

Regressionsuttryck för beräkning av skydds- område vid utsläpp av ammoniak

Ingmar Unosson

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5056, Lund 1999

Regressionsuttryck för beräkning av skyddsområdet vid utsläpp av ammoniak

A Response Surface for Calculating the Protective Distance for the Dispersion of Pressurised Ammonia

Ingmar Unosson

Lund 1999

Regressionsuttryck för beräkning av skyddsområdet vid utsläpp av ammoniak

Ingmar Unosson

Report 5056

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5056--SE

Number of pages: 101

Keywords

ammonia, vapor release, liquid release, protective distance, response surface, stabilityclass, probability distribution, uncertainty analysis, dangerous goods

Sökord

ammoniak, gasutsläpp, vätskeutsläpp, skyddsområde, regressionsuttryck, stabilitetsklass, sannolikhetsfördelning, osäkerhetsanalys, farligt gods

Abstract

The reports objective is to present a model for calculating the protective distance when ammonia disperse from a land based vehicle. The model is based on a response surface together with a user guide that makes it possible to use the response surface even when one or all of the variables in the response surface is unknown. The report is written in Swedish.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 1999.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

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

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

Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12

Förord

Detta arbete utgör huvuddelen i kursen Problembaserad Brandteknisk Riskhantering VBR 130 som är en obligatorisk kurs för årskurs 4 studerande på Brandingenjörsprogrammet, Lunds Tekniska Högskola. I kursen, dvs i detta projektarbete, skall studenten visa förmåga att tillämpa de kunskaper och färdigheter som förvärvats under utbildningen.

Rapporten är skriven för att stilla min egen nyfikenhet på regressionsuttryckens användbarhet. Det är min förhoppning att envar som har intresse av eller ett direkt behov av att kunna fastställa skyddsområde också skall finna rapportens innehåll givande. Det har varit min ambition att hålla språket så enkelt och lättläst som möjligt för att på så inte skrämja bort eventuella läsare. Jag hoppas att rapporten skall vara så lättläst att innehållet skall kunna bearbetas, kritiskt granskas och vidareutvecklas av envar som vill.

Jag vill särskilt tacka Professor Sven Erik Magnusson, Institutionen för Brandteknik, LTH för god handledning. Tack också till Berit Andersson, Institutionen för Brandteknik, LTH som har en förmåga att alltid kunna besvara irriterande småfrågor och som på ett förtjänstfullt sätt alltid ställer upp om man drabbas av problem.

Ett tack skall också riktas till Molly och John för deras förmåga att trycka på datorns avstängningsknapp. Deras förmåga har inneburit att textens formulering bearbetats inte bara en gång utan flera gånger.

Summary

The report develops a method for calculating the Protective Distance in case of a dispersion of pressurised ammonia from a land-based vehicle. The physical data and damage done by ammonia is presented as well as the theoretical background to response surface analysis and dispersion of a heavy gas. The theoretical background has given that the protective distance depends on seven major factors. These are:

- Limiting concentration: The concentration that is not to be exceeded outside the protective distance.
- Phase: The phase, vapour or liquid, which the ammonia has when it is released from the tank.
- Stability class: Atmospheric stability class, according to Pasquill (amongst others).
- Diameter of the hole.
- Wind velocity: The wind velocity on and around the scene of the accident.
- Surface roughness: The surrounding terrain's surface roughness.
- Temperature: The temperature of the ammonia in the tank.

The report shows that the four last factors can be variables in the response surface. The limiting concentration is set to the constant value of 50 PPM, that is the expression gives the distance to where the concentration is down to 50 PPM. Two response surfaces, one for vapor and one for liquefied ammonia release, had to be constructed while the phase could not be included in one single expression. The analysis gave the following response surfaces:

VAPOR RELEASE:
$$X = 6,6 \cdot 10^{-9} \cdot d^{1,1} \cdot u^{-0,56} \cdot z_0^{-0,08} \cdot (T+273)^{5,24}$$

LIQUEFIED RELEASE:
$$X = 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot d^{1,13} \cdot u^{-0,6} \cdot z_0^{-0,05} \cdot (T+273)^{4,7}$$

where d = diameter (m), u = wind velocity (m/s), z_0 = surface roughness (m), T = temperature (°C). The expressions are only valid when the stability class equals D. If the stability class does not equal D several diagram is presented that makes it possible to transform the distance given by the expressions to a new value for the protective distance for the current stability class

It is possible to use the expressions even though one or perhaps all of the variables is unknown. For each and every one of the variables in the expression, a probability distribution has been constructed. From these distributions it is possible to decide which values the variable is most likely to have. To be on the safe side the value of the 90%-percentile for the diameter of the hole and the temperature and the 10%-percentile for the wind velocity and the surface roughness are used. If none of the variables is known the report suggests a value to the protective distance. The values have been calculated using the computer program @Risk. The values are:

For vapor release:	both types of tanks	300m
For liquefied release:	lorry tank	3300m
	railroad tank	5600m

The report is written in Swedish.

Sammanfattning

Denna rapport behandlar en metod för bestämning av skyddsområde i samband med utsläpp av tryckkondenserad ammoniak från ett landbaserat transportfordon. Metoden bygger på att använda ett regressionsuttryck för att beräkna vilket avstånd som bör avsättas som skyddsavstånd. Regressionsuttrycket är användbart även då inte alla variabelvärden är kända genom att rapporten ger anvisningar för hur värdena skall väljas. En användarinstruktion har utarbetats för att hjälpa uttrycksanvändaren.

För att kunna ta fram regressionsuttrycket och användarinstruktionen har fysikaliska data samt skadeverkningar av ammoniak beskrivits. Dessutom presenteras en teoretisk bakgrund till regressionsanalys samt utsläpp och spridning av en tung gas. Rapportens redovisning ger att skyddsområdet i huvudsak beror av sju faktorer:

- Gränssättande koncentration: Den koncentration som ej får överstigas utanför skyddsområdet.
- Utsläppsfas: Huruvida utsläppet sker i gas- eller vätskefasen.
- Håldiametern: Utsläppshålets diameter.
- Vindhastigheten: Den rådande vindhastigheten på och kring utsläppsplatsen.
- Ytråheten: Markens utformning kring utsläppsplatsen.
- Temperaturen: Tankinnehållets temperatur.
- Stabilitetsklass: Den stabilitetsklass som de rådande väderförhållandena ger upphov till.

Andra faktorer som påverkar skyddsområdets utsträckning har endast marginell betydelse eller anses ej kunna ingå i uttrycket av skälet att uttrycket skall vara lätt att använda. Av de redovisade faktorerna ingår håldiametern, d , vindhastigheten, u , ytråheten, z_0 , samt temperaturen, T , i uttrycket. Den gränssättande koncentrationen har satts till 50 PPM efter särskild utredning om riskerna med ammoniak. Hänsyn till om utsläppet sker i gas- eller vätskefasen görs genom att två olika uttryck skapats, ett för gasfasutsläpp och ett för vätskefasutsläpp. Stabilitetsklassen ingår ej i uttrycket eftersom ingen enskild variabel kan beskriva dessa. Modifiering avseende stabilitetsklass görs istället genom att ytterligare fem regressionsuttryck för vardera gasfasutsläpp respektive vätskefasutsläpp skapats.

Regressionsanalysen gav följande uttryck för beräkning av skyddsområdets utsträckning i meter:

$$\text{GASFASUTSLÄPP:} \quad X = 6,6 \cdot 10^{-9} \cdot d^{1,1} \cdot u^{-0,56} \cdot z_0^{-0,08} \cdot (T+273)^{5,24}$$

$$\text{VÄTSKEFASUTSLÄPP:} \quad X = 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot d^{1,13} \cdot u^{-0,6} \cdot z_0^{-0,05} \cdot (T+273)^{4,7}$$

För respektive variabel har en sannolikhetsfördelning skapats. Denna fördelning ger användaren troliga variabelvärdena som kan användas om värden saknas. Fördelningarna har också använts för att beräkna skyddsområdet om samtliga variabler skulle vara okända. Det skyddsområde som därvid bör avsättas har bestämts till:

För gasfasutsläpp:	både lastbil och järnvägsvagn	300m
För vätskefasutsläpp:	lastbil	3300m
	järnvägsvagn	5600m

1	INLEDNING	6
1.1	BAKGRUND	6
1.2	SYFTE OCH MÅL	7
1.3	METOD	7
1.4	AVGRÄNSNINGAR	8
2	AMMONIAK	9
2.1	FYSIKALISKA DATA	9
2.2	SKADEVERKAN	10
2.2.1	Människa	10
2.2.2	Miljö	10
3	TEORETISK BAKGRUND	12
3.1	REGRESSIONSANALYS	12
3.1.1	Allmänt	12
3.1.2	Sambandets styrka	13
3.2	SKYDDSOMRÅDE	14
3.2.1	Koncentration	14
3.2.2	Massflöde	15
3.2.3	Spridningsbetingelser	19
3.3	SLUTSATS	24
3.3.1	Regressionsuttryck	24
3.3.2	Variabelvärden	25
4	SANNOLIKHETSFÖRDELNINGAR FÖR RESPEKTIVE VARIABEL	27
4.1	HÅLDIAMETER	27
4.2	VINDHASTIGHET	28
4.3	YTRÄHET	30
4.4	TANKINNEHÄLLETS TEMPERATUR	31
5	GRUNDMODELL	33
5.1	MASSFLÖDESMODELL	33
5.1.1	Allmänt	33
5.1.2	Indata	34
5.2	SPRIDNINGSMODELL	34
5.2.1	Allmänt	34
5.2.2	Omgivningsfaktorer	35
5.2.3	Utsläppsfaktorer	36
5.2.4	Sammanfattning av indata till spridningsmodell	37
6	REGRESSIONSANALYS	39
6.1	ALLMÄNT	39
6.2	REGRESSIONSUTTRYCK FÖR GASFASUTSLÄPP	39
6.3	REGRESSIONSUTTRYCK FÖR VÄTSKEFASUTSLÄPP	40
6.4	BEGRÄNSNINGAR	41
6.5	MODIFIERING AV REGRESSIONSUTTRYCKET	41
6.5.1	Modifiering avseende stabilitetsklass	41
6.5.2	Modifiering avseende referenshöjd	42
7	OSÄKERHETSANALYS	43
7.1	ALLMÄNT	43
7.2	TEORI	43
7.2.1	Iterationer	44
7.2.2	Sampling	44
7.2.3	Konvergens	44
7.3	KONFIDENSIVÅ	45
7.4	UTSLÄPP FRÅN LASTBILSTANK	45

7.5	UTSLÄPP FRÅN JÄRNVÄGSVAGN	47
8	SLUTDISKUSSION	49
	KÄLLFÖRTECKNING.....	51
	APPENDIX A: GRÄNSSÄTTANDE KONCENTRATION	52
	APPENDIX B: STABILITETSKLASS OCH EFFEKTIV UTSLÄPPSHÖJD.....	54
	APPENDIX C: SANNOLIKHETSFÖRDELNINGAR FÖR RESPEKTIVE VARIABEL	59
	APPENDIX D: OMRÄKNING AV AVSTÅNDET FÖR RESPEKTIVE STABILITETSKLASS	76
	APPENDIX E: OMRÄKNING AV REFERENSHÖJDEN FÖR ANVÄNDNING I REGRESSIONSUTTRYCKET	82
	APPENDIX F: OSÄKERHETSANALYS.....	84
	APPENDIX G: ANVÄNDARINSTRUKTION FÖR UTSLÄPP AV AMMONIAK	87

1 Inledning

Detta projektarbete behandlar en metod för bestämning av skyddsområde i samband med utsläpp av tryckkondenserad ammoniak från ett landbaserat transportfordon (lastbil eller järnvägsvagn).

1.1 Bakgrund

Ett skyddsområde för utsläpp av ett gasformigt ämne beräknas idag på i huvudsak två sätt. Ett av sätten är att använda datorprogram såsom t.ex. CHEMS-PLUS eller Gasol för att simulera utsläpp och spridning. Ett annat sätt är att använda analytiska uttryck. En mängd uttryck finns för såväl utströmningsberäkningar som spridningsberäkningar.

Att beräkna skyddsområden för fasta anläggningar medför inga större problem. Anläggningen kan inspekteras och alla ventiler, flänsar, rör etc som kan tänkas börja läcka kan registreras och bedömas. Beräkningarna kan utföras i lugn och ro hemma på kontoret t.ex. hos räddningstjänsten. Olika scenarion kan simuleras och sannolikheten för ett eventuellt utsläpp kan uppskattas. Slutligen fås en riskprofil eller ett antal riskkonturer för anläggningen. Ur detta underlag kan sedan en bedömning göras för dels vilka preventiva åtgärder som bör vidtas, dvs vilket skyddsområde som bör gälla för anläggningen, dels för hur agerandet bör vara vid ett eventuellt utsläpp, t.ex. om ett större område bör avsättas som skyddsområde.

Vid beaktande av det fall då en farligt gods transport genom en olyckshändelse (bilolycka, urspårning m.m.) börjar läcka blir situationen en helt annan. Oftast saknas någon av de indata som måste till för att kunna använda datorprogrammen eller de analytiska uttrycken. Saknas indata måste istället en uppskattning (gissning) göras. Det skyddsområde som därvid avsätts blir beroende av hur väl räddningstjänstens insatsledare gissar. Därtill kommer komplikationen att datorprogram inte alltid är tillgängliga och att de analytiska uttrycken ofta är svåränvända.

Det borde därmed finnas ett behov av ett analytiskt uttryck som är lätt att använda, ger bra säkerhet och som är användbart även om alla fakta (indata) inte är kända från början. Om ett sådant uttryck finns kan t.ex. en räddningsledare på väg ut till en olycksplats bestämma ett skyddsområde med de fakta som då finns. Efterhand som nya uppgifter inkommer kan områdets utsträckning ändras. Det väsentliga är då att uttrycket är så uppbyggt att det ger värden på "säkra sidan" så länge inte alla fakta om utsläppet finns.

1.2 Syfte och mål

Rapportens huvudsyfte är att skapa ett enkelt analytiskt regressionsuttryck för bestämning av skyddsområdet vid ett akut utsläpp av tryckkondenserad ammoniak. Inriktningen skall vara att skapa ett analytiskt uttryck på formen:

$$X = k \cdot d^a \cdot U^b \cdot T^c \cdot \dots$$

där X = skyddsområdets utsträckning
 d, U, T = är olika variabler som påverkar X
 k, a, b, c = konstanter

Uttrycket måste ha **hög säkerhet, vara lätthanterligt samt vara användbart** i de flesta tänkbara situationer. Uttrycket skall också vara användbart även om någon variabel skulle vara okänd. Med hög säkerhet avses att användaren skall känna sig säker på att uttrycket ger sannolika värden på skyddsområdets utsträckning.

Följande huvudmål måste uppfyllas för att nå syftet:

- Den modell som ligger till grund för regressionsanalysen måste ha en bra överensstämmelse med verkligheten.
- Regressionsuttrycket kan av olika skäl troligen ej innehålla alla de variabler som krävs för beräkning av ett skyddsområde. De indata som därför ej kan varieras (d.v.s. måste hållas konstanta trots att de är variabler) måste identifieras och värderas. Ett beslut måste tas om huruvida de skall tillåtas vara konstanta eller om mer än ett uttryck måste skapas.
- En utförlig redovisning av vilka avgränsningar uttrycket (uttrycken) har i sin slutliga version måste göras. Detta gäller begränsningar i t.ex. variabelintervall, utsläppsgeometri, spridningsbetingelser m.m.
- Uttrycket skall kunna användas enbart med hjälp av miniräknare och användarinstruktion.
- En användarinstruktion måste bifogas uttrycket för att möjliggöra användning även om någon av faktorerna skulle vara okända. Om inga faktorer skulle vara kända skall instruktionen ge svar på vilket skyddsområde som är lämpligt att avsätta. Om en eller flera, dock ej alla, är okända måste instruktionen ge svar på vilket värde på den (eller de) okända variablerna som skall användas för att få ett ”säkert” skyddsområde. Detta medför att ”säkert skyddsområde” måste definieras samt att variablerna i uttrycket tilldelas en fördelning så att en osäkerhetsanalys kan utföras.

Det är inte omöjligt att kombinationen hög säkerhet, enkelhet, användbarhet, visar sig vara oförenliga. Denna situation måste då lösas genom att flera uttryck för bestämning av skyddsområdet för utsläpp av ammoniak skapas.

1.3 Metod

De huvudsakliga metoderna som används i rapporten är:

- Litteraturstudier
- Ingenjörsmässiga beräkningar på dator och för hand.
- Simuleringar i datorprogrampaketet DecisionTools (osäkerhetssimulering m.m.).

Arbetet kommer i princip att följa nedanstående arbetsgång:

- Inledningsvis ges en beskrivning av ammoniak. Vissa fysikaliska data samt skadeverkningar på människa och miljö redovisas.
- Efter det redovisas en teoretisk bakgrund till regressionsanalys och spridning av ett utsläpp. Vad regressionsanalys är och hur den utförs beskrivs. De parametrar som påverkar spridningsförloppet beskrivs, vilken och hur stor påverkan de har. En värdering utförs för att bestämma huruvida flera uttryck måste arbetas fram.
- Därefter fastställs vilka variabelintervall och variabelvärden som skall användas. Variablerna tilldelas redan här de sannolikhetsfördelningar som skall användas i osäkerhetsanalysen. Fördelningarna utgör underlag till vilka variabelvärden som skall väljas.
- Efter det redovisas den grundmodell som skall ligga till grund för regressionsanalysen. Modellen och eventuella begränsningar beskrivs. Vid beskrivningen av grundmodellens indata redovisas vilka av dessa som skall tillåtas variera och vilka som skall vara konstanta, i enlighet med den tidigare redovisningen av den teoretiska bakgrunden.
- Därefter utförs regressionsanalysen(-erna) och regressionsuttrycket (-en) tas fram. De begränsningar som införts identifieras och värderas.
- Slutligen utförs de osäkerhetsanalyser som ligger till grund för användarinstruktionen.

