdot \pi \cdot (g \cdot V \cdot t_d)^{0,5} \quad \text{ekv. 1.17}$$

där uttrycket för s är samma som i ekvation 1.12

$$s = \frac{T_m - T_b}{h_{fg}} \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^6}{\pi} \right)^{0,5} \quad \text{ekv. 1.12}$$

m = förångningshastighet [kg/s]

t_d = förångningstid [s]

T_m = markens ursprungstemperatur [K]

T_b = kokpunkt vid atmosfärstryck [K]

h_{fg} = ångbildningsvärme [J/kg] (3,9·10⁵ J/kg för SO₂)

g = tyngdaccelerationen = 9,81 [m/s²]

V = mängden vätska i poolen [m³]

Om de värden som är kända stoppas in i ekvation 1.17 får ekvationen följande utseende:

$$m = 0,020 \cdot (T_m - T_b) \cdot (V \cdot t_d)^{0,5} \quad \text{ekv. 1.18}$$

Den kontinuerliga spridningen kan beräknas med hjälp av ekvation 1.2 från skadehändelse 1.1. Dock med skillnaden att massflödet Q , byts ut mot förångningshastigheten m , från den bildade poolen enligt:

$$C = \frac{m}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \quad \text{ekv. 1.19}$$

C = koncentration [kg/m³]
 m = förångningshastighet [kg/s]
 U = vindhastighet [m/s]
 σ_y och σ_z är dispersionskoefficienter

Dispersionskoefficienterna beräknas enligt ekvation 1.3 och 1.4. Vidare kombineras ekvation 1.5 och ekvation 1.18 för att bestämma utsläppsavståndet:

$$x = \left(\frac{0,020 \cdot (T_m - T_b) \cdot (V \cdot t_d)^{0,5}}{\pi \cdot U \cdot C \cdot (0,290a^2 + 0,133a)} \right)^{\left(\frac{1}{0,341a + 1,601} \right)} \quad \text{ekv. 1.20}$$

I tabell 4.4 redovisas konstanter och parametrar med typ av fördelning och värde.

Konstanter	
Mängden vätska i tanken	58000 kg
Densitet för vätskefas, ρ_l	1450 kg/m ³
Specifikt värme för vätskefas, c_{pl}	1320 J/(kg×K)
Ångbildningsvärme, h_{fg}	3,9×10 ⁵ J/kg
Koncentration, C_{kg/m^3}	2,675×10 ⁻⁴ kg/m ³
Kokpunkt vid atmosfärstryck, T_b	263 K

Fördelade parametrar	
Lagringstemperatur, T_o	Triangelfördelad (278; 283; 288) K
Markens ursprungstemperatur, T_m	Triangelfördelad (268; 283; 293) K
Förångningstid, t_d	Jämfördelad (900; 1200) s
Vindhastighet, U	Triangelfördelad (0; 4; 15) m/s
Stabilitetsklassvariabel, a	Triangelfördelad (0,065; 0,128; 0,527)

Tabell 4.4 Konstanter och varierande parametrar.

Resultat för skadehändelse I

Riskavståndet erhöles enligt följande:

Medelvärde: 2395 meter

Minsta värde: 276 meter

Största värde: 27400 meter

Standard avvikelse: 1842 meter

Skadehändelse II

Den momentana spridningen, den sk puffspridningen, kan beräknas med hjälp av en förenklad gaussisk modell enligt /13/. Modellen ger koncentrationen för en punkt mitt i molnet enligt följande:

$$x = \left(\frac{m}{\pi \cdot U \cdot C \cdot a \cdot c} \right)^{\left(\frac{1}{b+d} \right)} \quad \text{ekv. 1.21}$$

där

$$C = \frac{2M_o}{(2\pi)^{\frac{3}{2}} \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \quad \text{ekv. 1.22}$$