1.4 Avgränsningar

Rapporten inriktar sig mot ett akut utsläpp från tankbil eller järnvägsvagn. Alla indata gäller således för utsläpp från den typ av behållare som används för landtransporter. För att täcka in alla de platser där olyckor kan inträffa kommer detta innebära att antaganden och avgränsningar måste göras vad gäller t.ex. olika vindfördelningar för olika delar av landet, landskapets utformning kring utsläppskällan o.s.v. Detta medför att det eller de uttryck som arbetas fram för skyddsområdets utsträckning endast bör användas för beräkningar av utsläpp från denna typ av landtransporter.

Arbetet omfattar endast framtagning av ett ämnesspecifikt uttryck. Att ta fram ett ämnesoberoende uttryck med hög säkerhet och användbarhet bedöms inte kunna ske.

Vad gäller det ämnesspecifika uttrycket påbörjas dock arbetet förutsättningslöst. Skulle det under arbetets gång visa sig att vissa variabler måste hållas konstanta, trots att de i verkligheten ej är det, måste detta värderas utifrån en avvägning mellan enkelhet och säkerhet. Detta medför att avgränsningar kan uppstå under arbetets gång.

2 Ammoniak

I Sverige förbrukas årligen 310 000 ton ammoniak (SCB hemsida [1]). Huvuddelen av denna förbrukningen går till framställning av olika gödningsmedel. Ammoniak utgör huvudbeståndsdelen i de flesta gödningsmedel till jordbruket bl.a. ammoniumnitrat, -sulfat och -fosfat samt urea. Andra användningsområden för ammoniak är som köldmedia till kylmaskiner, framställning av olika typer av sprängmedel samt blekmedel.

2.1 Fysikaliska data

Vid normalt tryck och temperatur är ammoniak en färglös gas. Kokpunkten vid atmosfärstryck 101,325 kPa är -33°C . Detta medför att ammoniak transporteras antingen som tryckkondenserad vätska eller nedkyld till under kokpunkten. Det normala för landbaserade transporter är att den transporteras som en tryckkondenserad vätska. Detta innebär att ammoniakgasen har komprimerats till vätska, därefter överförs vätskan till transportbehållaren. Ett jämviktsläge kommer att inställa sig så att trycket i behållaren blir (ammoniak)vätskans ångtryck (trycket i den gas som ligger ovanför vätskeytan) vid rådande utomhustemperatur. I tabell 2.1 redovisas en del av ammoniakens fysikaliska data.

Ammoniak är brännbart om koncentrationen i luft är mellan 15,8 och 25,7 volym-% inblandning. För antändning krävs dock att antändningsenergin är relativt stor. Denna kombination, snävt brännbarhetsområde och stor antändningsenergi, medför att ammoniak har ansetts som obrännbar men den är brännbar och det har inträffat fall då ammoniak har brunnit. Bennet et.al. [2] s10-35.

Ammoniak bildar explosiva blandningar om det kommer i kontakt med kvicksilver, halogener (fluor, klor, brom osv) och hypokloriter (föreningar med jonen ClO^-). Ammoniak kan också explodera omedelbart om det kommer i kontakt med jod eller syror. Ammoniak verkar korroderande på koppar och zink samt legeringar där dessa ämnen ingår (t.ex. brons) Bennet et.al. [2] s10-36. Räddningsverkets farligt gods blad [3] anger att vätgas kan bildas vid kontakt med aluminium eller zink.

Kemisk beteckning	NH_3
Molmassa	17 g/mol
Kokpunkt (101,3 kPa)	-33°C
Ångtryck (20°C)	857 kPa
Brännbarhetsområde (i luft)	15,8 - 25,7 % (volym)
Densitet vätska	617 kg/m^3
Densitet gas (20°C)	$0,771 \text{ kg/m}^3$
Ångbildningsvärme	1370,7 kJ/kg
Specifik värmekapacitet	2,56 kJ/kgK

Tabell 2.1: Fysikaliska data för ammoniak

Ammoniak är lösligt i vatten. Vid kontakt med vatten utvecklas värme. Dessa egenskaper innebär att ammoniak i vätskefas snabbt förångas vid kontakt med vatten. Det är således viktigt att tillse att ammoniak i vätskefas inte kommer i kontakt med vatten för att på så sätt för-

hindra snabb förångning och därmed spridning av ammoniak. Egenskaperna innebär också att ammoniak som redan är i gasfas kan spädas ur och ”tvättas ner”, ammoniak löser sig i vattnet och trillar till marken. Resonemanget visar vikten av att hålla isär egenskapernas innebörd så att vattenbejuttning enbart sker av den gasformiga ammoniak och inte den vätskeformiga.

2.2 Skadeverkan

2.2.1 Människa

Skadeverkan på människan är beroende av koncentration och exponeringstid. Långvarig exponering med låg koncentration kan således vara lika skadlig som kortvarig exponering vid hög koncentration.

Skador på människan inträffar redan vid relativt låga koncentrationer av ammoniak. Påverkan kan ske på hud, ögon, slemhinnor, övre luftvägar och lungorna. Vid inandning av gasen irriteras luftvägarna. Höga halter inandad ammoniak kan ge svullnad och kramp i struphuvudet, chock, medvetlöshet och lungödem. Hudkontakt med gasformig ammoniak ger sveda och kontakt med vätska ger frät- och köldskador. Farligt gods blad [3].

Redan vid koncentrationer på mellan 1 och 50 PPM är lukten förnimbar. Vid ungefär 100 PPM börjar lätta irritationer av näsa, hals och ögon uppkomma, vid 200 PPM irritation på slemhinnor. Då koncentrationen når 400 PPM uppkommer omedelbara irritationer på luftvägarna. Livshotande skador uppkommer då människan utsätts för koncentrationer på mellan 5000 och 10000 PPM. I tabell 2.2 ges några av de gränser som anges i litteraturen.

Koncentration i PPM (parts per million)	Skadeverkan
5-50	förnibar lukt, kan verka irriterande på huden
50	takgränsvärde (TGV) både i Sverige och USA, dvs den medelkoncentration som får förekomma på en arbetsplats under högst 15 minuter (exponeringstid)
100	lätt irritation på övre luftvägar
200	irritation av slemhinnor
400	omedelbara irritationer på andningsvägarna, (används som maxgräns för 1 timmes exponering i U.S Navy's ubåtar)
500-1000	kraftiga irritationer av andningsvägarna
2400	dödlig vid 30 minuters exponering
5000-10000	dödlig koncentration vid kort exponering

Tabell 2.2: Skadeverkan vid olika koncentrationer av ammoniak. Bennet et.al. [2] s10-39 samt Farligt gods blad [3].

2.2.2 Miljö

Ammoniak är ett basiskt ämne varför det höjer pH-värdet i omgivningen om det skulle läcka ut. Det fungerar också som gödningsmedel, varför en stark övergödning av området kring ut-

släppskällan kan inträffa. I vattendrag kan detta i sin tur leda till syrebrist. (Farligt gods blad [3]).

Ammoniak är klassat som miljöfarligt och giftigt. Det är t.o.m extremt giftigt för vattenlevande djur. Skulle ammoniak läcka ut i en vattentäkt oxiderar den till nitrat som redan i låga halter är skadligt för spädbarn (Farligt gods blad [3]). Då ammoniak är lösligt i vatten är det således mycket viktigt att tillse att ammoniak inte tillåts läcka till vattendrag eller grundvattentäkter.

3 Teoretisk bakgrund

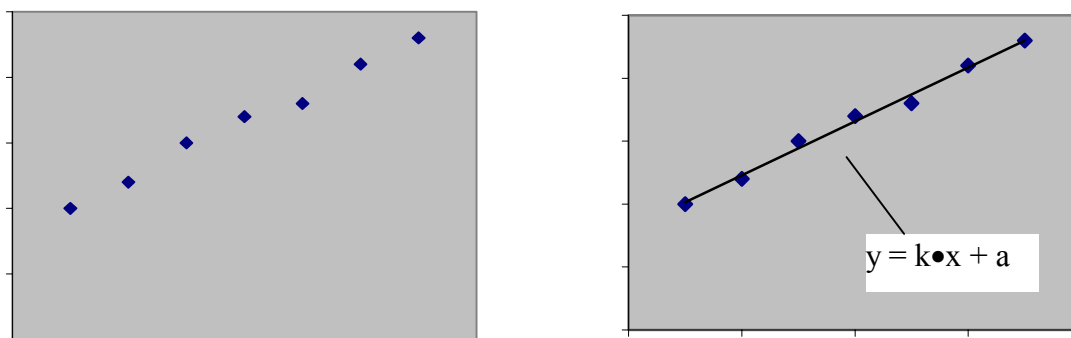
Detta kapitel behandlar en teoretiska bakgrunden till regressionsanalys och bestämning av ett skyddsområde. Upplägget är dock sådant att redovisningen efterhand ger de variabler som skall ingå i uttrycket (eller uttrycken) som skall regressionsanalyseras.

3.1 Regressionsanalys

Den teoretiska bakgrunden angående regressionsanalys är hämtad från Andersson et.al. [4].

3.1.1 Allmänt

Regressionsanalys kan enklast beskrivas som en metod att utifrån ett undersökt material skapa ett uttryck som anger sambandet mellan materialets ingående variabler. Det undersökta materialet kan vara t.ex. energiförbrukningens variation med utetemperaturen. Vid en linjär regressionsanalys av ett sådant material görs ett försök att anpassa en linjär ekvation till det undersökta materialet. Oftast består materialet av statistiska undersökningar där ett antal utetemperaturer och därtill hörande energiförbrukning har mätts upp. Dessa värden plottas mot varandra i ett diagram där y-axeln utgörs av den så kallade beroende variabeln (i detta fall energiförbrukningen) och x-axeln den förklarande variabeln (i detta fall utetemperaturen) som således ”förklarar” variationen i den beroende. Till de plottade punkterna anpassas nu en linje där avståndet till linjen från varje mätpunkt skall minimeras. För att kunna minimera avståndet används minsta kvadratmetoden. Då en linje ritats där avstånden är minimerade kan linjens ekvation bestämmas. Den framtagna ekvationen, regressionsuttrycket, kan nu sägas beskriva sambandet mellan t.ex. energiförbrukningen och utetemperaturen (se fig. 3.1). Den beskrivna linjära regressionsanalysen kan göras för hand genom att mäta i diagrammet men numera utförs denna metod enkelt genom användandet av dator. Enkla program för linjär regressionsanalys finns t.ex. i programpaketet Microsoft Office i Excel-programmet.



Figur 3.1: Exempel på anpassning av en linje och därmed ett regressionsuttryck till ett datamaterial.

Naturligtvis är inte alla samband så enkla som att en variabel beror av endast en annan. Den beroende variabeln är oftast beroende av flera variabler. Då måste en multipel (i motsats till enkel) regressionsanalys utföras. Det är också i många fall så att sambandet inte heller är linjärt utan variablerna kan ha t.ex. exponentiella eller polynoma samband.

För spridningen av en gas kan variationen i avståndet inte förklaras av någon enstaka variabel. Sambandet mellan de ingående variablerna är ej heller linjärt. Erfarenhet (t.ex. simuleringar i datorprogrammet CHEMS-PLUS) visar att sambandet är mer av typen elasticitetssamband, d.v.s. att avståndet till en given koncentration beror av t.ex. hålstorleken upphöjd i en faktor. Generellt kan denna typ av samband skrivas:

$$y = k \cdot x_1^a \cdot x_2^b \cdot \dots$$

Detta uttryck har dock en stor fördel, den kan överföras till att bli linjär genom att logaritmera vänster- och högerledet i ekvationen varvid sambandet övergår till att bli linjärt:

$$\log(y) = \log(k) + a \cdot \log(x_1) + b \cdot \log(x_2) \dots$$

Genom denna transformering kan nu regressionsanalysen utföras enligt samma princip som en linjär regression.

3.1.2 Sambandets styrka

Det regressionsuttryck som har analyserats fram bör givetvis spegla det analyserade materialet. För att kontrollera detta kan determinationskoefficienten, R^2 , bestämmas (för enkel linjär regression motsvaras denna faktor av den mer välbekanta korrelationskoefficienten). Koefficientens värde skall ligga så nära 1 som möjligt ($R=1$ motsv. perfekt linjärt samband). I datorprogram bestäms denna koefficient i samband med analysen.

Koefficienten är ett mått på förklaringsgraden, d.v.s. hur stor del av förändringen i y förklaras av x -variablerna. Ju fler variabler som tas med i uttrycket desto högre förklaringsgrad erhålls normalt. Det är dock viktigt att ta hänsyn till om variablerna är relevanta eftersom R^2 har en tendens att öka oavsett om variabeln är relevant för beräkningen av y eller inte.

För att bestämma om b i uttrycket $y = bx + c$ (eller $\ln y = b \ln x + \ln c$) är skilt från 0, d.v.s. att b inte är slumpmässig utan att en signifikant ändring i x medför en signifikant ändring av y , kan två olika metoder användas. Har regressionsuttrycket tagits fram med hjälp av ett stort antal observationer (mer än 30, Andersson et.al. [4] s 46) anses fördelningen för koefficienten b vara normalfördelad. Detta innebär att $b \neq 0$ om följande samband råder:

$$0 < | b \pm 1,96s_b |$$

där s_b = standardavvikelsen för koefficienten b

Om koefficienten uppfyller kravet är $b \neq 0$ med 95 % säkerhet.

Skulle antalet observationer vara litet kan istället en jämförelse göras med t -fördelningen (istället för mot normalfördelningen). t -kvoten beräknas med hjälp av formeln:

$$t = b \cdot \sqrt{n} / s_b \quad \text{Andersson et.al. [4] s 49}$$

där b = koefficienten
 s_b = standardavvikelsen för koefficienten b
 n = antal observationer

Det framräknade värdet jämförs med t-fördelningens värde vid 95% nivån vid det antal frihetsgrader (ges av datorprogrammen vid regressionsanalys) som är aktuellt. I denna rapport kommer antalet observationer att vara stort varför ingen ytterligare beskrivning av t-kvoten görs. Den som är mer intresserad av t-kvot, frihetsgrader m.m. hänvisas till Andersson et.al. [4].

3.2 Skyddsområde

I räddningstjänstens operativa verksamhet kan olika ”typer” av skyddsområden förekomma. Vid en räddningstjänstinsats mot ett kemikalieutsläpp förekommer oftast två olika så kallade skyddsområden, ett inre och ett yttre. Det yttre området syftar till att skydda allmänheten samt att ge räddningstjänsten utrymme att fullgöra sin uppgift. Inom det inre området får endast personal iförda beordrad skyddsutrustning vistas. Utanför området (mellan inre och yttre) skall således räddningstjänstpersonal, utan särskild skyddsutrustning, kunna vistas utan att erhålla några skador från kemikalien.

Vid en olycka med ammoniak kan det inre skyddsområdet få en mycket stor utbredning. Det kan också tänkas att allmänheten finns inom det område som borde avsättas som inre skyddsområde. **Det som i denna rapport benämns skyddsområde är det område där personer utan skyddsutrustning inte bör vistas.** Detta skyddsområde överensstämmer således med definitionen på räddningstjänstens inre skyddsområde. Det är dock inte liktydigt med att alla andra personer inom området måste utrymmas. Andra lösningar såsom t.ex. så kallad ”inrymning” (personer upplyses via t.ex. Viktigt Meddelande till Allmänheten, VMA, att stanna inomhus med ventilationen avstängd) kan ersätta evakueringen i enskilda fall.

Ett skyddsområde kan sägas bero av tre huvudsakliga faktorer: gränssättande koncentration, massflöde och spridningsbetingelser. För att kunna ange ett skyddsområde behöver en gränssättande koncentration bestämmas. Denna koncentration skall inte överstigas utanför skyddsområdet enligt resonemanget ovan. Den andra faktorn är hur stort massflödet (kg/s) är från den läckande tanken. Den tredje är vilka spridningsbetingelser som råder vid utsläppet. Exempel på spridningsbetingelser är gasens egenskaper, vindhastighet, omgivande terräng etc. Nedan kommer de faktorer och variabler som styr de ovan nämnda betingelserna och som har betydelse för ett utsläpp av ammoniak, att redovisas och beskrivas.

3.2.1 Koncentration

För att kunna bestämma ett skyddsområde måste en gränssättande koncentration bestämmas. I de fall en olycka inte redan har inträffat t.ex. då en riskanalys på en anläggning utförs, brukar det så kallade LC-50 värdet användas. LC-50 (Lethal Concentration 50%) är ett experimentellt framtaget värde som anger den koncentration som hos den exponerade populationen orsakar 50 % dödlighet. Fördelarna med att använda LC-50 är flera. En är att det är väl inarbetat och att det därmed går att jämföra olika anläggningar med varandra. En annan är att det finns sätt att överföra de experimentellt framtagna värdena, till värden anpassade till människan, sk. Probit-värden. Nackdelarna är att det är ett relativt högt värde. Det är således inte användbart för att ange gränssättande koncentrationer för redan inträffade olyckor.