C = koncentration [kg/m³]
M_o = mängden vätska i tanken [m³]
σ_x, σ_y och σ_z är dispersionskoefficienter

Dispersionskoefficienterna beräknas enligt nedan:

$$\sigma_x = 0,13x \quad \text{ekv. 1.23}$$

$$\sigma_y = \frac{a}{2}x^b \quad \text{ekv. 1.24}$$

$$\sigma_z = cx^d \quad \text{ekv. 1.25}$$

(x = utsläppsavstånd i vindriktningen [m])

Konstanterna a, b, c och d beror på väderstabilitetsklasser enligt tabell 1.1. Dessa konstanter har, som tidigare sagts, en viss inbördes korrelation och kan ej dras slumpmässigt från sin respektive fördelning. Konstanterna approximeras därför på samma sätt som i skadehändelse 1.1, d v s som linjära funktioner uttryckta i a enligt följande:

$$b = -0,09809a + 0,912355$$

$$c = 0,289672a + 0,132507$$

$$d = 0,439002a + 0,682713$$

Utsläppsavståndet x kan nu lösas ut ur ekvationerna 1.23, 1.24 och 1.25 enligt:

$$x = \left(\frac{\sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z}{0,065 \cdot a \cdot c} \right)^{\left(\frac{1}{1+b+d} \right)} \quad \text{ekv. 1.26}$$

Dispersionskoefficienterna σ_x, σ_y och σ_z kan lösas ut från ekvation 1.22 enligt:

$$\sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z = \frac{2M_o}{(2\pi)^{\frac{3}{2}} \cdot C} \quad \text{ekv. 1.27}$$

Efter insättning av siffervärden på konstanterna b, c och d får ekvation 1.26 följande utseende:

$$x = \left(\frac{2M_o}{(2\pi)^{\frac{3}{2}} \cdot C \cdot (0,0189a^2 + 0,0042a)} \right)^{\left(\frac{1}{0,341a+2,601} \right)} \quad \text{ekv. 1.28}$$

I tabell 4.5 redovisas konstanter och parametrar med typ av fördelning och värde.

Konstanter	
Mängden vätska i tanken	58000 kg
Koncentration, $C_{\text{kg/m}^3}$	$2,675 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$

Fördelade parametrar	
Stabilitetsklassvariabel, a	Triangelfördelad (0,065; 0,128; 0,527)

Tabell 4.5 Konstanter och varierande parametrar.

Resultat för skadehändelse II

Riskavståndet erhöles enligt följande:

Medelvärde: 7535 meter

Minsta värde: 3144 meter

Största värde: 16112 meter

Standard avvikelse: 2653 meter

Lossning, lagring och distribution

Skadehändelse 2.1-4.2b

I skadehändelse 2.1-4.2b används samma formler, men med olika värde på vissa av de ingående parametrarna. Således redovisas först de formler som används vid scenarierna, följt av de parametrar och resultat som gäller för respektive skadehändelse.

Eftersom utströmningen sker genom en lång kanal måste massflödet reduceras med en friktionsfaktor enligt:

$$\eta_{\lambda} = \frac{1}{\left(1 + 0,012 \frac{L}{D}\right)^{\frac{1}{3}}} \quad \text{ekv. 2.1}$$

L= längd hos rör/kanal [m]
D= diameter hos hål/rör/kanal [m]

Massflödet Q, väljs som det mindre av ekvationerna 2.2 och 2.3:

$$Q_1 = \eta_{\lambda} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \sqrt{\frac{2(P_T - P_{so})}{v_f} + \left(\frac{h_{fgo}}{v_{go} - v_f}\right)^2} \cdot \frac{1}{(c_{pl} \cdot T_o)} \quad \text{ekv. 2.2}$$

$$Q_1 = \eta_{\lambda} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \sqrt{\frac{2(P_T - P_a)}{v_f}} \quad \text{ekv. 2.3}$$