Då en olycka redan inträffat måste den gränssättande koncentrationen sättas lika med en koncentration som av allmänheten uppfattas som acceptabel. I kapitlet ovan angavs t.ex. att en koncentration på 2400 PPM är dödlig efter 30 minuters exponering. Att ange detta som det

gränssättande värdet är inte acceptabelt. Den utsatta populationen skall inte behöva utsättas för en så ”hög risk”. På samma sätt är det inte heller acceptabelt att sätta den gränssättande koncentrationen till 5 PPM (förläsningsgräns). Detta skulle innebära att skyddsområdet blir mycket stort och därmed skapa stora problem inför en eventuell evakuering. Koncentrationen måste därför bestämmas genom en avvägning mellan vad som är rimligt att hantera och vad som är acceptabla skador på den utsatta populationen. Dessutom måste räddningstjänstens personal ha möjlighet att kunna arbeta utan skyddsutrustning utanför ett skyddsområde under en längre tid utan att erhålla skador.

Det finns idag inte några bestämda regler för hur den gränssättande koncentrationen bör bestämmas. Den vägledning som kan användas för att komma fram till en lämplig koncentration är dock att titta på gränsvärden från andra områden. Arbetarskyddsstyrelsen (ASS) har i sina föreskrifter angivit vilka gränsvärden som bör gälla på en arbetsplats. I tabell 2.2 anges 50 PPM vara ett så kallat takgränsvärde (TGV), dvs den medelkoncentration som en arbetare får exponeras för under 15 minuter. Med tanke på att ASS föreskrifter även gäller för räddningstjänstens personal (med undantag för livräddning) bör således takgränsvärdet vara en naturlig gränssättande koncentration.

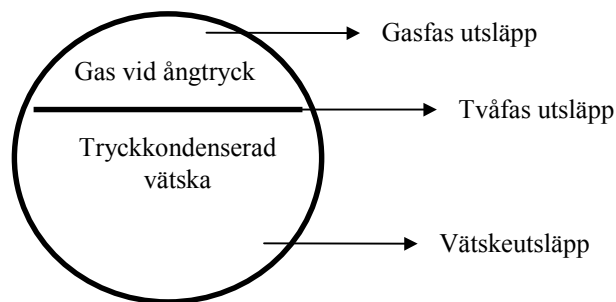
För att ytterligare påvisa att 50 PPM kan vara en lämplig gränssättande koncentration kan de så kallade Probit-funktionerna användas (Fischer et.al. [7] kap 8). Genom att beräkna Probitvärdet för olika exponeringstider med en koncentration av 50 PPM kan skadefallet uppskattas. Beräkningar i appendix A visar att en population som exponeras för en koncentration på max 50 PPM klarar sig från allvarigare besvär i upp till 2 timmar.

De skador som kan uppkomma vid koncentrationer under 50 PPM är främst hudirritationer (se tab. 2.2). Under förutsättning att räddningstjänstens insatsledningen informerar allmänheten om att hudirritationer kan uppstå utanför skyddsområdet bör denna skadetyper kunna accepteras av allmänheten.

Med stöd av ovanstående anses den gränssättande koncentrationen kunna väljas till 50 PPM. Den valda koncentrationen kommer att användas som en konstant vid framtagningen av regressionsuttrycket(-en). Detta medför således att en begränsning införs: **Uttrycket är endast giltigt för den gränssättande koncentrationen 50 PPM.**

3.2.2 Massflöde

Massflödet beror av ett antal variabler. Innan dessa bestäms måste dock typen av utsläpp bestämmas. Tre typer kan urskiljas: gasfasutsläpp, tvåfasutsläpp samt vätskeutsläpp (se fig. 3.1). Förutom dessa huvudtyper kan ett utsläpp delas upp i flera varianter genom att betrakta vilken geometri utsläppet kommer ifrån, t.ex. kort eller lång kanal, kanal med förträngning osv. Olika variabler styr de olika utsläppssituationerna. Generellt kan sägas att om hålet är lika stort kommer största massflödet från vätskeutsläpp och minst från gasutsläpp. På grund av friktionsförluster kan också slutsatsen dras att massflödet är störst från en kort kanal jämfört med en lång (förutsatt att det är lika stort utloppshål).



Figur 3.1: Schematisk bild över de tre utsläppssituationerna

I denna rapport kommer utsläppet att begränsas till utsläpp i vätskefas eller gasfas, dvs **tvåfasutsläppet kommer inte att behandlas**. Att fastställa huruvida ett utsläpp är ett tvåfasutsläpp eller inte kan vara svårt. Det är därför bättre att initialt betrakta utsläppet som ett vätskeutsläpp och när man kan observera att det endast är gas som kommer ut ändra modell till gasfasutsläpp. Det beräknade skyddsområdet blir därigenom på ”säkra sidan”.

De uttryck som tas fram kommer också begränsas till **utsläpp från kort kanal**. Ett antal handräkningsformler finns för både kort respektive lång kanal, det är dock stor skillnad på dem. För att behålla det framtagna uttrycket så enkelt som möjligt tas dock ingen hänsyn till detta eftersom det då skulle innebära att flera uttryck måste skapas. Detta medför ånyo (som tvåfasutsläppet ovan) att det framräknade skyddsområdet blir på ”säkra sidan”.

Nedan redovisas förenklade beskrivningar av gasfasutsläpp och vätskeutsläpp från kort kanal eller hål på tanken. Avsikten är att detta skall ge en översikt över vilka variabler som styr utsläppet. Ett antal förenklingar gäller för de formler som redovisningen utgår ifrån. Det är dock oväsentligt att i detta sammanhang redovisa alla dessa. Formulerna används endast för att belysa vilka variabler som påverkar utsläppet och vilka variabler som därmed skall ingå i regressionsuttrycket alternativt tilldelas ett konstant värde. Att tilldela en variabel ett konstant värde påverkar naturligtvis uttryckets användbarhet, denna begränsning redovisas nedan vid respektive variabel.

Gasfasutsläpp

Massflödet, Q , från ett gasfasutsläpp via kort kanal eller hål på tanken styrs av följande variabler.

$$Q = f(C_D, A, P_0, 1/(T_0)^{1/2}) \quad \text{se bl.a. Fischer et.al.}[7] \quad (3.1)$$

där C_D = kontraktionsfaktor
 A = hålets area
 P_0 = trycket i behållaren
 T_0 = väsketemperaturen i behållaren

Kontraktionsfaktorn C_D är en faktor som korrigerar för hålets form. Den kan vara max 1,0 och sjunker beroende på hur mycket hålet avviker från ett idealt friktionsfritt hål. Exempel på värden kan vara (Fischer et.al.[7]):

Hål med rundade kanter:	$C_D = 0,95$
Skarpkantade hål	$C_D = 0,75$
Utifrån intryckt hål	$C_D = 0,6$

Kontraktionsfaktorn kan givetvis vara med i regressionsuttrycket men då faktorn är mycket svårbestämd är det olämpligt att den ingår. Kontraktionsfaktorn tilldelas därför värdet 1,0 och hålls därmed konstant vid framtagande av regressionsuttrycket. Detta kommer att medföra att massflödet kommer att överskattas och därmed att regressionsuttrycket kommer att övervärdera skyddsområdets utsträckning. Under ”Spridningsbetingelser” nedan kommer ”felräkningen” att beskrivas mer utförligt.

Hålarean är proportionell mot kvadraten på håldiametern. Diametern på hålet måste naturligtvis ingå i regressionsuttrycket. Faktorn kan vara svår att uppskatta varför det är särskilt viktigt att rapporten ger anvisningar på hur denna skall väljas.

Tanktrycket är lika med det ångtryck som råder över vätskan i tanken. Detta ångtrycks storlek avgörs av den temperatur som vätskan håller. Eftersom det är enklare att uppskatta temperaturen än trycket kommer temperaturen att användas som indata vid framtagningen av regressionsuttrycket. Vätsketemperaturen i behållaren kommer efter påfyllning av transportbehållaren att gå mot omgivningens temperatur. Enligt muntliga uppgifter från representanter från Hydro Agri i Landskrona (tillverkare av ammoniak) kommer dock temperaturförändringen vara försumbar under den korta tid som ammoniaken är under transport. Det kan dock vid en olyckssituation vara omöjligt att veta hur länge tankvagnen varit utsatt för höga (eller låga) temperaturer. Det är därför inte lämpligt, med tanke på att uttrycket måste ha hög säkerhet, att utelämna tanktemperaturen (och därmed tanktrycket) från regressionsuttrycket. För att öka säkerheten för att få ett skyddsområde ”på säkra sidan” kommer därför temperaturen att vara en variabel i uttrycket med följande förutsättning:

- Tankinnehållets temperatur (= utetemperaturen) avgör vilket ångtryck och därmed vilket tanktryck som skall användas som indata.
- Tankinnehållets temperatur sätts lika med utetemperaturen i de fall utetemperaturen är högre än den av Hydro Agri angivna lastningstemperaturen. Är utetemperaturen lägre än lastningstemperaturen skall lastningstemperaturen användas som indata vid användning av regressionsuttrycket.
- Normal lastningstemperatur för ammoniak vid lastning på järnvägsvagn är +2°C respektive +10°C vid lastning på lastbil (Hydro Agri [5]).

Vätskeutsläpp

Massflödet, Q , från ett vätskefasutsläpp via kort kanal eller hål på tanken styrs av följande variabler.

$$Q = f(k, C_D, A, (P_0 - P_a)^{1/2}) \quad \text{se bl.a. Fischer et.al. [7]} \quad (3.3)$$

där k = en konstant där bland annat ρ = vätskans densitet ingår

C_D = kontraktionsfaktor
 A = hålets area
 P_0 = trycket i behållaren
 P_a = omgivningens tryck

För kontraktionsfaktorn gäller samma resonemang som ovan för gasutsläpp.

Trycket i behållaren är för fallet med vätskeutsläpp ett annat än för gasutsläpp. Trycket är här lika med ångtrycket plus det tryck som vätskepelaren ovanför utsläppshålet bidrar med. Denna tryckökning jämfört med ångtrycket kan dock anses som försumbar. För en vätskepelare på 2 m blir tryckökningen endast ungefär 1,4 % av ångtrycket vid 20°C (12,1 kPa mot 857 kPa i ångtryck).

$$\rho gh = 617 \cdot 9,81 \cdot 2 = 12,1 \quad \Rightarrow \quad 12,1/857 = 0,014$$

Det kan dessutom vara svårt att veta hur hög vätskepelaren är och därmed svårt att beräkna tryckökningen. Tanken kan ligga snett, fyllnadsgraden kan variera o.s.v. Det kommer därför inte tas hänsyn till vätskepelarens höjd över utsläppshålet i regressionsuttrycket utan ångtrycket kommer att gälla som indata för denna variabel. Detta medför att P_0 behandlas på samma sätt som för gasutsläpp. Trycket antas följa ångtrycket som i sin tur följer tankinnehållets temperatur som i sin tur antas följa utetemperatur. Observera dock de förbehåll som gjordes under gasflödesredovisningen ovan. Dessa förbehåll gäller även för en situation med ett vätskefasutsläpp.

Omgivningens tryck kan variera, dock inom relativt snäva gränser jämfört med t.ex. ångtrycket. Normalt kan atmosfärstrycket variera mellan 97,0 kPa och 104,0 kPa (SMHI [8]) där 101,3 kPa är normalvärdet. Ansätts normalvärdet 101,3 kPa som ett konstant värde vid framtagningen av regressionsuttrycket kan maximal ”felräkning” uppskattas. För en uträkning av massflödet med hjälp av ekvation 3.3, där övriga variabler hålls konstanta, innebär detta att massflödet kan felbedömas med maximalt ($P_0 = 857$ kPa):

$$Q_{P=101,3}/Q_{P=97} = (857 - 101,3)^{1/2}/(857 - 97,0)^{1/2} = 0,997 \text{ d.v.s. felet i } Q \text{ är högst } 0,3 \%$$

$$Q_{P=101,3}/Q_{P=104} = (857 - 101,3)^{1/2}/(857 - 104,0)^{1/2} = 1,002 \text{ d.v.s. felet i } Q \text{ är högst } 0,2 \%$$

Denna ”felräkning” måste anses som försumbar. Detta innebär att omgivningstrycket kommer att ansättas som en konstant med normalvärdet 101,3 kPa.

Vid ett vätskeutsläpp kan en del av vätskan bilda en pöl på marken, d.v.s. den följer inte omedelbart med det bildade molnet. Ett fullskaleförsök utfört av Försvarets Forskningsanstalt (Nyrén et.al. [9]) visar att det inte alls behöver bildas någon pöl på marken. Det är t.o.m. troligt att all vätska kommer att förångas omedelbart eller följa med det bildade gasmolnet som droppar. Ett eventuellt så kallat rainout (pölbildning) kommer p.g.a. de stora temperaturskillnaderna mellan vätskan och marken att förångas mycket snabbt och förena sig med det bildade gasmolnet. Det kommer därför inte att tas någon hänsyn till att vätskepölar kan bildas utan all utströmmad vätska antas bli förångad och ingå i det moln som bildas efter utsläppet.

3.2.3 Spridningsbetingelser

Ett stort antal variabler styr spridningen av en gas. Innan dessa kan bestämmas måste en åtskillnad göras på vilken typ av utsläpp det är och på vilket sätt gasen beter sig.

Vanligtvis skiljs momentant utsläpp från ett kontinuerligt utsläpp. Momentant innebär såsom namnet anger att utsläppet inte har någon utsträckning i tid medan ett kontinuerligt pågår under en viss tid. För ett momentant utsläpp finns i nuläget ett relativt enkelt matematiskt uttryck som tillåter beräkning av ett skyddsområde:

$$X = ((M/(4*\Pi*\chi/3))-R_0)/a \quad \text{Fischer et.al.[7] sid 122-123} \quad (3.4)$$

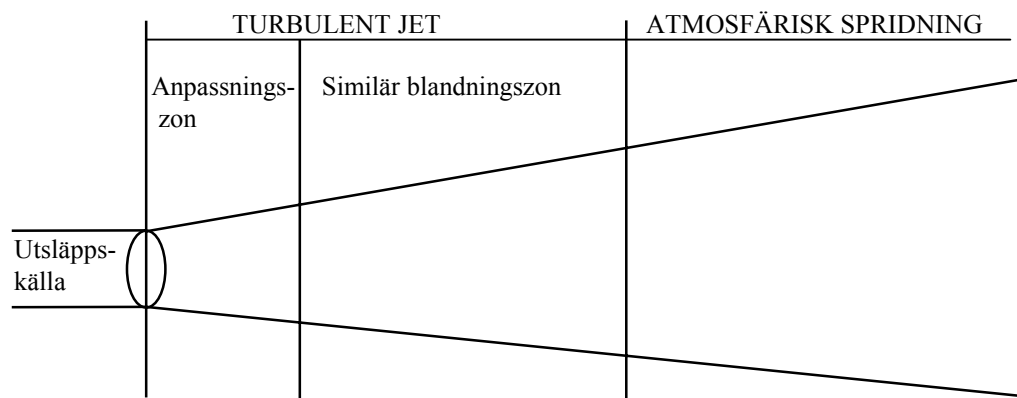
där

- X = skyddsområdet
- M₀ = utsläppt mängd (kg)
- χ = sökt koncentration (i detta fall 50 PPM)
- R₀ = det bildade molnets initiala radie
- a = konstant som bestämmer gasmolnets tillväxt
(a = 0,03 för förhållande med dålig utspädning, a = 0,3 för bra utspädning)

I denna rapport kommer momentant utsläpp inte att behandlas. Det troligaste vid en olycka är att tanken börjar läcka från ett mindre hål och att läckan pågår till dess att räddningstjänsten lyckas täta hålet eller att tanken töms. **Det framtagna uttrycket kommer således inte vara användbart för momentana utsläpp.**

Det kontinuerliga utsläppet är svårare att modellera. Detta beror främst på att olika gaser beter sig på olika sätt samt att spridningen inte är uniform avseende variabler under hela spridningsförloppet. Initialt är t.ex. spridningen beroende av utströmningsfaktorer, efterhand som gasmolnet sprider sig får dessa faktorer allt mindre betydelse och omgivningsfaktorer (så kallade atmosfäriska faktorer) såsom vind, molnighet o.s.v. får allt större betydelse.

Ammoniak är att betrakta som en tung gas då den strömmar ut ur en behållare. Anledningen står att finna i ammoniakens fysikaliska egenskaper. Ammoniak är mycket kall då den strömmar ut från ett tryckkondenserat tillstånd (oavsett om den är i gasfas eller vätskefas). Detta får till följd att den omgivande luftens fuktighet kondenserar ut och förenar sig med ammoniaken till vätskedroppar (sk. aerosol). Densiteten hos molnet blir då högre än hos den omgivande luften varvid den utströmmande ammoniaken "blir" en tunggas. Därmed bör spridningen modelleras som en tunggasspridning. Efterhand som spridningen fortsätter kommer dock luften att späda ut molnet och densiteten sjunker. I ett visst läge har molnet späts ut så mycket att molnet har ungefär samma densitet som luften och därvid bör spridningen modelleras med en atmosfärisk spridningsmodell som t.ex. den Gaussiska spridningsmodellen. En schematisk bild av spridningen av ammoniak visas i figur 3.2.



Figur 3.2: Schematisk bild över spridningen av ammoniak. Den inledande fasen turbulent jet indelas i två delar en anpassningszon omedelbart efter utsläppskällan och en blandningszon som följer på denna. Då densitetsskillnaderna är små övergår spridningen till atmosfärisk spridning. Observera att bilden inte är proportionerlig.