r = hålradi [m]
 η_{λ} = reduktionsfaktor för friktion
 P_T = tanktryck [Pa]
 P_{so} = mättnadstryck vid T_o [Pa]
 P_a = atmosfärstryck [Pa]
 h_{fgo} = ångbildningsvärme vid T_o [J/kg] ($3,9 \cdot 10^5$ J/kg för SO_2)
 v_f = specifik volym hos vätskefas [m^3/kg] ($6,85 \cdot 10^{-4}$ m^3/kg för SO_2)
 v_{go} = specifik volym hos mättad ånga [m^3/kg]
 v_{fgo} = ångbildningsvolumitet = $v_{go} - v_f$ [m^3/kg]
 c_{pl} = specifikt värme för vätskefas [J/(kg·K)] (1320 J/(kg·K) för SO_2)
 T_o = vätsketemperatur i behållare [K]

Vid beräkningar inom det temperaturintervall som är aktuellt för skadehändelsen (263-293K) visar det sig att ekvation 2.2 ger lägst massflöde.

Då både P_{so} och v_{go} beror av temperaturen måste ett samband tas fram. Inom aktuellt temperaturintervall råder ett i stort sett linjärt förhållande mellan mättnadstryck och temperatur enligt:

$$P_{so} = 7570T_o - 1,88 \cdot 10^6 \quad [Pa] \quad \text{ekv. 2.4}$$

Vidare ger ideala gaslagen följande samband:

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

eller

$$\frac{V}{m} = \frac{R \cdot T}{P \cdot M} \quad \text{där} \quad \frac{V}{m} = v$$

och speciellt då $T = T_o$ och $P = P_{so}$, blir $v = v_{go}$

uttrycket för v_{go} blir då:

$$v_{go} = \frac{8,314 \cdot T_o}{(7570T_o + 1,88 \cdot 10^6) \cdot 64,06} \cdot 10^3 \quad [m^3/kg] \quad \text{ekv. 2.5}$$

eller förenklat:

$$v_{go} = \frac{129,8 \cdot T_o}{(7570T_o + 1,88 \cdot 10^6)} \quad [m^3/kg] \quad \text{ekv. 2.6}$$

Efter insättning av P_{so} och v_{go} samt ekvation 2.1 får ekvation 2.2 följande utseende:

$$\dot{Q} = \left(1 + 0,012 \frac{L}{D}\right)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \sqrt{\frac{2(P_T - 7570T_o + 1,88 \cdot 10^6)}{6,85 \cdot 10^{-4}} + \left(\frac{3,9 \cdot 10^5}{\left(\frac{129,8T_o}{7570T_o - 1,88 \cdot 10^6}\right) - 6,85 \cdot 10^{-4}}\right)^2} \cdot \frac{1}{(1320 \cdot T_o)}$$

ekv. 2.7

Utsläppsavståndet x , kan bestämmas med hjälp av ekvationerna 1.5 och 1.7 från skadehändelse 1.1. För massflödet Q , används ekvation 2.2 och spridningsuttrycket blir:

$$x = \left(\frac{\eta_\lambda \cdot r^2 \sqrt{\frac{2(P_T - P_{so})}{v_f} + \left(\frac{h_{fgo}}{v_{go} - v_f}\right)^2} \cdot \frac{1}{(c_{pl} \cdot T_o)}}{C \cdot U \cdot (0,290a^2 + 0,133a)} \right)^{\left(\frac{1}{0,341a + 1,601}\right)} \quad \text{ekv. 2.8}$$

Om de kända värdena stoppas in i ekvation 2.8 får ekvationen följande utseende:

$$x = \left(\left(1 + 0,012 \frac{L}{2r} \right)^{\left(\frac{1}{3} \right)} \cdot \sqrt[3]{ \frac{2(P_T - 7570T_o + 1,88 \cdot 10^6)}{6,85 \cdot 10^{-4}} + \left(\frac{3,9 \cdot 10^5}{\left(\frac{129,8T_o}{7570T_o - 1,88 \cdot 10^6} \right) - 6,85 \cdot 10^{-4}} \right)^2 \cdot \frac{1}{(1320 \cdot T_o)} } \right)^{\left(\frac{1}{0,341a + 1,601} \right)}$$

ekv. 2.9

Skadehändelse 2.1, lossning

Litet utsläpp till följd av läckage från fläns, ventil, rör, slang eller slangkoppling i samband med lossning av järnvägsvagn. Hela utsläppet antas förångas direkt. Vid lossningen kopplas ena änden av lossningsslangen till ett två meter långt rör som sitter monterat lodrätt i tankvagnen och den andra änden till det fasta rörsystemet. Rörsystemet och lossningsslangen har båda en diameter på 50 mm. Utsläppshålets storlek antas variera mellan 0-10% av slang eller rörarean.

I tabell 4.6 redovisas konstanter och parametrar med typ av fördelning och värde.

Konstanter	
Tanktryck, P_T	10×10^5 Pa
Atmosfärstryck, P_a	1×10^5 Pa
Specifik volym hos vätskefas, v_f	$6,85 \times 10^{-4}$ m ³ /kg
Specifikt värme för vätskefas, c_{pl}	1320 J/(kg×K)
Ångbildningsvärme, h_{fg}	$3,9 \times 10^5$ J/kg
Koncentration, C_{kg/m^3}	$2,675 \times 10^{-4}$ kg/m ³

Fördelade parametrar	
Längd hos rör/kanal, L	Jämfördelad (2; 3,5) m
Hålradi, r	Triangelfördelad (0; 0,0079; 0,0079) m
Vätsketemperatur i behållare, T_o	Triangelfördelad (278; 283; 288) K
Vindhastighet, U	Triangelfördelad (0; 4; 15) m/s
Stabilitetsklassvariabel, a	Triangelfördelad (0,065; 0,128; 0,527)

Tabell 4.6 Konstanter och varierande parametrar.

Resultat för skadehändelse 2.1

Riskavståndet erhöles enligt följande:

Medelvärde: 341 meter

Minsta värde: 1 meter

Största värde: 6486 meter

Standard avvikelse: 311 meter

Skadehändelse 2.2

Större utsläpp till följd av slangbrott eller släppt slangkoppling i samband med lossning av järnvägsvagn. Hela utsläppet antas förångas direkt. Utsläppshålets storlek antas variera mellan 10-100% av slang- eller rörarean.

Samma förutsättningar för de ingående parametrarna som i skadehändelse 2.1 med skillnaden att hålradien r , antas vara jämfördelad med värdet (0,0079; 0,025)m.

Resultat för skadehändelse 2.2

Riskavståndet erhöles enligt följande:

Medelvärde: 1520 meter

Minsta värde: 111 meter

Största värde: 21890 meter

Standard avvikelse: 1364 meter

Skadehändelse 3.1, lagring

Mindre läckage från ventil eller fläns på- eller i nära anslutning till lagringstank. Hela utsläppet antas förångas direkt. Rördiametern är 40 mm där ventiler och flänsar finns monterade vid lagringstanken. Utsläppshålets storlek antas variera mellan 0-10% av rörarean.

De ingående parametrarnas typ av fördelning och dess värde framgår ur tabell 2.1. Skillnaden är att trycket i tanken P_T , istället är 7×10^5 Pa samt att hålradien r , antas vara triangelfördelad med värdet (0; 0,00632; 0,00632)m.

Resultat för skadehändelse 3.1

Riskavståndet erhöles enligt följande:

Medelvärde: 242 meter

Minsta värde: 1 meter

Största värde: 7412 meter

Standard avvikelse: 234 meter

Skadehändelse 3.2

Större läckage från ventil eller fläns på eller i nära anslutning till lagringstank. Hela utsläppet antas förångas direkt. Utsläppshålets storlek antas variera mellan 10-100% av rörarean.