Tunggasspridning

För att beskriva den teoretiska bakgrunden till tunggasspridning kan formler från Fischer et.al.[7] användas. Spridningen kan modelleras med de matematiska uttrycken för turbulent jet. Turbulent jet definieras som ”ett stadium av luftinblandning där utspädning av en substans huvudsakligen förorsakas av hastigheten hos den utsläppta substansen” (Fischer et.al [7] s97). Det finns givetvis ett antal formler för olika jetstrålar t.ex. för jet i stagnat medium, medvind eller sk. ”bluff wall jet”. För att teoretiskt beskriva spridningsmekanismerna har bluff wall jet använts nedan. Denna jet-typ anses bäst beskriva utsläppet från en källa nära marken (se figur 3.3).

$$X = f(k, 1/\sqrt{\rho_a}, Q, 1/\sqrt{F - Qu}, 1/Y_c) \quad \text{Fischer et.al. [7] s 110} \quad (3.5)$$

där

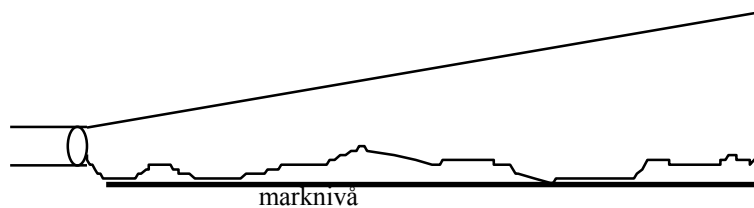
- X = avståndet
- k = konstant
- ρ_a = luftens densitet
- Q = massflödet (från utsläppet)
- F = dragkraften
- u = vindhastigheten
- Y_c = centrumkoncentrationen i cirkulär jet

Dragkraften, F, beräknas i sin tur av:

$$F = f(Q, u_e, A_e, (P_e - P_a)) \quad \text{Fischer et.al. [7] s 51} \quad (3.6)$$

där

- Q = massflödet
- u_e = utloppshastigheten
- A_e = utloppsarean
- $P_e - P_a$ = utloppstryck minus atmosfäriskt mottryck



Figur 3.3: Bluff wall jet, nedre delen av molnet följer marknivån.

Avståndet är således beroende av massflödet som beräknas enligt formlerna i kap 3.2.2. I de formlerna framgår att massflödet är direkt proportionellt mot kontraktionsfaktorn. Detta innebär att överskattningen av jetstrålens utbredning kan bli i storleksordningen 40 % om C_D skulle vara 0,6 (utifrån intryckt hål) istället för det använda värdet på 1,0. Detta måste anses som ett stort fel men som tidigare angivits är kontraktionsfaktorn svår att bestämma och att det p.g.a. kravet på enkelhet bör accepteras. Det bör också framhållas att många håltyper kan ha värden nära 1, varför felet i många fall kan vara endast någon eller några procent.

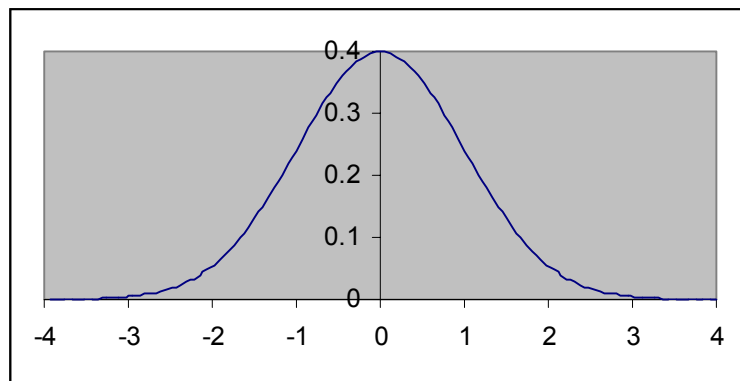
Dragkraften hos jetstrålen beskriver jetstrålens rörelsemängdsöverskott jämfört med den omgivande luften. Det är enkelt uttryckt denna faktor som bestämmer när spridningen inte längre kan modelleras som en turbulent jet. När jetstrålen förlorat sitt rörelsemängdsöverskott kommer spridningen bero av andra faktorer och den bör därför modelleras med en atmosfärisk spridningsmodell. Vad avser koncentrationen kan denna inte tilldelas det värde som diskuteras i kap 3.2.1. eftersom turbulent jet följs av atmosfärisk spridning. Det är således inte den gränssättande koncentrationen som skall användas i formeln ovan.

Skall spridningen handräknas finns speciella regler för hur brytpunkten skall beräknas för när spridningen skall modelleras som atmosfärisk istället för turbulent jet. Datorprogram tar oftast hänsyn till denna brytpunkt och byter själv beräkningsmodell.

Av de ovan redovisade variablerna kommer ingen att i detta skede tillföras regressionsuttrycket. Samtliga variabler kommer att i någon form dyka upp i redovisningen av den atmosfäriska spridningsmodellen nedan. Det är också denna teoretiska modell som bäst överensstämmer med de datorprogram som finns för simulering av spridningförlopp.

Atmosfärisk spridningsmodell

Då det av utsläppet bildade molnet spänts ut så mycket att densiteten i molnet är ungefär lika med den omgivande luftens densitet, kommer andra mekanismer än de som styr den turbulenta jetstrålen att påverka den fortsatta spridningen. En atmosfärisk modell för att beräkna den fortsatta spridningen är sk. Gaussisk spridning. Gaussisk spridning bygger på att koncentrationen i molnet (eller plymen) är normalfördelad (se fig. 3.4). Precis som i statistiska sammanhang kan dock standardavvikelsen variera och det tillåts den också göra med en speciell variabel i de ekvationer som är tillgängliga.



Figur 3.4: Exempel på normalfördelning. Medelvärdet är lika med 0 och standardavvikelsen 1.

Den teoretiska bakgrunden nedan är hämtad från Turner [10]. Denna bok är dock främst riktad mot utsläpp från eleverade källor såsom höga industriskorstenar etc., varför informationen gjorts om för att bättre passa in i detta sammanhang.

Förenklat kan sägas att en Gaussisk spridningsmodell kräver två typer av indata, så kallad emissionsinformation samt meteorologiska parametrar. Den emissionsinformation som krävs för beräkningarna i denna rapport är massflödet, som tidigare redovisats. Det nya är istället de meteorologiska parametrarna. Här ingår Pasquill's stabilitetsklasser, vindriktning, vindhastighet, temperatur och blandningshöjd. Koncentrationen vid marken längs molnets centrumlinje på ett visst avstånd är en funktion av följande variabler:

$$\chi(x,H) = f(Q, 1/u, 1/\sigma_y, 1/\sigma_z, \exp(-H^2/\sigma_z)) \quad \text{Turner [10] s2-6} \quad (3.7)$$

där $\chi(X,H)$ = centrumlinjens koncentration på avståndet X och utsläppshöjden H
 Q = massflödet från utsläppskällan
 u = vindhastigheten
 σ_y = dispersionskoefficient i y riktningen (standardavvikelsen)
 σ_z = dispersionskoefficient i z riktningen (standardavvikelsen)
 H = utsläppets effektivhöjd ovan marken

Massflödet i funktionen ovan är samma som redovisats under gas- resp. vätskeutsläpp ovan.

Koncentrationen är omvänt proportionell mot **vindhastigheten**. Den vindhastighet som skall användas i beräkningarna är den vindhastighet som råder vid utsläppet. Vindhastigheten är dock starkt beroende av höjden över marken. Detta beroende är inte linjärt utan det beror på vilken stabilitetsklass (se nedan) som råder och hur marken ser ut. Då det gäller markens beskaffenhet är det främst uppkomsten av friktion mot markytan som styr vindhastigheten men också den turbulens som uppstår av att vinden "hindras" av t.ex. byggnader eller träd. Markens påverkan på vindhastigheten brukar anges som en ytråhet, ju högre ytråhet desto mer "störning" av vinden och vindhastigheten. Normalt mäts vindhastigheten på referenshöjden 10 m. Då många brandstationer idag har egen vindmätare eller kan få vinduppgifter från närliggande mätstationer kommer referenshöjden 10 m att användas vid framtagningen av regressionsuttrycket. I appendix E redovisas dock ett diagram som gör det möjligt att modifiera det framtagna regressionsuttrycket om användaren vill ändra referenshöjden. Detta kan bli aktuellt i de fall då t.ex. brandstationens vindmätare sitter på annan höjd än 10 m.

Dispersionskoefficienterna anger hur de meteorologiska parametrarna påverkar spridningsbilden, dvs hur stor normalfördelningens standardavvikelse är. Ett av de stora problemen med att räkna ut skyddsavstånd är att dispersionskoefficienternas värde varierar med avståndet, rådande stabilitetsklass och ytråheten. Sambanden är ej heller linjära varför det inte går att på ett enkelt sätt införliva dem i ett regressionsuttryck.

I de funktioner som ger värdet på dispersionskoefficienterna tas det hänsyn till den turbulens som molnet utsätts för. Turbulensen kan delas in i sk. mekanisk- och buoyancyturbulens. Buoyancy kan översättas med lyftkraft och är således den turbulens som uppkommer i samband med olika densitetsskillnader. Bouyancyturbulensen bestäms med avseende på solinstrålning och molnighet. Den mekaniska turbulensen är främst den turbulens som uppkommer p.g.a. markens ytråhet och vindens hastighet. På 1960-talet införde Pasquill så kallade stabilitetsklasser för att kunna kategorisera den rådande väderleken för att därigenom kunna bestämma värden på dispersionskoefficienterna inom varje stabilitetsklass. I tabellen 3.1 nedan redovisas Pasquill's stabilitetsklasser.

Vindhastighet på 10m höjd ovan mark m/s	Solinstrålning			Natt	
	Stark	Medel	Liten	Molnigt	Lätt eller ingen molnighet
<2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	D	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Tabell 3.1: Pasquill's stabilitetsklasser, Turner [10] s2-7

Stabilitetsklasserna anger som namnet säger vilken atmosfärisk stabilitet som råder. Mest stabilt är F och minst stabilt är A. D sägs vara någon typ av neutral skiktning. Stabilitetsklassens betydelse för spridningen är stor. Ju stabilare atmosfären är desto mindre utspädning av molnet, d.v.s. längre skyddsområde.

Stabilitetsklasserna anses inte kunna ingå i regressionsuttrycket. Detta medför att hänsyn till stabilitetsklass måste göras på annat sätt. I appendix B ges en mer utförlig beskrivning av dispersionskoefficienterna. Där visas också att stabilitetsklass D bör användas som ingångsvärde vid framtagningen av regressionsuttrycket. Resonemanget i appendix B bygger på förekomsten av höga vindhastigheter och antalet mulna dagar. Vindhastigheten ligger relativt ofta över 5-6 m/s, Svensk Klimatdata (Taesler [11]) anger värden mellan 6,3-40 % av tiden, beroende på var i landet man befinner sig. Dessutom anges i anvisningarna till stabilitetsklasserna att då vädret är mycket molnigt (dag som natt) bör stabilitetsklass D användas (Turner [10] s2-7). Taesler [11] ger riktvärden på antalet mulna dagar till att vara mellan 6,1 och 22,9 dagar/månad beroende på var i landet och tid på året. Detta medför att stabilitetsklass D kan anses som den mest förekommande varför denna valts som indata vid framtagningen av regressionsuttrycket.

Ytråheten som också påverkar turbulensen och därmed dispersionskoefficienterna ingår normalt i de dispersionskoefficienter som ingår i uttrycket för atmosfärisk spridning. I datorprogram för simulering av utsläpp kan ytråheten dock väljas separat. Det är därmed möjligt att använda ytråheten i regressionsuttrycket. Därmed blir uttrycket användbart för alla de marktyper som kan förekomma runt ett utsläpp vare sig det är slättland eller stadsmiljö. Användaren måste dock ha tillgång till värden på ytråheterna för olika marktyper. I tabell 3.2 visas de mest användbara värdena på ytråheten. Ytråheten kan sägas vara ett mått på hur höga hindren i molnets väg är. Detta inverkar på den turbulens som uppstår närmast marken. Ju högre hinder desto kraftigare turbulens. Kraftigare turbulens inverkar positivt på utspädningen av utsläppet och därmed nås den gränssättande koncentrationen på ett kortare avstånd än om turbulensen varit mindre.

Marktyp	Ytråhet (m)
Stadsbebyggelse	1,0-3,0
Barrskog	1,3
Lövskog (sommar)	1,3
Lövskog (vinter)	0,5
Buskig mark	0,3
Träsk, kärr el. sumpmark	0,2
Odlad mark (sommar)	0,2
Odlad mark (vinter)	0,01
Gräs (sommar)	0,1
Gräs (vinter)	0,001
Vatten	0,0001

Tabell 3.2: Ytråheten för olika marktyper. Turner [10] s1-3

Den **effektiva utsläppshöjden** ovan mark är främst intressant om utsläppskällan är en hög skorsten eller motsvarande. Då det gäller utsläpp nära marken där skillnaden kan vara kanske 2-3 m är denna faktor helt försumbar för slutresultatet. I appendix B visas felräkningens storlek.

3.3 Slutsats

Nedan sammanfattas den teoretiska genomgången. Utifrån de slutsatser som dragits ovan skapas nu de uttryck som skall ligga till grund för regressionsanalysen.

3.3.1 Regressionsuttryck

Av redovisningen ovan framgår att skillnaderna mellan ett gasfasutsläpp och ett vätskefasutsläpp är stora. Detta medför att ett regressionsuttryck inte kan skapas som tar hänsyn till båda formerna av utsläpp. Två av varandra oberoende uttryck måste därmed skapas, ett som gäller för gasfasutsläpp och ett som gäller för utsläpp i vätskefas. Det medför dock ingen skillnad i vilka variabler som skall ingå i uttrycket, båda uttrycken kommer att ha samma variabler.

De variabler som skall vara med i regressionsuttrycket (i enlighet med ovanstående redovisning) är:

- håldiametern
- vindhastigheten
- ytråheten
- tankinnehållets temperatur

Detta innebär att regressionsuttrycken får följande utseende:

$$X_g = k \cdot d^A \cdot u^B \cdot z_0^C \cdot (T+273)^D \quad (3.8)$$

$$X_l = k \cdot d^E \cdot u^F \cdot z_0^G \cdot (T+273)^H \quad (3.9)$$

där X_g = skyddsavståndet vid utsläpp i gasfas
 X_l = skyddsavståndet vid utsläpp i vätskefas
 d = håldiametern (m)
 u = vindhastigheten på höjden 10 m (m/s)
 z_0 = ytråheten (m)
 T = tankinnehållets temperatur (°C)
 $k, A-H$ = konstanter som bestäms genom regressionsanalys

Ett antal variabler kommer att hållas konstanta trots att de bör vara variabler. Nedan redovisas vilka dessa är samt vilka konsekvenser det får för uttryckets giltighet.

3.3.2 Variabelvärden

Följande variabler eller utsläppsscenario som påverkar massflödet eller spridningen och därmed skyddsområdet kommer att hållas konstanta:

- Endast utsläpp från kort kanal
- Tvåfasutsläpp modelleras som utsläpp i vätskefas
- Kontraktionsfaktorn, $C_D = 1$
- Omgivningens tryck
- Stabilitetsklass D

Att de två scenariomöjligheterna kort kanal och vätska istället för tvåfasutsläpp är de enda utsläppsscenario som används, innebär att uttrycket endast ger riktiga resultat för utsläpp från en kort kanal samt att skyddsområdet från ett tvåfasutsläpp inte kan beräknas korrekt. Detta hindrar dock ej att uttrycket ändå används för situationer såsom t.ex. utsläpp från en lång kanal eller dylikt eftersom det i de situationerna ger ett skyddsområde på säkra sidan. Valet av kort kanal innebär att inga andra scenario kan ge ett längre skyddsområde. Likaså innebär en modellering av ett tvåfasutsläpp som ett vätskeutsläpp att det beräknade skyddsområdet inte kan bli längre än vad uttrycket anger.

Kontraktionsfaktorns värde på 1 är det maximala värdet. Normalt är denna faktor alltid <1 men då det (som tidigare sagts) är mycket svårt att bestämma denna faktor bör den väljas till 1. För beräkningar med regressionsuttrycket innebär detta att skyddsområdet kommer att över-

skattas. Felet uppskattas till <40% (värde på ”säkra sidan”). Detta är naturligtvis en väsentlig felräkning men p.g.a. kravet på enkelhet måste det ändå accepteras. Observera dock att felet i många utsläppsscenarioer blir betydligt mindre då kontraktionsfaktorn ofta kan vara nära 1. Felet blir då maximalt någon eller några procent.

Omgivningens tryck påverkar både massflödet och spridningen. Vad avser massflödet fungerar omgivningens tryck som en mothållande ”kraft” mot tanktrycket i faktorn $P_0 - P_a$ i formel 3.2 ovan. Som visats ovan är dock differensen tämligen liten i förhållande till de ändringar i tanktrycket som kan förekomma. Felet uppskattas till $\pm 0,3$ % på massflödet.

Stabilitetsklass D har valts som konstant stabilitetsklass för framtagningen av regressionsuttrycket. I appendix B visas storleksordningen på den felräkning som uppstår ifall stabilitetsklassen som råder inte skulle vara klass D. Eftersom stabilitetsklassen är mycket viktig för slutresultatet är det viktigt att poängtera att det regressionsuttryck som tas fram endast ger korrekt resultat för klass D. Skulle någon av stabilitetsklasserna A, B eller C råda kommer uttrycket att överskatta skyddsområdet, om någon av klasserna E eller F råder kommer det framräknade skyddsområdet att vara för kort.

I appendix D har ekvationer tagits fram som möjliggör omräkning av regressionsuttryckets avstånd. Ekvationerna är inlagda i diagram. Skulle annan stabilitetsklass än D gälla, kan det ur diagrammen utläsas vilket ”nytt” avstånd som bör avsättas som skyddsområde.