Samma förutsättningar för de ingående parametrarna som i skadehändelse 3.1 med skillnaden att hålradien, r , antas vara jämfördelad med värdet (0,00632; 0,02)m.

Resultat för skadehändelse 3.2

Riskavståndet erhöles enligt följande:

Medelvärde: 1062 meter

Minsta värde: 112 meter

Största värde: 29030 meter

Standard avvikelse: 975 meter

Skadehändelse 4.1a-4.2.b, distribution

På företaget finns det fyra distributionsledningar för SO₂, tre stycken à femtio meter och en à fyra hundra meter. I de valda skadehändelserna avseende distribution delas därför dessa upp i fall, 4.1a och 4.1b samt 4.2a och 4.2b.

Skadehändelse 4.1a och 4.1b

Mindre läckage på distributionsledning med rördiametern 25 mm. Hela utsläppet antas förångas direkt. Utsläppshålets storlek antas variera mellan 0-10% av rörarean.

Samma förutsättningar för de ingående parametrarna som i Skadehändelse 3.1 med skillnaden att hålradien r , antas vara triangelfördelad med värdet (0; 0,00395; 0,00395)m. Dessutom för skadehändelse 4.1a antas längden hos rör/kanal L , vara jämfördelad med värdet (1,5; 50)m och vad gäller skadehändelse 4.1b antas längden hos rör/kanal L , vara jämfördelad med värdet (50; 400)m.

Resultat för skadehändelse 4.1a och 4.1b

Riskavståndet erhöles enligt följande 4.1a:
Medelvärde: 81 meter
Minsta värde: 0 meter
Största värde: 1530 meter
Standard avvikelse: 77 meter

Riskavståndet erhöles enligt följande 4.1b:
Medelvärde: 55 meter
Minsta värde: 0 meter
Största värde: 1732 meter
Standard avvikelse: 55 meter

Skadehändelse 4.2a och 4.2b

Större läckage på distributionsledning med rördiametern 25 mm. Hela utsläppet antas förångas direkt. Utsläppshålets storlek antas variera mellan 10-100% av rörarean.

Samma förutsättningar för de ingående parametrarna som i skadehändelse 4.1a och 4.1b med skillnaden att hålradien, r , antas vara jämfördelad med värdet (0,00395; 0,0125)m.

Resultat för skadehändelse 4.2a och 4.2b

Riskavståndet erhöles enligt följande 4.2a:
Medelvärde: 393 meter
Minsta värde: 30 meter
Största värde: 8980 meter
Standard avvikelse: 379 meter

Riskavståndet erhöles enligt följande 4.2b:
Medelvärde: 269 meter
Minsta värde: 20 meter
Största värde: 6440 meter
Standard avvikelse: 260 meter

BILAGA 5 Karta över Skutskär

Riskzonen delas in i åtta bitar efter väderstrecken. För varje bit uppskattas hur stor andel av arean som utgörs av de olika områdena för att bestämma en medelbefolkningstäthet för biten.

Områdesindelning:

- bostadsområde (B) = 1200 pers/km²
- glesbygd/skog inkl enstaka friluftsanläggningar (G) = 100 pers/km²
- vattenområde (V) = 0 pers/km²



Figur 5 Karta över Skutskär med omnejd.

Väder- streck	Områdesindelning % av area			Befolknings- täthet, medel ρ [pers/km ²]
	B	G	V	
N	-	-	100	0
NO	-	-	100	0
O	8	42	50	138
SO	50	50	-	650
S	7	93	-	177
SV	5	70	25	130
V	30	70	-	430
NV	5	15	80	75

Tabell 5 Befolkningstäthet.

BILAGA 6 Känslighetsanalys

Datorprogrammet @RISK kan genomföra en analys över simulerad data. I en sk känslighetsanalys identifieras fördelningar för de ingångsparametrar, som har betydelse för beräkning av utgångsparametern, dvs riskavståndet. Analysen bygger på en form av regressionsanalys. Resultatet presenteras i stapeldiagram, med den längsta stapeln överst i diagrammet, motsvarande den mest betydelsefulla ingångsparametern.

I stapeldiagrammen redovisas fördelade ingångsparametrar (variabler) och deras betydelse för beräkning av riskavståndet för respektive skadehändelse /15/.

Resultat

Känslighetsanalysen visar för alla skadehändelserna att det är fördelningar av hålradi, väderstabilitetsklass och vindhastighet som påverkar riskavståndet mest, medan övriga parametrar har en relativt försumbar påverkan.

Ingångsparametrar (variabler):

- a = väderstabilitetsklass
- r = hålradi [m]
- U = vindhastighet [m/s]
- C_d = kontraktions(flödes)koefficient
- T_m = markens temperatur [K]
- T_0 = lagringstemperatur [K]
- t_d = förångningstid [s]
- L = längd på slang eller rör [m]

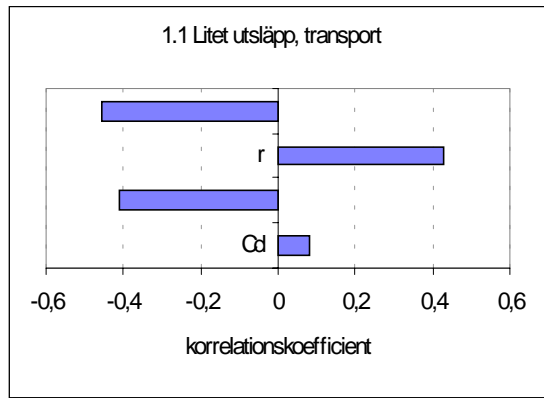


Diagram 6.1

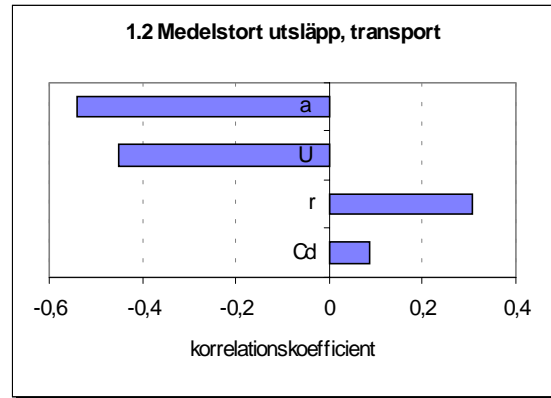


Diagram 6.2

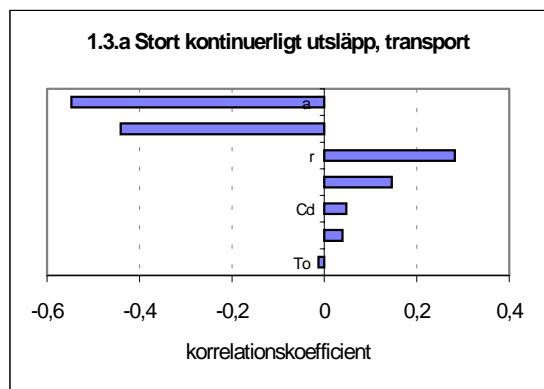


Diagram 6.3

Anmärkning

I skadehändelse 1.3.b Tankhaveri, transport beräknas riskavståndet i två steg (se bilaga 3 Konsekvensberäkningar), varav puffspridningen ger det längsta riskavståndet. Vid denna simulering varierar endast väderstabilitetsklassen, a, och således presenteras inget stapeldiagram för denna skadehändelse.