4 Sannolikhetsfördelningar för respektive variabel

För att kunna utföra osäkerhetsanalysen i slutet av denna rapport krävs att de variabler som ingår i regressionsanalysen tilldelas en fördelning. Dessa fördelningar beskriver hur sannolika olika värden på variabeln är. Fördelningarna är en förutsättning för att regressionsuttrycket skall kunna användas även om alla variabler inte skulle vara kända. Med hjälp av fördelningarna kan nämligen ett ”säkert” värde bestämmas, d.v.s. ett värde som är lämpligt att använda om variabel inte på annat sätt kan bestämmas av regressionsuttryckets användare.

För att osäkerhetsanalysen skall kunna utföras måste alla variabler tilldelas en fördelning. Vissa av variablerna är dock lättare att uppskatta än andra. För en användare av regressionsuttrycket innebär detta att fördelningen för den svårbedömda håldiametern är viktigare än för den mer lättbedömda ytråheten. I framtagningen av fördelningar nedan kommer därför behovet av att kunna uppskatta variabelns värde med hjälp av en fördelning bedömas. Denna bedömning påverkar naturligtvis inte de framtagna fördelningarna endast det sätt de bör användas på.

Samtliga sannolikhetsfördelningar finns samlade i appendix C tillsammans med underlaget för framtagningen. Nedan presenteras endast huvuddragen i underlaget.

4.1 Håldiameter

Håldiametern är troligen den variabel som kan vara mest svårbedömd. Det är således viktigt att det finns instruktioner på hur denna bör väljas om den skulle vara okänd för regressionsuttryckets användare. Tyvärr är det också svårt att skapa en fördelning på håldiametern eftersom frekvensdata för håldiametern vid utsläpp inte är tillgängligt i någon större omfattning. Den fördelning som används i denna rapport är framtagen på följande premisser:

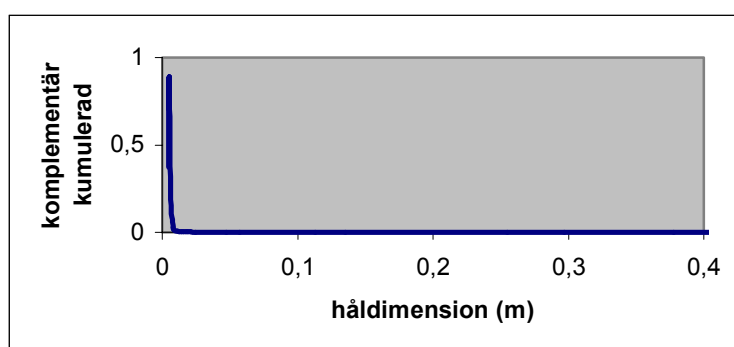
- Rapporten syftar till att ta fram uttryck för utsläpp från transporter. Således har de tanktyper som används för transporter undersökts i syfte att bestämma dimensioner på rör, ventiler och dylikt. De dimensioner som är mest förekommande har tilldelats en högre frekvens i fördelningen.
- En maximal håldiameter på 2,3 m för tank på järnvägsvagn respektive 1,2 m för tank på lastbil har använts. Hål över denna dimension bedöms leda till att hela tanken rämnar. Dessa håldiametrar har dock endast använts vid framtagningen av fördelningen. I de regressionsuttryck som denna rapport tar fram kan en maximal håldiameter på max 0,3 m användas.
- De frekvensdata som finns tillgängligt i Cox et.al. [13] har också använts som underlag. De frekvenser som finns redovisade i denna skrift härrör från inträffade olyckor. De är dock främst hämtade från fasta installationer.

Då de tanktyper som används till lastbilstransporter respektive järnvägstransporter är olika samt att olika håldimensioner kan fås beroende på om det sker ett utsläpp från vätskefasen eller från gasfasen, har fyra olika sannolikhetsfördelningar skapats.

- Fördelning för utsläpp från vätskefasen från tank på lastbil
- Fördelning för utsläpp från vätskefasen från tank på järnvägsvagn
- Fördelning för utsläpp från gasfasen från tank på lastbil
- Fördelning för utsläpp från gasfasen från tank på järnvägsvagn

Att det är flera fördelningar påverkar inte framtagningen av regressionsuttrycket. Det är fortfarande enbart två uttryck som skapas. Den enda skillnaden är att det finns två olika sannolikhetsfördelningar för varje uttryck vid osäkerhetsanalysen. Det måste således framgå av användarinstruktionen vilken fördelning som har använts beroende på vilken fordonstyp som utsläppet kommer ifrån. Det får dock anses som oväsentligt för rapportens resultat eftersom det vid olyckstillfället klart bör framgå vilken fordonstyp som är aktuell.

Framtagningen av sannolikhetsfördelningarna finns redovisat i appendix C. Fördelningarna återges också i figur 4.1 nedan. Det går inte att i diagrammen utläsa någon skillnad mellan fördelningarna, varför endast en fördelning redovisas.



Figur 4.1: Sannolikhetsfördelningarna för håldiametern. De fyra fördelningarnas utseende är i det närmaste identiska varför ingen skillnad kan uppfattas mellan de fyra fördelningarna. Därför är endast en fördelning redovisad i figur. För tydlighetens skull är diagrammets x-axel beskuren vid 0,4m naturligtvis finns data upp till 1,2 resp 2,3 m för de använda fördelningarna. Observera att diagrammet är komplementärt kumulerad.

Utifrån fördelningarna har följande värden valts för framtagningen av regressionsuttrycket:

0,005 0,011 0,022 0,05 0,30 m

Dessa värden används för framtagningen av såväl gasfas- som vätskefasuttrycken. Den maximala håldiametern har satts till 0,3 m då sannolikheten för större hål är mycket liten. Det finns därför ingen anledning att uttrycket skall kunna användas annat än i intervallet 0,005 - 0,3 m. Det är alltså i detta intervall som regressionsuttrycket är giltigt.

4.2 Vindhastighet

Vindhastigheten är en variabel som kan ha stor betydelse för skyddsområdets utsträckning. Det är därför viktigt att kunna bestämma denna faktor korrekt. Det kan vara svårt att bedöma vindhastigheten om den som gör bedömningen inte är van att göra det. Det finns dock en mängd knep för att kunna fastställa vindhastigheten. I Taesler [11] tab. I:1.1 finns tabellerat hur vindhastigheten kan bestämmas. Med hjälp av denna kan användaren av regressionsuttrycket avgöra vilken vindhastighet som råder. Många brandstationer har idag vindmätare på stationsbyggnaden. Är utsläppet i närheten kan denna mätares värde användas. Därmed minskar behovet av att ur vindhastighetsfördelningen hämta troliga värden på vindhastigheten. Det

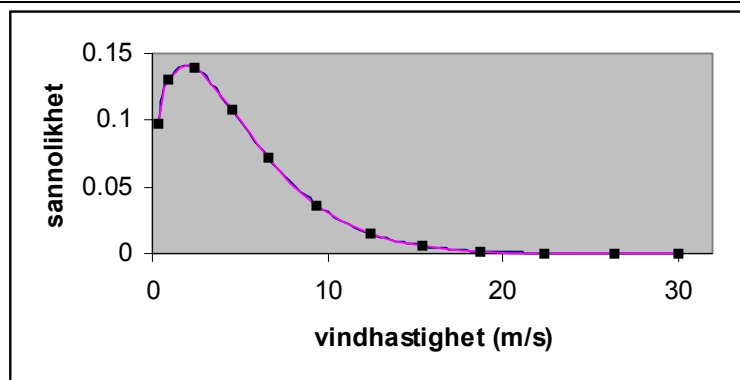
är främst vid osäkerhetsanalysen som fördelningen har sin största tillämpning. I tabell 4.1 återfinns den hjälptabell som skall bifogas regressionsuttryckets användarinstruktion. Tabellen skall hjälpa användaren att uppskatta vindhastigheten.

Vindhastighet (m/s)	Namn till lands	Vindens verkning på land
0-0,2	lugnt	inga; rök stiger rätt upp
0,3-1,5	svag vind	märkbar för känsln
1,6-3,3	svag vind	lyfter en vimpel
3,4-5,4	måttlig vind	sträcker en vimpel
5,5-7,9	måttlig vind	sträcker en flagga, sätter kvistar och tunnare grenar i rörelse
8,0-10,7	frisk vind	mindre lövträd svajar, skumkammar bildas på insjöar (sk. vita gäss)
10,8-13,8	frisk vind	sätter stora trädgrenar i rörelse, viner i telefontrådar
13,9-17,1	hård vind	hela träd svajar, man går ej obehindrat mot vinden
17,2-20,7	hård vind	bryter kvistar, besvärligt att gå i det fria
20,8-24,4	halv storm	skador på hus, taktegel blåser ned
21,5-28,4	storm	sällsynt i inlandet, träd rycks upp med roten, betydande skador på hus
28,5-32,6	svår storm	mycket sällsynt i inlandet

Tabell 4.1: Hjälptabell för att avgöra hur hög vindhastigheten är. Taesler [11] tab. 11.1 s 22

Den fördelning som krävs för osäkerhetsanalyserna ställs samman med hjälp av vinddata från Taesler. Vinden varierar framförallt beroende på om det är vid kusten eller i inlandet. Inga större skiftningar mellan tidpunkt på året kan utläsas ur Taeslers [11] tabeller. Som underlag för fördelningen används de årsgenomsnittliga värdena från tabellen ”Procentuell frekvens av olika vindstyrkor” (Taesler [11] tab. I:4.1) från 34 mätstationer utspridda över landet.

Fördelningen finns redovisad i appendix C men återges också i figur 4.2 nedan.



Figur 4.2: Sannolikhetsfördelning för vindhastigheten. Weibullfördelning med toppen vid värdet 1,33 m/s. Observera att indatavärdena markeras med fyrkantspunkterna.

För framtagningen av regressionsuttrycket används följande värden som indata för vindhastigheten:

0,1 1,3 3,5 9 30,5 m/s

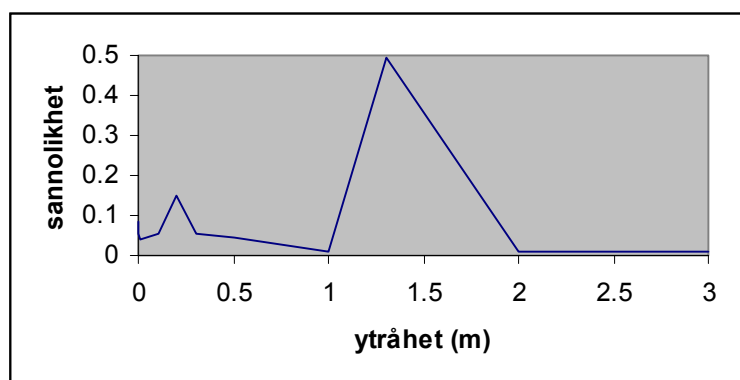
Värdena 0,1 respektive 30,5 anger de gränsvärde som begränsar det intervall på vindhastigheten regressionsuttrycket gäller för.

4.3 Ytråhet

Att bestämma ytråheten får betraktas som relativt enkelt. I tabell 3.2 presenterades värden på ytråheten enligt Turner [10]. Ur denna tabell kan utläsas vilken ungefärlig ytråhet som gäller på platsen för utsläppet genom att helt enkelt titta sig omkring eller genom att titta på en karta över området. Återigen (precis som för vinden) är fördelningen främst till för osäkerhetsanalysen och för det fall det inte i förväg går att bestämma ytråheten.

Fördelningen på ytråheten måste återspegla de marktyster som hela landet har. I statistik från Statistiska Centralbyrån (SCB [14]) finns frekvenser för olika marktyster. För marktysten skog har en uppdelning mellan barr och lövskog skett med underlag hämtat från svensk-energis hemsida [15]. Dessa frekvenser utgör underlag för framtagningen av ytråhetsfördelningen. Till varje marktyst har en ytråhet kopplats. En avvägning mellan årstidsrelaterade ytråheter har gjorts avseende t.ex. lövfällning.

Fördelningen finns redovisad i appendix C men återges också i figur 4.3 nedan.



Figur 4.3: Sannolikhetsfördelning över ytråheten. Fördelningen är den direkt återspeglning av indata och är således ingen generell fördelning.

Följande värden används för framtagningen av regressionsuttrycket:

0,0001 0,2 0,4 1,3 3,0 m

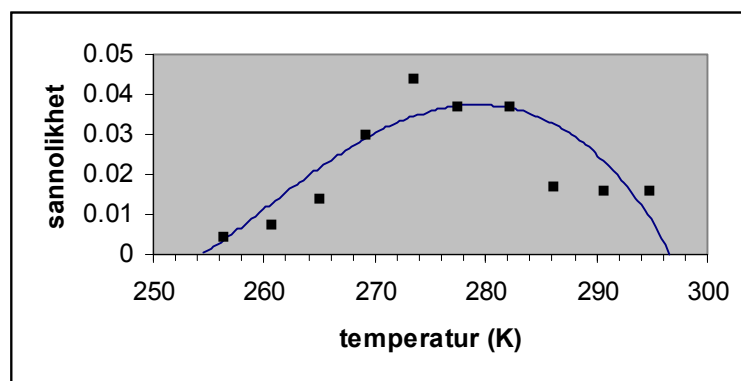
Värdena 0,0001 respektive 3,0 m anger gränsvärdena för det intervall inom vilket regressionsuttrycket är giltigt.

4.4 Tankinnehållets temperatur

Tankinnehållets temperatur antas följa omgivningens temperatur. I Taesler [11] finns tabellerat en mängd temperaturmätningar från stationer runt om i landet. Som underlag för sannolikhetsfördelningen har tabellerna för månadsmedelvärdet av maximi- respektive minimitemperaturerna (Taesler [11] tab. II:1.3-4) använts.

I figur 4.4 kan ses att fördelningen har ett minimum på 254 K (-19°C) och ett maximum på 297 K (+24°C). Detta beror på att de tabeller som använts använder ett medelvärde på minimi- resp. maximitemperaturen. Temperaturen vid ett enskilt tillfälle kan givetvis bli lägre eller högre. Temperaturavläsningen då regressionsuttrycket skall användas måste dock göras med förnuft. Ihållande temperaturer på under -19°C eller över 24°C är föga vanligt. För att öka regressionsuttryckets användbarhet har dock -23 °C och +35°C använts som intervallgränser för temperaturen.

Sannolikhetsfördelningen för temperaturen, både för järnvägsvagn och lastbilstank redovisas mer utförligt i appendix C men återges också i figur 4.4.



Figur 4.4: Sannolikhetsfördelning för temperaturen. Fördelningen är en så kallad Beta-fördelning. Observera att indatamaterialet är markerat med fyrkantpunkter.

För att öka regressionsuttryckets användbarhet kommer sannolikhetsfördelningen för temperaturen att följa normala temperatursvängningar. Detta innebär att även temperaturer under lastningstemperaturerna kommer att användas för framtagningen av regressionsuttrycket. På detta sätt kan regressionsuttrycket användas för fasta tankinstallationer såvida dessa i övrigt uppfyller de förutsättningar och begränsningar som redovisats.

-23 (250) -10 (263) +2 (275) +12 (285) +35 (308) °C (K)

Regressionsuttrycket gäller således för ett intervall, gällande tankinnehållets temperatur, på mellan -23°C och $+35^{\circ}\text{C}$. Observera att samma indata gäller oavsett om det gäller lastbilsburen tank eller järnvägstank.

5 Grundmodell

För framtagningen av regressionsuttrycket kommer två olika modeller att användas. För beräkningen av massflödet från både vätskeutsläpp och gasfasutsläpp kommer formler redovisade i Fischer et.al. [7] att användas. För beräkning av den spridning som sker efter utflödet kommer datorprogrammet CHEMS-PLUS att användas.

I detta kapitel kommer de indata som behövs till respektive modell att redovisas.

5.1 Massflödesmodell

5.1.1 Allmänt

De massflödesberäkningar som används i datorprogrammet CHEMS-PLUS ger i princip samma resultat som de formler som redovisas i bl.a. Fischer et.al. [7]. Skillnaden är att datorprogrammet tar hänsyn till och kompenserar för den vätskepelare som finns inne i tanken. Eftersom tryckökningen som vätskepelaren medför försummas i denna rapport kan handräkningsformlerna lika gärna användas. Ett enkelt kalkylprogram (t.ex. Excel) kan förkorta tiden för framtagningen av massflödet.

De formler som används är dels massflödesberäkning för utsläpp direkt från tank eller kort kanal från gasfasen (5.1 nedan), dels för utsläpp direkt från tank eller kort kanal från vätskefasen (5.2 nedan).

$$Q = 0,667 \cdot C_D \cdot A \cdot P_0 / (R \cdot T_0)^{1/2} \quad (5.1)$$

där C_D = kontraktionsfaktorn
 A = hålarean = $\pi \times d^2 / 4$
 P_0 = tanktrycket
 R = Avogadros tal
 T_0 = tankinnehållets temperatur

$$Q = C_D \cdot A \cdot (2 \cdot (P_0 - P_a) \cdot \rho)^{1/2} \quad (5.2)$$

där C_D = kontraktionsfaktorn
 A = hålarean = $\pi \times d^2 / 4$
 P_0 = tanktrycket
 P_a = atmosfärstrycket
 ρ = vätskans densitet

Inga variabler som inte tidigare redovisats behövs för beräkningarna. Ej heller krävs att några nya begränsningar införs.

5.1.2 Indata

De indata som krävs redovisas i tabell 5.1 respektive 5.2. Tanktrycket har för enkelhetens skull tagits från CHEMS-PLUS. Detta program ger trycket direkt vid inmatning av en temperatur.

Indata	Värde	Kommentar
C_D	1,0	Konservativ uppskattning av kontraktionsfaktorn som ger skyddsområde på säkra sidan
$A = \pi \times d^2 / 4$	$d = 0,005; 0,011; 0,022; 0,05; 0,30$ m enligt kap. 4	Variabel beroende på håldiametern
P_0	165; 289; 460; 654; 1340 kPa	Variabel beroende på tankinnehålllets temperatur som i sin tur beror av utetemperaturen.
R	8314 J/kgK	
T_0	$T_a = 250; 263; 275; 285; 308$ K enligt kap. 4	Variabel beroende av utetemperaturen.

Tabell 5.1: Indata för beräkning av massflödet från gasfasutsläpp.

Indata	Värde	Kommentar
C_D	1,0	Konservativ uppskattning av kontraktionsfaktorn som ger skyddsområde på säkra sidan
$A = \pi \times d^2 / 4$	$d = 0,005; 0,011; 0,022; 0,05; 0,30$ m enligt kap. 4	Variabel beroende på håldiametern
P_0	165; 289; 460; 654; 1340 kPa	Variabel beroende på tankinnehålllets temperatur som i sin tur beror av utetemperaturen.
P_a	101,3 kPa	Normalvärde för atmosfärstrycket.
ρ	617 kg/m ³	

Tabell 5.2: Indata för beräkning av massflödet från vätskefasutsläpp.

5.2 Spridningsmodell

5.2.1 Allmänt

Den grundmodell som valts för spridningsberäkningarna är CHEMS-PLUS™. Detta datorprogram är tillverkat av Arthur D. Little Inc. Cambridge Massachusetts USA. Programmet möjliggör simulering av olika typer av utsläpp med efterföljande spridning.

Följande utsläppssituationer kan väljas:

- Vätskeutsläpp
- Vätskepool
- Utsläpp av en tryckkondenserad gas (= vätskefasutsläpp)

- 2-fasutsläpp (=blandning mellan gas och vätska)
- Gasutsläpp

Följande spridningsförlopp kan simuleras:

- Momentan tunggasspridning
- Kontinuerlig tunggasspridning
- Gas eller 2-fas jet
- Gaussisk spridning av lätta eller neutrala gaser

I denna rapport kommer endast ett spridningsförlopp att användas varför ingen närmare beskrivning görs av de andra förloppen. För en utförligare redovisning av alla modeller hänvisas till Little[16].

Den modell som används i denna rapport är kontinuerlig tunggasspridning. Indata kan delas upp i två huvuddelar, omgivningsfaktorer och utsläppsfaktorer. Nedan beskrivs de indata som krävs för simuleringarna. Värdet på samtliga indata ges i enlighet med den tidigare redovisningen i kapitel 3 och 4. Eftersom redovisningen i kapitel 3 utgick ifrån förenklade modeller kan datorprogrammet kräva ytterligare indata. Skulle detta i någon mån inverka på regressionsuttrycket redovisas detta.

5.2.2 Omgivningsfaktorer

Ytråhet

Ytråheten behandlas som en variabel med värden enligt kapitel 4.

Omgivningens temperatur

Temperaturen behandlas som en variabel med värden enligt kapitel 4.

Omgivningens tryck

Som visades i kapitel 3 är variationen i atmosfärstrycket liten och denna variation påverkar ej skyddsområdets utsträckning nämnvärt. Den behandlas därför som en konstant med värdet 101,325 kPa, vilket är normalvärdet för atmosfärstrycket.

Relativ fuktighet

Den relativa fuktigheten har inte tidigare behandlats i rapporten. Luftens fuktighet kan inverka på spridningen genom att ammoniaken (som är löslig i vatten) förenar sig med luftfuktigheten och därmed blir tyngre. En högre luftfuktighet skulle därför kunna bidra till att minska skyddsområdets utsträckning. En känslighetsanalys i CHEMS-PLUS visar dock att spridningen inte påverkas nämnvärt. Inga skillnader kan uppfattas vare sig den relativa fuktigheten sätts till 0 eller 100 %. Medelvärdet 50 % kommer därför att användas som ett konstant värde vid beräkningarna.

Atmosfärens stabilitetsklass

Enligt resonemanget i kapitel 3 kommer stabilitetsklass D att användas för framtagningen av regressionsuttrycket. I ett senare skede kommer omräkningsfaktorer att skapas för de andra stabilitetsklasserna.

Vindhastighet

Vindhastigheten behandlas som en variabel med värden enligt kapitel 4.

Mäthöjd för vindhastigheten

Mäthöjden 10 m används vid beräkningarna. Skulle annan mäthöjd vara aktuell vid användningen av kan uttrycket modifieras enligt appendix E.

5.2.3 Utsläppsfaktorer

Utsläppstemperatur

I utsläppsögonblicket sker en dramatisk trycksänkning (från tanktryck till atmosfärstryck). Denna trycksänkning medför att den utströmmande gasen eller vätskans temperatur kommer att sjunka ner till ämnets kokpunkt. Ammoniaks kokpunkt är således det värde som skall användas för denna faktor. Värdet 240 K (-33°C) ansätts därför som ett konstantvärde vid beräkningarna.

Molförhållandet gas/vätska

Molförhållandet gas/vätska har inte tidigare förekommit i rapporten. Då en gas strömmar ur behållaren är detta värde 1,0, d.v.s. allt som strömmar ut och fortsätter i molnet är gas. Då en vätska strömmar ut är det inte lika enkelt. En del av vätskan kommer direkt i utströmningsögonblicket att övergå till gas. Större delen kommer dock att fortsätta vara i vätskefas under en del av spridningsförloppet. Det värde som skall anges vid beräkningarna är den andel av vätskan som i utsläppsögonblicket övergår till gas. All annan fasändring beräknar spridningsprogrammet. Värdet ges av CHEMS-PLUS modell Two-Phase Expansion/Aerosolization. Värdet beror endast på vilken temperatur som råder varför denna beräkningsmodell inte närmare kommer att beskrivas. Endast värdet för molförhållandet mellan gas/vätska kommer att användas från denna modell. Det påverkar inte regressionsuttryckets utformning.

Vid låga temperaturer räknar datorprogrammet med att en viss del av vätskan kommer att bilda en pöl på marken. Då denna rapport inte tar hänsyn till sådan pölbildning är denna mängd inräknad som vätska i förhållandet vätska/gas.

Massflöde

Massflödet ges av beräkningarna enligt kapitel 5.1 ovan. Det är således en variabel vid beräkningarna i spridningsmodellen.

Utsläppets varaktighet

I den teoretiska genomgången i kapitel 3 förutsätts att utsläppet är ett kontinuerligt utsläpp. Ett kontinuerligt utsläpp antas pågå oändligt lång tid varför tidsfaktorn inte finns med i några av de redovisade funktionerna. Ett akut utsläpp från en tank har dock en tidsmässig borte begränsning. Utsläppet upphör då en av de nedanstående händelserna inträffar:

- Läckaget tätas.
- All ammoniak har läckt ut och tanken är tom.
- Läckaget upphör p.g.a. att ammoniakslutan slutar att förångas (gasfasutsläpp).

Om utsläppet sker i ammoniakens gasfas kräver fortsatt läckage att vätskan avdunstar och därmed ”fyller på” gasfasen. Denna avdunstning kräver dock energi och denna energi tas från vätskan. Därmed kyls vätskan ner och när vätskans temperatur sjunkit under kokpunkten upphör vidare avdunstning. Läckaget kan dock fortsätta eftersom tanken värms upp av omgivningen. Vidare utsläpp är dock begränsat vilket också underlättar tätning av läckaget.

Då läckaget av någon av de tre ovanstående orsakerna upphör slutar det också vara kontinuerligt. Skyddsområdets utsträckning är dock inte beroende av tidsfaktorn. Det kan dock av andra orsaker vara intressant att uppskatta tidsfaktorn t.ex. för att bedöma hur lång tid människor utsätts för gasmolnet etc. Detta behandlas dock inte i denna rapport varför tidsfaktorns värde är ointressant. Värdet 2 timmar = 7200 sekunder kommer att användas som ett konstant värde vid beräkningarna.

Molnets bredd

Denna faktor gör det möjligt att ange halva molnets initiala bredd. Den är dock ointressant för skyddsområdets utsträckning varför värdet 0 (enligt anvisningar i Little [16]) används vid beräkningarna.

Gränssättande koncentration

Den gränssättande koncentrationen sätts till 50 PPM enligt kapitel 3. Genom att ange detta värde kommer datorprogrammet direkt ge avståndet till denna koncentration.

5.2.4 Sammanfattning av indata till spridningsmodell

I tabell 5.3 respektive 5.4 ges en sammanfattning av de indata som krävs för beräkningar i CHEMS-PLUS spridningsmodell.

Indata	Värde	Kommentar
Ytråhet	0,0001; 0,2; 0,4; 1,3; 3,0 m	Variabelvärden enligt kap 4
Omgivningens temperatur	250; 263; 275; 285; 308 K	Variabelvärden enligt kap 4, samma som tankinnehållets temperatur och därmed tanktrycket.
Omgivningens tryck	101,325 kPa	Normalvärde för atmosfärstrycket
Relativ fuktighet	50 %	
Stabilitetsklass	D	
Vindhastighet	0,1; 1,3; 3,5; 9; 30,5 m/s	Variabelvärden enligt kap 4
Mäthöjd för vindhastigheten	10 m	

Tabell 5.3: Indata som rör omgivande faktorer för beräkning av spridningen.

Indata	Värde	Kommentar
Utsläpps temperatur	240 K	Ammoniaks kokpunkt
Molförhållande gas/vätska	Ges av CHEMS-PLUS	Beror av temperaturen
Massflöde	Ges av beräkningarna enl. kap 5.1	
Utsläppets varaktighet	7200 s	
Molnbredd	0 m	
Gränssättande koncentration	50 PPM	

Tabell 5.4: Indata som rör utsläppsfaktorer för beräkning av spridningen.

6 Regressionsanalys

6.1 Allmänt

Regressionsanalysen kommer att genomföras enligt följande:

1. Massflödesberäkningar i Excel genomförs för samtliga kombinationsmöjligheter för tanktryck och håldiameter.
2. Spridningsberäkningar för att få fram avståndet till 50 PPM genomförs för alla kombinationsmöjligheter för massflöde, temperatur, ytråhet och vindhastighet.
3. En analys av samtliga värden på skyddsavståndet och variablerna i regressionsuttrycket genomförs i Excel.

Momenten ovan skall genomföras två gånger eftersom två uttryck skall skapas, ett för gasfas- och ett för vätskefasutsläpp.

Samtliga variabler ingående i regressionsuttrycket har tilldelats fem värden. Således ger detta $5^4 = 625$ kombinationsmöjligheter och därmed 625 samtliga värden på variablerna och skyddsavståndet.

6.2 Regressionsuttryck för gasfasutsläpp

På grund av begränsningar i CHEMS-PLUS kan inte simuleringar med ett massflöde mindre än cirka 0,002 kg/s (motsvarande $d=0,005$ m och $T=250$ K) simuleras. Detta medförde att 25 simuleringar utgick. Det får dock bedömas som oväsentligt för regressionsuttryckets utformning.

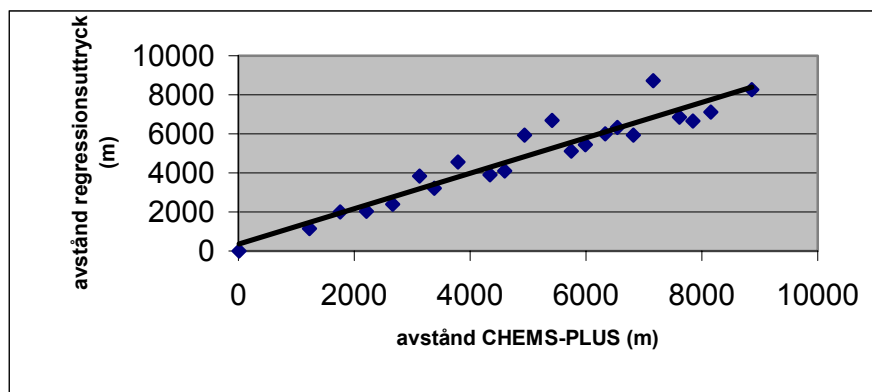
Regressionsanalysen visar att avståndet till koncentrationen 50 PPM, skyddsavståndet, kan för gasfasutsläpp beräknas med följande formel:

$$X_g = 6,6 \cdot 10^{-9} \cdot d^{1,1} \cdot u^{-0,56} \cdot z_0^{-0,08} \cdot (T+273)^{5,24}$$

Där d = håldiametern (m)
 u = vindhastigheten (m/s)
 z_0 = ytråheten (m)
 T = temperaturen ($^{\circ}\text{C}$), observera variabelns enhet

Uttrycket överensstämmer väl med indatamaterialet. Korrelationskoefficienten, R , är så hög som 99,7 %. En jämförelse mellan avståndsberäkningarna i CHEMS-PLUS och med hjälp av uttrycket visas i figur 6.1.

Då regressionsanalysen utförs kan konstantens värde väljas till noll eller att regressionen ger ett värde även på denna. Ett försök att sätta konstanten till noll visade dock att uttrycket får en sämre anpassning till indatamaterialet.



Figur 6.1: Jämförelse mellan CHEMS-PLUS och regressionsuttrycket för gasfasutsläpp. Den inlagda trendlinjen visar att överensstämmelse mellan CHEMS-PLUS och regressionsuttrycket är bra.

6.3 Regressionsuttryck för vätskefasutsläpp

Simuleringarna i CHEMS-PLUS visar att om utsläppshålet är mycket stort och vindhastigheten är mycket låg överskrider det maximala avstånd som datorprogrammet kan räkna med. En ny begränsning måste därför införas. Skulle regressionsuttrycket ge ett avstånd på $> 1 \cdot 10^5$ m kan uttryckets korrekthet inte garanteras.

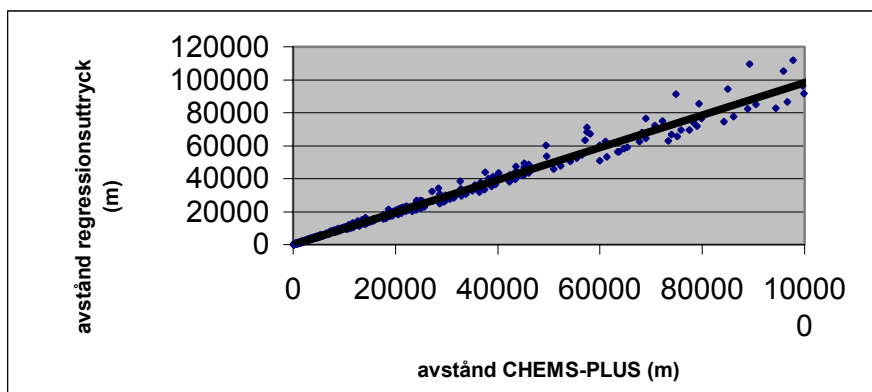
Avståndet till koncentrationen 50 PPM, skyddsavståndet, kan för vätskefasutsläpp beräknas med följande formel:

$$X_1 = 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot d^{1,13} \cdot u^{-0,6} \cdot z_0^{-0,05} \cdot (T+273)^{4,7}$$

Där
 d = håldiametern (m)
 u = vindhastigheten (m/s)
 z₀ = ytråheten (m)
 T = temperaturen (°C), observera variabelns enhet

Uttrycket överensstämmer väl med indatamaterialet. Korrelationskoefficienten, R; är så hög som 99,7 %. En jämförelse mellan CHEMS-PLUS och uttrycket visas i figur 6.2.

Precis som i fallet med gasfasutsläpp visar regressionsanalysen en sämre anpassning till indatamaterialet om konstantens värde sätts till noll.



Figur 6.2: Jämförelse mellan CHEMS-PLUS och regressionsuttrycket för vätskeutsläpp. Den inlagda trendlinjen visar en mycket bra överensstämmelse mellan CHEMS-PLUS och regressionsuttrycket.

6.4 Begränsningar

Uttrycken är behäftade med ett antal begränsningar som införts efterhand i rapporten. Nedan redovisas samtliga införda begränsningar.

Uttrycket ger korrekt resultat för skyddsavståndet endast då:

- Utsläpp sker från kort kanal eller ett hål direkt på tanken.
- Väderförhållandena motsvarar stabilitetsklass D.
- Variabelvärden inom nedanstående gränser väljs:

$$\begin{aligned}
 0,005\text{ m} &\leq d \leq 0,3 \text{ m} \\
 -23^{\circ}\text{C} &\leq T \leq +35^{\circ}\text{C} \\
 0,0001 \text{ m} &\leq z_0 \leq 3,0 \text{ m} \\
 0,1 \text{ m/s} &\leq u \leq 30,5 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

- Hålets utformning motsvarar en kontraktionsfaktor, $C_D = 1,0$.
- Referenshöjden 10 m för vindmätning används.
- Övriga variabler som påverkar skyddsavståndet kan betraktas som konstanta.

6.5 Modifiering av regressionsuttrycket

Som tidigare redovisats kan de framtagna regressionsuttrycken modifieras så att ett skyddsavstånd kan erhållas då annan stabilitetsklass än D kan anses råda eller då en annan referenshöjd än 10 m används.