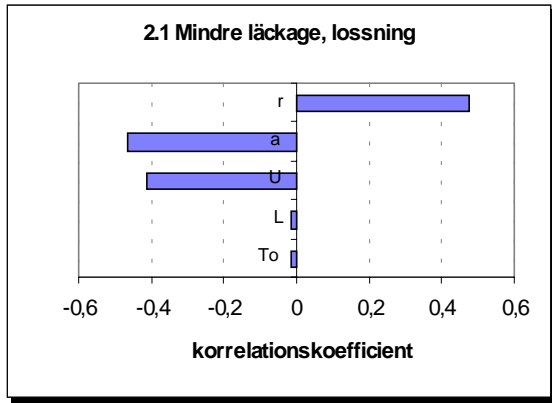


Diagram 6.4



Diagram 6.5

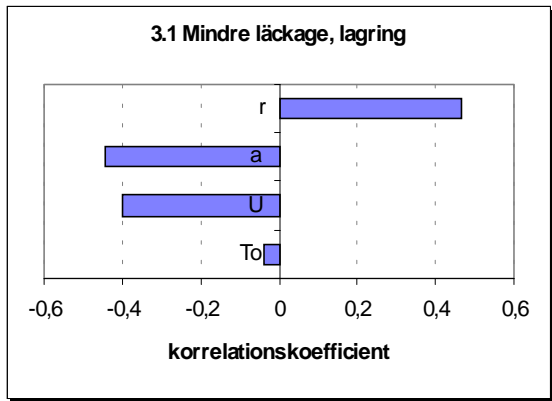


Diagram 6.6

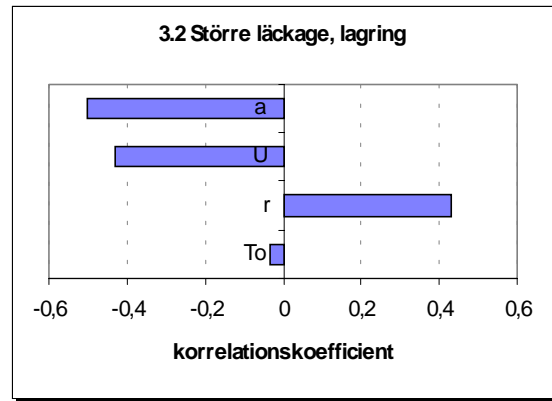


Diagram 6.7

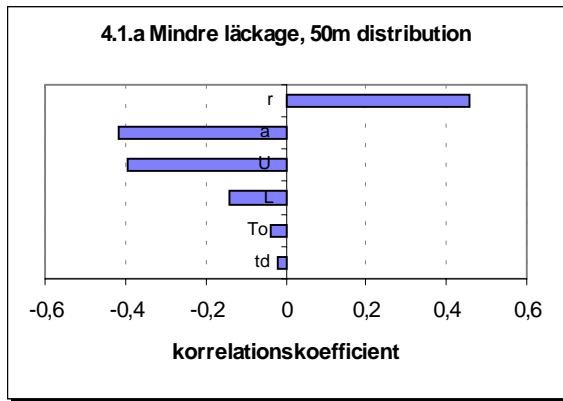


Diagram 6.8

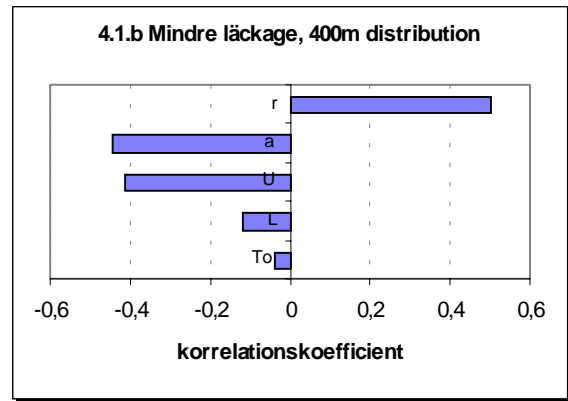


Diagram 6.9

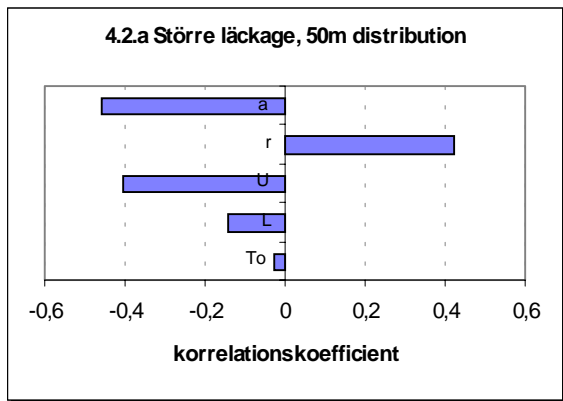


Diagram 6.10

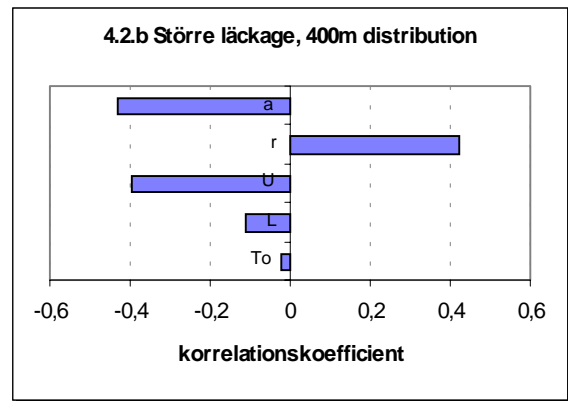


Diagram 6.11

BILAGA 7 Vindfördelning

BILAGA 8 Fakta SO₂, farligt gods kort 27

BILAGA 9 RESULTATTABELL

SKADEHÄNDELSE		Riskavstånd och standard- avvikelse (m)			Antal utsatta personer och standardavvikelse (st)			Frekvens för ut- släpp av SO ₂ (år ⁻¹)
		Medel	95%	St.avv	Medel	95%	St.avv	
JÄRNVÄGSTRANSPORT								
1.1	Litet utsläpp	335	850	300	4.5	17	4	$5.7 \cdot 10^{-7}$
1.2	Medelstort utsläpp	1750	4235	1460	121	414	101	$1.9 \cdot 10^{-7}$