6.5.1 Modifiering avseende stabilitetsklass

Stabilitetsklassen har som tidigare redovisats stor betydelse för skyddsområdets utsträckning. Det är således nödvändigt att det med regressionsuttrycket framräknade värdet går att modifie-

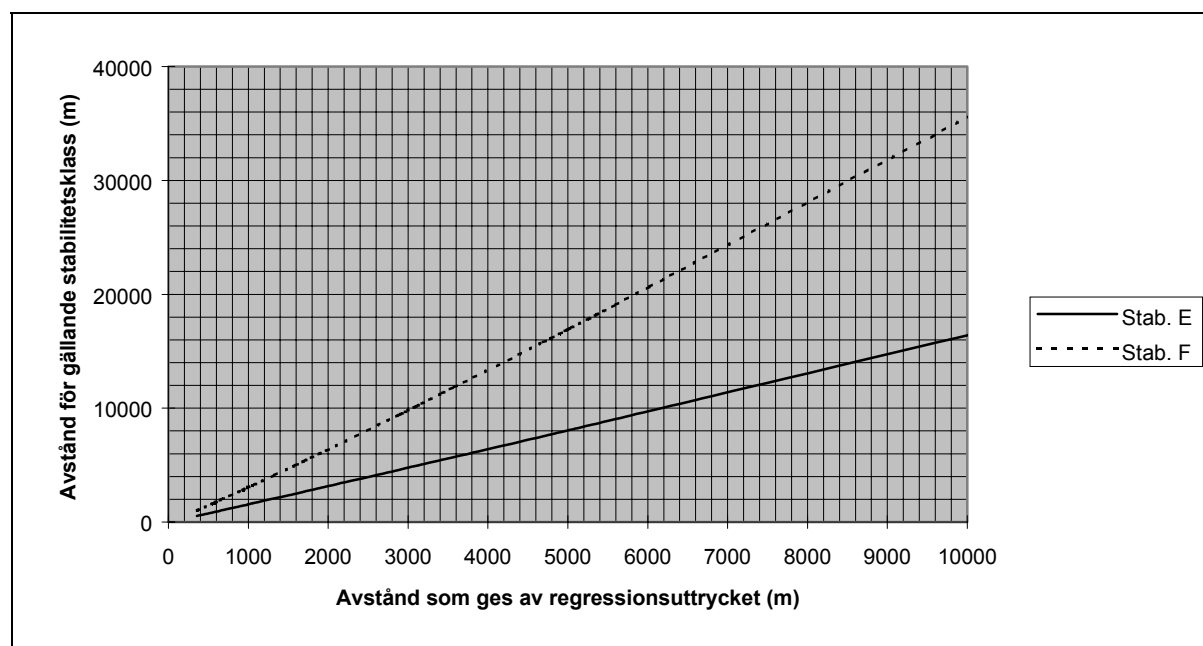
ra avseende stabilitetsklassen. I appendix D redovisas ett antal diagram där det framräknade värdet genom avläsning i ett diagram ger ett nytt värde som skall motsvara det avstånd som erfordras vid den rådande stabilitetsklassen (om denna är en annan än D). I figur 6.3 exemplifieras detta med hjälp av diagrammet för stabilitetsklass E och F gällande vätskeutsläpp.

Till varje stabilitetsklass (A-C, E och F) har ett regressionsuttryck skapats med avståndet från de ursprungliga regressionsuttrycken som den förklarande variabeln. Simuleringar med tre värden för de ursprungliga variablerna har genomförts för varje stabilitetsklass A-C och E-F. De värden som CHEMS-PLUS gett har fungerat som y-indata och de avstånd som de ursprungliga regressionsuttrycken gett för samma värden på variablerna har fungerat som x-indata.

$$y = k \cdot x^A \quad \Rightarrow \quad X_{\text{stab A}} = k \cdot X_I^A$$

För simuleringarna i CHEMS-PLUS har endast tre variabelvärden använts. Detta medför att 81 samtidiga värden på avståndet från regressionsuttrycken och avståndet för respektive stabilitetsklass ligger till grund för framtagningen av de ”nya” regressionsuttrycken. Diagram och uttryck är redovisade i appendix D. Exempel på diagram och uttryck visas nedan.

$$X_{EI} = 1,324 \cdot X_I^{1,023}$$



Figur 6.3: Diagram för att bedöma avståndet till den gränssättande koncentrationen om stabilitetsklass E eller F kan anses råda istället för regressionsuttryckets stabilitetsklass D. Diagrammet avser avstånd kortare än 10000 m samt utsläpp i vätskefas.

6.5.2 Modifiering avseende referenshöjd

Skulle ett behov föreligga att använda annan referenshöjd än 10 m för vindhastighetsmätning kan uttrycket modifieras. Anvisningar för detta ges i appendix E.

7 Osäkerhetsanalys

De användarinstruktioner som detta kapitel syftar till att skapa redovisas separat i Appendix G: Användarinstruktion för utsläpp av ammoniak från lastbilstank eller järnvägsvagn. Detta för att möjliggöra enkel kopiering.

7.1 Allmänt

För att kunna använda regressionsuttrycket måste alla variabler vara kända. Det kan enligt tidigare resonemang vara enklare att bestämma t.ex. vindhastigheten än håldimensionen etc. För att ändå kunna bestämma ett skyddsområde kan regressionsuttrycket i kombination med sannolikhetsfördelningarna användas.

I det fall då inga variabler är kända eller man av annan anledning inte kan utnyttja regressionsuttrycket kan en simulering i datorprogrammet @Risk ge en vägledning om vilket avstånd som är lämpligt att avsätta. Med hjälp av sannolikhetsfördelningarna kan datorprogrammet @Risk skapa en fördelning på sannolikheten för olika utfall från regressionsuttrycket. Ur fördelningen kan enkelt uttryckt utläsas vilka avstånd som är mer sannolika än andra. För att bestämma ett generellt skyddsavstånd måste en avvägning göras mellan hur ”säkert” avståndet bör vara och sannolikheten för att det uppkommer. En avläsning vid t.ex. 95%-fraktilen ger då skyddsavståndet som i 95% av alla tänkbara scenarion inte överskrids.

Skulle en eller flera variabler vara okända måste användaren ha möjlighet att välja ett lämpligt värde. Rapporten har tidigare beskrivit hur variablerna kan bestämmas. Ett sätt att välja variabelvärden är att ur sannolikhetsfördelningarna hämta lämpliga ”säkra värden”. Ur fördelningen kan precis som ovan t.ex. 95%-värdet hämtas och användas. Det måste dock betonas att denna metod starkt kan överskatta skyddsområdets utsträckning varför användaren först bör göra en egen bedömning av tänkbart variabelvärde.

Nedan presenteras en kort teoribakgrund till @Risk-simuleringarna, val av lämplig konfidensnivå samt de generella skyddsavståndet och de variabelvärden som hämtats från respektive sannolikhetsfördelning.

7.2 Teori

Analysen utförs i programmet @Risk med de simuleringsinställningar som beskrivs nedan. Vid varje beskrivning ges också en kort teoretisk bakgrund. I @Risk ersätts variablerna i regressionsuttrycket med de sannolikhetsfördelningar som tidigare skapats. Vid simuleringen drar datorprogrammet ett värde ur varje fördelning vid beräkningen av skyddsområdets utsträckning. Beräkningarna (iterationerna) upprepas tills en ”säker” (=beräkningarna konvergerar) fördelning över möjliga regressionsuttrycksutfall skapats.

Den teoretiska bakgrunden har hämtats från datorprogrammet @Risks hjälpfiler [18].

7.2.1 Iterationer

Antalet iterationer har valts till 20000.

Vid val av antal iterationer (eller beräkningar) som skall utföras är det viktigt att beakta simuleringens komplexitet som t.ex. antal variabler, fördelningarnas utseende m.m. Ju mer komplext det är desto svårare är det att uppnå konvergens, d.v.s. att fördelningen inte förändras om ytterligare beräkningar utförs. Det enklaste sättet att kontrollera detta är att utföra test-simuleringar. Dessa testsimuleringar har visat att 20000 iterationer kan vara lämpligt att utföra.

7.2.2 Sampling

Latin Hyper Cube har valts som simuleringsmodell.

Under @Riskmenyn ”sampling” kan två olika simuleringsmetoder användas, dels Monte Carlo-simulering dels Latin Hyper Cube-simulering. MC (Monte Carlo) väljer värden ur sannolikhetsfördelningen helt slumpvis medan LHC (Latin Hyper Cube) först delar in fördelningen i ett antal lika stora delar (där antalet är lika med antalet iterationer) och därefter drar ett värde från varje del. Skillnaden mellan dessa två metoder är således att MC p.g.a. slumpmässigheten kommer att hämta de mest sannolika värdena medan LHC tvingar simuleringen att välja även sådana variabelvärden som har låg sannolikhet.

För simuleringar där antalet iterationer är litet kan MC ge en missvisande bild eftersom ytterlighetsvärden inte kommer med i beräkningarna. Det är i de fallen bättre att använda LHC. Då antalet iterationer är stort, som i de simuleringar som utförs i denna rapport, är skillnaden mellan de två metoderna försumbar. Det stora antalet iterationer medför att även MC kommer att hämta variabelvärden med låg sannolikhet.

För att vara helt säker på att ytterlighetsvärdena kommer med i beräkningarna används Latin Hyper Cube som modell.

7.2.3 Konvergens

Konvergenskriteriet max 1,5% avvikelse har valts.

Konvergens är ett mått på hur skyddsavståndets sannolikhetsfördelning förändras mellan beräkningarna. @Risk mäter tre olika förändringar på fördelningen.

Den procentuella förändringen på:

1. Percentilerna (mellan 0-100%) i 5%-intervall
2. Medelvärde
3. Standardavvikelsen

Den procentuella avvikelsen får inte överstiga det valda värdet om konvergens skall anses råda.

Vid val av den procentuella avvikelsen måste beaktas att inga sannolikhetsfördelningar kan vara perfekta. Det är därför inte meningsfullt att välja ett mycket lågt värde. Därför har datorprogrammets defaultvärde (förinställt värde) använts.

7.3 Konfidensnivå

Bestämningen av ett skyddsområde måste ske med så hög säkerhet som möjligt. På grund av utformningen av osäkerhetsanalysen är det dock ej rimligt att lägga säkerhetsnivån på 100%, d.v.s. att skyddsområdet i samtliga fall aldrig får överskridas. Detta skulle innebära att det framräknade avståndet blir onödigt långt i kombination med att sannolikheten för detta avstånd blir mycket liten. Således måste en avvägning ske mellan sannolikheten för utfallet och den säkerhetsnivå som vill uppnås.

Vilken säkerhetsnivå är då önskvärd? Denna fråga är inte lätt att besvara. Naturligtvis måste det alltid eftersträvas att hålla så hög säkerhet som möjligt. Uppfattningen om vad hög säkerhet är kan dock skifta från person till person. Medan en uppfattar att det bör vara till 99% säker att det valda skyddavståndet aldrig överskrids kan en annan person uppleva det lika säkert om gränsen sätts till 90 eller 95%.

I Nordamerika används en handbok som liknar de Farligt Gods blad [3] som används av svensk räddningstjänst. Handboken NAERG96 (North American Emergency Response Guidebook) ger förutom den information som finns i bl.a. [3] även förslag på vilket skyddsavstånd som kan vara lämpligt att avsätta. I förarbetena till NAERG96 har skyddsavstånden bestämts på ungefär samma sätt som i denna rapport. Den valda konfidensnivån utgörs av 90%-fraktilen, d.v.s. i 90 % av alla utsläppssituationer överskrids ej det valda skyddsavståndet. (CANUTEK [19])

För att möjliggöra en jämförelse och då det inte finns nationella bestämmelser samt för att undvika subjektiva bedömningar har den nivå som används i NAERG96 valts i denna rapport.

7.4 Utsläpp från lastbilstank

Användarinstruktionen för utsläpp från lastbilstank redovisas i appendix G.

Vid osäkerhetsanalysen har följande värden fastställts för skyddsområdets utbredning då alla variabler är okända:

GASFASUTSLÄPP: 300 m

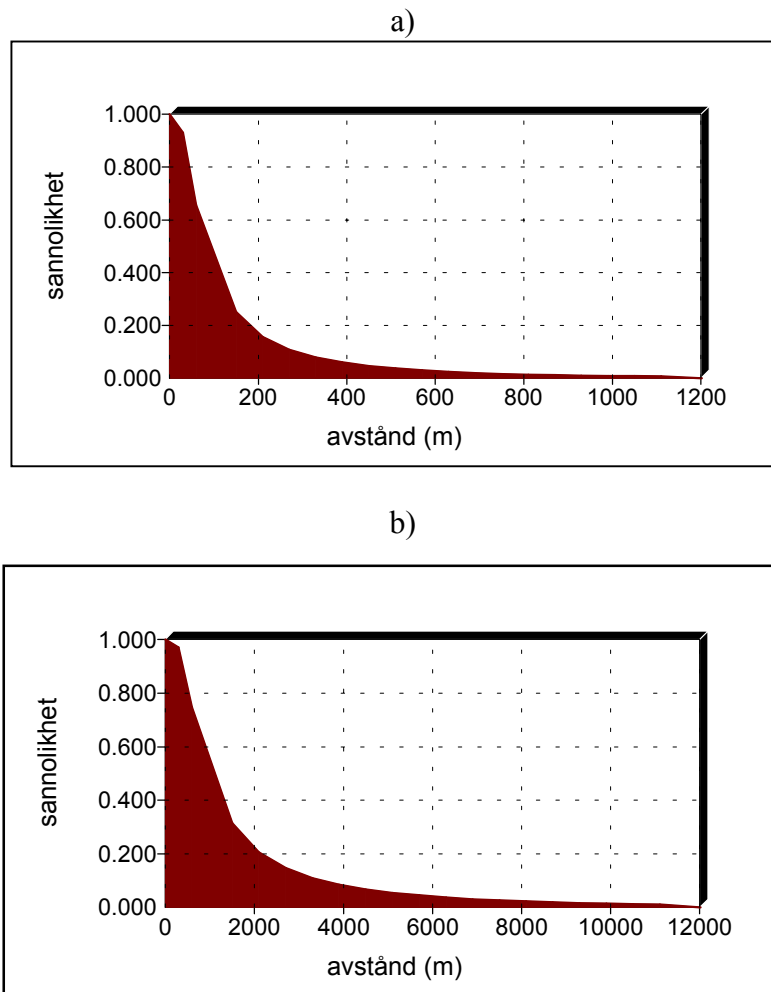
VÄTSKEFASUTSLÄPP: 3300 m

Värdena motsvarar 90%-fraktilen. Diagram 7.1 redovisar sannolikhetsfördelningarna från simuleringarna.

För värden på enstaka variabler hämtade ur sannolikhetsfördelningarna kan dessa hämtas direkt från antingen BestFit eller RiskView. En avläsning vid önskad fraktil ger direkt motsvarande variabelvärde. Eftersom det krävs att variabelvärdena är på ”säkra sidan” hämtas 90%-fraktilvärdet från fördelningarna för håldimensionen och temperaturen. För värden på ytråheten och vindhastigheten hämtas 10%-fraktilvärdena eftersom skyddsavståndet ökar ju lägre värdena är på ytråheten och vindhastigheten. Avläsningen har gett följande värden på variablerna:

Håldimension, gasfasutsläpp:	0,017 m
Håldimension, vätskefasutsläpp:	0,018 m
Vindhastighet:	1,0 m/s
Ytråhet:	0,4 m
Temperatur:	18 °C

Det bör poängteras, enligt resonemanget tidigare i rapporten, att dessa variabelvärden endast bör användas då värdet på inga andra sätt kan bestämmas. Värdena får ej användas utan eftertanke.



Figur 7.1: De erhållna sannolikhetsfördelningarna för fallen då inga variabler är kända a) avser gasfasutsläpp och b) vätskefasutsläpp. Båda avser utsläpp från lastbilstank.. Observera att sannolikheterna på y-axeln anger den sannolikhet det är att ett avståndsvärde ej överskrids.

7.5 Utsläpp från järnvägsvagn

Användarinstruktionen för utsläpp från järnvägstank redovisas i appendix G.

Vid osäkerhetsanalysen har följande värden fastställts för skyddsområdets utbredning då alla variabler är okända:

GASFASUTSLÄPP: 300 m

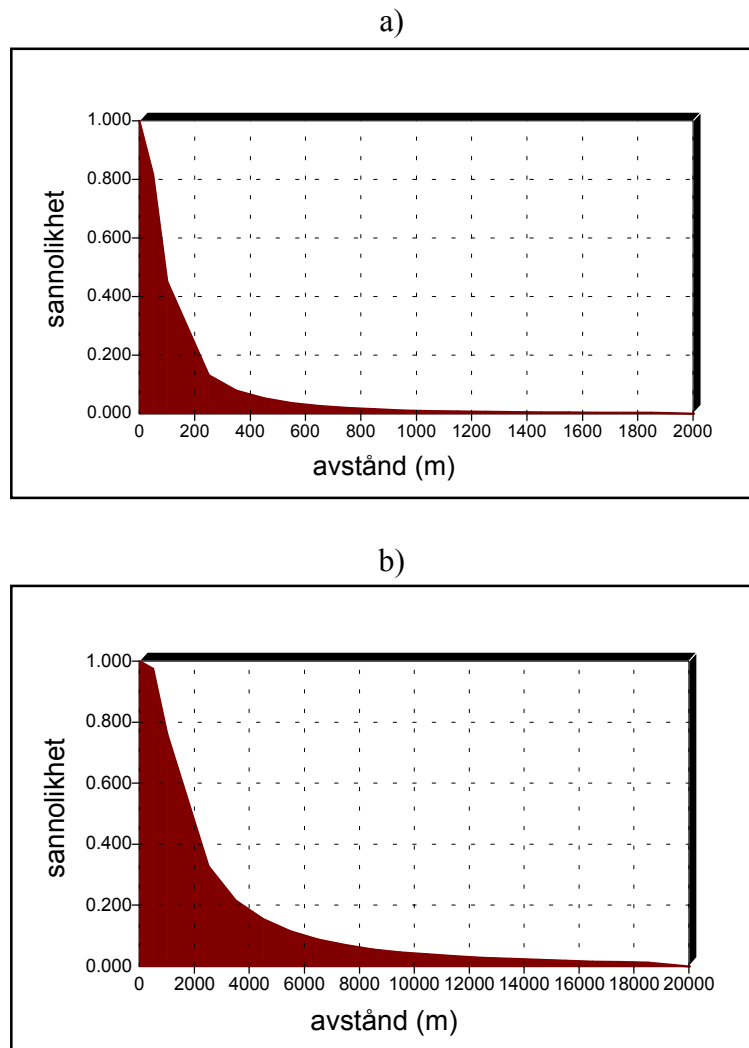
VÄTSKEFASUTSLÄPP: 5600 m

Värdena motsvarar 90%-fraktilen. Figur 7.2 redovisar sannolikhetsfördelningarna från simuleringarna.