1.3a	Stort kontinuerligt utsläpp	4750	11700	4065	912	3134	780	$1.45 \cdot 10^{-7}$
1.3b	Totalt tankhaveri	7510	12380	2665	1411	3384	500	$6.05 \cdot 10^{-9}$
LOSSNING								
2.1	Mindre läckage	340	880	315	5	18	4.5	$1.125 \cdot 10^{-3}$
2.2	Större läckage/ slangbrott	1530	3900	1360	96	349	85	$5.05 \cdot 10^{-5}$
LAGRING								
3.1	Mindre läckage i anslutning till tank	240	620	220	2.5	8.5	2	$2.2 \cdot 10^{-2}$
3.2	Större läckage i anslutning till tank	1050	2650	940	46	163	41	$1.9 \cdot 10^{-3}$
DISTRIBUTION								
4.1a	Mindre läckage på ledning, 50m	80	210	70	0.3	1	0.2	$2.5 \cdot 10^{-2}$
4.1b	Mindre läckage på ledning, 400m	50	130	45	0.1	0.4	0.1	$1.9 \cdot 10^{-2}$
4.2a	Större läckage/rörbrott på ledning, 50m	390	1000	355	6.5	22	5.8	$1.35 \cdot 10^{-3}$
4.2b	Större läckage rörbrott på ledning, 400m	250	640	225	2.5	9	2.2	$3.5 \cdot 10^{-4}$

Tabell 9.1 Resultat från frekvens- och konsekvensberäkningar.