Vad avser variabelvärdena är resonemanget samma som för fallet med lastbilstank ovan. Värdena för ytråheten, vindhastigheten och temperaturen är identiska eftersom endast en sannolikhetsfördelning finns för respektive variabel. För håldimensionen skiljer sig dock värdena åt. Följande värden har avlästs ur fördelningarna:

Håldimension, gasfasutsläpp:	0,017 m
Håldimension, vätskefasutsläpp:	0,030 m
Vindhastighet:	1,0 m/s
Ytråhet:	0,4 m
Temperatur:	18 °C

Precis som i fallet med lastbilstank är det viktigt att poängtera att värdena inte får användas utan eftertanke.



Figur 7.2: De erhållna sannolikhetsfördelningarna för fallen då inga variabler är kända a) avser gasfasutsläpp och b) vätskefasutsläpp. Båda avser utsläpp från tank på järnvägsvagn. Observera att sannolikheten på y-axeln anger sannolikheten för att ett avståndsvärde ej överskrids.

8 Slutdiskussion

I rapporten har ett flertal antagande gjorts och begränsningar införts för att kunna ta fram regressionsuttrycket. Dessa antaganden och begränsningar medför att uttryckets användningsområde begränsas. Nedan ges en beskrivning i punktform över några av de antaganden och begränsningar som gjorts och hur de påverkar uttrycket samt vilka utredningsbehov som kvarstår för att kunna göra uttrycket än mer användbart.

- **Ämnesrelaterat uttryck:** Uttrycket gäller endast för ammoniak. Att skapa ett ämnesoberoende uttryck får anses som omöjligt eftersom varje ämne beter sig olika under både utsläpps- och spridningsfasen.
- **Gränssättande koncentration:** Den gränssättande koncentrationen har valts till 50 PPM. Denna koncentration har valts därför att den utgör takgränsvärde enligt Arbetarskyddsstyrelsens bestämmelser samt en i rapporten utförd Probit-analys. Det är lämpligt att även för andra ämnen använda samma utgångspunkt då gränssättande koncentration väljs. En annan möjlighet är att låta koncentrationen ingå i uttrycket. Därigenom skulle användningsområdet troligen öka eftersom takgränsvärdet är olämpligt att använda t.ex. vid riskanalysberäkningar för fasta tankar, där beräkningarna ofta utgår ifrån LC 50 (Lethal Concentration 50%). För det fall som denna rapport behandlar är det dock oväsentligt att infoga koncentrationen eftersom det från början bör vara klart vilken koncentration som bör avgöra hur lång utsträckning skyddsområdet skall ha.
- **CHEMS-PLUS:** Datorprogrammet CHEMS-PLUS har använts för framtagningen av avståndet till den valda koncentrationen. Denna modells tillförlitlighet har inte utretts. Det är fullt möjligt att det på marknaden existerar bättre modeller som ger mer tillförlitlig spridningsresultat. Modellen har dock använts för att den är välkänd av flertalet brandingenjörer och den, troligen, är den mest använda modellen. En särskild utredning om vilken modell som är mest lämplig att använda skulle dock vara en väg att gå för att göra uttrycket än mer tillförlitligt. Andra modeller kan också vara mer användarvänliga än vad CHEMS-PLUS är i dagsläget.
- **Antal variabelvärden:** För framtagningen av regressionsuttrycket användes 5 olika värden på variablerna. Beräkningarna ger en fingervisning om att det troligen hade räckt med färre. Korrelationskoefficienten för uttrycken är så hög som 99,7 %. För de uttryck som skapades för modifiering avseende stabilitetsklass användes endast 3 värden. Korrelationskoefficienten var ändå så hög som 99,4 –99,6 %. Det bör därför vara fullt möjligt att använda färre värden och därigenom minska tiden för framtagningen.
- **Tankinnehållets temperatur:** Vid kontakter med representanter för Hydro Agri i Landskrona framgick att uppvärmningen av tankinnehållet från lastningstemperaturen +2°C respektive +10°C är mycket långsam. Deras uppfattning är att uppvärmningen endast är marginell under den tid som transporten sker (omkring 3 dagar). Skulle detta vara riktigt kan slutsatsen dras att regressionsuttrycket till stora delar kan vara felaktigt. Rapporten visar att temperaturen har en betydande påverkan på uttrycket. Det har dock ej utretts om Hydro Agris uppfattning är korrekt. Denna fråga hänvisas därför till andra att utreda.

- **Håldimension:** Rapportens sannolikhetsfördelning bygger på tankarnas utformning samt frekvensdata från i huvudsak Cox et.al. [13]. Att utgå ifrån tankarnas utformning måste vara att föredra. Det ställer dock krav på att de aktuella tankarna är utformade i stort sett lika. Då det gäller frekvensdata för olika håldimensioner är det endast att konstatera att denna inte finns i den omfattning som vore önskvärt. Med det utbud av risklitteratur som existerar borde det dock finnas betydligt mer än vad som framgår av denna rapport. Ett ytterligare utredningsbehov bör därför vara att sammanställa den frekvenslitteratur som finns för att därigenom ”slippa” att uppfinna hjulet varje gång riskanalysberäkningar skall utföras.

Att bestämma ett skyddsområde kan vara både komplicerat och omständligt. En mängd antagande krävs vanligen för att få ett skyddsområde som väl överensstämmer med verkliga förhållande. Den metod som beskrivits i denna rapport kan förhoppningsvis vara ett steg på vägen för att förenkla förfarandet vid skyddsområdesbestämning.

Att använda matematiska uttryck kan givetvis avskräcka någon men efter genomläsning av rapporten och övning bör det inte skapa problem. Det är dock viktigt att poängtera att användningen av regressionsuttrycket kräver att användaren har kunskap om spridning av gaser. Det är också viktigt att användaren är väl insatt i vad som inträffar om felaktiga värden väljs t.ex. att tillfälliga lufttemperatursänkningar kan ge värden som kraftigt understiger det verkliga avståndet.

Vilken modell för skyddsområdesbestämning skall då användas? Kanske de generella skyddsavstånden, tumregeln om två gånger ångtrycket i meter eller någon helt annan modell. Generellt kan sägas att om datorprogram kan användas är detta givetvis att föredra, det kräver dock att användarvänligheten är bra samt att klara anvisningar finns för val av variabelvärden. Det är dessutom fortfarande relativt ovanligt att datorer finns för de operativa styrkorna. Den modell som presenterats i denna rapport skulle därför kunna användas, kanske som ett komplement till andra modeller eller som en väl fungerande självständig modell.

Skulle uttryck för andra ämnen skapas behöver stora delar av denna rapport inte upprepas. Så länge ämnet är en tunggas kan den mesta redovisningen tillämpas även för detta ämne. Därmed blir arbetsinsatsen begränsad och möjligheterna större att få fram flera användbara regressionsuttryck.

Källförteckning

1. <http://www.scb.se/scbswe/mhhtm/miljokemikalier3.htm>, Statistiska Centralbyråns hemsida 990217
2. Bennet G.F., Feates F., Wilder I.: "Hazardous Materials Spills Handbook", ISBN 0-07-004680-8, McGraw-Hill Book Co., New York 1982
3. Farligt gods kort, Svenska Brandförsvarsförbundet, Stockholm
4. Andersson, G., Jorner, U., Ågren, A.: "Regressions- och tidsserieanalys med och utan datorstöd", ISBN 91-44-19871-X, Studentlitteratur, Lund 1983
5. Hydro Agri: Muntlig kontakt med säkerhetsavdelningen på Hydro Agri i Landskrona, Alf Andersson, 990201
6. Zumdahl S.: "Chemical Principles", ISBN 0-669-39321-5, D.C. Heath and Company, Lexington MA, 1995
7. Fischer S., Forsén R., Hertzberg O., Jacobsson A., Koch B., Runn P., Thaning L., Winter S.: "Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor, Metoder för bedömning av risker", FOA-D—5-00099-4.9—SE, Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm 1995
8. http://www.smhi.se/kund_t/index.htm, SMHI hemsida 990221, frågemail
9. Nyrén K., Winter S.: "Two Phase Discharge of Liquefied Gases Through Pipes", FOA-B 40139-C1, Försvarets Forskningsanstalt, Umeå 1984
10. Turner B.: "Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates, An Introduction to Dispersion Modelling 2nd ed.", ISBN 1-56670-023-X, CRC Press Inc., 1994
11. Taesler R.: "Klimatdata för Sverige", ISBN 91-540-2012-3, K L Beckmans Tryckeri AB, 1972
12. Pasquill, F., Smith, F.B.: "Atmospheric Diffusion 3rd ed", ISBN 0-85312-426-4, Ellis Horwood Ltd., 1983
13. Cox, A.W., Lees, F.P., Ang, M.L.: "Classification of Hazardous Locations", ISBN 0-85295-258-9, Institution of Chemical Engineers, Warwickshire 1990
14. Statistiska Centralbyrån: "Markanvändningen i Sverige", 2:a utgåvan, ISBN 91-618-0630-7, SCB, Stockholm 1993
15. <http://www.svensk-energi.com/miljoflik9.html>, Svensk Energiförsörjnings hemsida 990208
16. Little: Användarmanual till CHEMS-PLUS, Arthur D. Little Inc.
17. Anjemo R., Koch B., Runn P., Segerstedt B.: "Giftiga gasmoln", ISSN 0347-2124, Försvarets Forskningsanstalt, Umeå 1994
18. @Risk users guide @Risk version 3.5e (release 2), Palisade Corporation, 1997
19. http://www.tc.ca/CANUTEC/english/guide/toc/bgrnd_e.htm: "Background Information on the Initial Isolation and Protective Action Distance Table", CANUTEC: Canadian Transport Emergency Centre of the Department of Transport, Canada hemsida 990729
20. Fredén S.: Om sannolikhet för järnvägsolyckor med farligt gods", VTI rapport Nr 387:2 1994, ISSN 0347-6030, Väg och Transportforskningsinstitutet 1994
21. Körner S., Wahlgren L.: "Praktisk statistisk", ISBN 91-44-00084-7, Studentlitteratur, Lund 1996
22. Granger Morgan M., Henrion M.: "Uncertainty, A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis, Cambridge University Press, Cambridge 1992
23. Saccomanno F., Cassidy K.: "Transportation of Dangerous Goods: Assessing the Risks", Waterloo Institute for Risk Research, University of Waterloo, 1993

Appendix A: Gränssättande koncentration

I rapporten har den gränssättande koncentrationen valts till 50 PPM. Detta har gjorts dels med anledning av Arbetarskyddsstyrelsens föreskrifter dels genom skadeutfallsberäkningar med hjälp av Probitfunktioner.

I detta appendix redovisas de beräkningar som utförts med Probitfunktionen. Beräkningarna bygger på Anjemo et.al. [17] och Fischer et.al [7]. Värdena för de olika variablerna har dock ändrats sedan referenslitteraturens tryckning varför nya värden erhållits från Försvarets Forskningsanstalt via Institutionen för Brandteknik, LTH.

Probit

För att bestämma ett visst skadeutfall, t.ex. hur stor andel av en population som får ett akut vårdbehov, vid en viss koncentration kan den så kallade Probitfunktionen användas. Skadeutfallet beror av ämnets giftighet, koncentrationen populationen utsatts för samt exponeringstiden. Den allmänna Probitfunktionen kan skrivas:

$$Pr = \alpha + \beta \cdot \ln(C^n \cdot t)$$

där Pr = ”Probit värdet”
 α , β , n = ämnesrelaterade konstanter
 C = koncentrationen (mg/m³)
 t = exponeringstiden (min)

Den ämnesrelaterade konstantens (α) värde beror av vilken typ av skada som studeras. Fem olika skador kan studeras: Förmimmelse, Besvär, Vårdbehov, Akut vårdbehov och Död. För respektive skada har α ett specifikt värde. Detta innebär att Probitvärdet måste beräknas för varje specifik skada. Konstanterna β och n beror enbart på vilket ämne som undersöks. Koncentrationen anges med det värde som vill undersökas. Exponeringstiden är den tid som den utsatta populationen utsätts för den valda koncentrationen.

Det Probitvärde som erhålls kan sedan via diagram översättas till ett procentvärde på hur stort skadeutfallet blir.

Gränssättande koncentration

Ett skyddsområdes yttre begränsning skall utgöra en gräns för det avstånd där personer utan skyddsutrustning skall kunna vistas. Detta måste således resultera i att personer utanför området inte skall behöva utsättas för skadliga koncentrationer. Skadliga koncentrationer bör kunna likställas med vårdbehov. Det är inte acceptabelt att personer utanför ett skyddsområde skulle tvingas uppsöka en vårdinrättning.

För att fastställa en lämplig gränssättande koncentration kan därför en beräkning på det procentuella utfallet av hur många som kräver vårdbehov vid olika koncentrationer utföras. Det procentuella utfallet skall vara nära noll (funktionen ovan kan ej generera värdet noll). Beräkningar för att bestämma det procentuella utfallet av personer som upplever besvär (vid samma koncentration) kompletterar bilden.

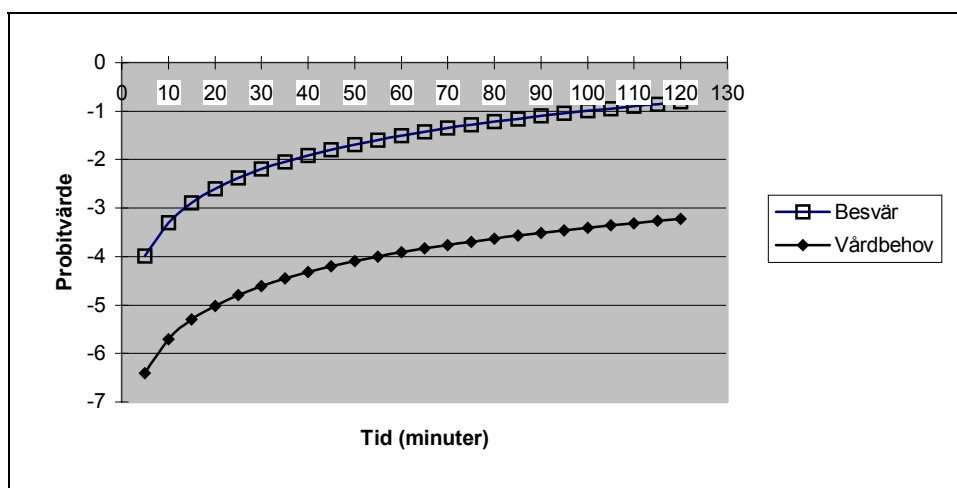
Beräkningar

För att bestämma vilken gränssättande koncentration som bör användas har skadeutfallet vid koncentrationen 50 PPM bestämts. Eftersom det på förhand inte går att bestämma vilken tid en population utsätts för koncentrationen (exponeringstid) har beräkningarna utförts med flera exponeringstider. För att illustrera utfallet ritas ett diagram upp visande Probitvärdena som funktion av exponeringstiden (se fig. A.1).

För beräkningarna har koncentrationen 50 PPM = 35 mg/m³ använts som ett konstantvärde. De modifierade värdena på konstanterna (från FOA via Institutionen för Brandteknik) är:

$$n = 2,0 \quad \beta = 1,0 \quad \alpha(\text{besvär}) = -12,71 \quad \alpha(\text{vårdbehov}) = -15,12$$

Det väsentliga med den gränssättande koncentrationen är att människor som utsätts för den inte skall behöva uppsöka en vårdinrättning, därför har beräkningar utförts för både skadeutfallet ”besvär” och ”vårdbehov”. Därigenom kan en jämförelse göras mellan utfallen .



Figur A.1: Probitvärden för olika exponeringstider för koncentrationen 50 PPM. Ett värde på -2,33 resulterar i ett procentuellt utfall på <1%.

Vid omvandling mellan Probit och procentuellt utfall resulterar värdet $Pr = -2,33$ i ett utfall, d.v.s. andelen som utsätts för den valda skadetyper, på <1% (se Fischer et.al. [7]). Ju närmare noll desto fler drabbas av den valda skadetyper.

Ur diagrammet kan därmed utläsas att personer utanför skyddsområdet, d.v.s. där koncentrationen får vara max 50 PPM, kan få besvär efter cirka 25 minuters exponeringstid (Probitvärdet större än -2,33). Kurvan för skadeutfallet ”vårdbehov” når dock aldrig upp till värdet -2,33 vilket innebär att ingen som finns utanför skyddsområdet skall behöva uppsöka en vårdinrättning. Det är dock väsentligt att påpeka att Probitfunktionen aldrig kan generera värdet 0%. Detta innebär att det kan, om än med mycket låg sannolikhet, inträffa att enstaka individer kan kräva ett visst vårdbehov.

Personer utanför skyddsområdet kommer således inte behöva uppsöka en vårdinrättning. Observerbart är dock att personer kan känna av besvär. Detta innebär att räddningsledningen måste informera personer utanför skyddsområdet om att besvär som är övergående kan uppkomma utanför skyddsområdet.

Appendix B: Stabilitetsklass och effektiv utsläppshöjd

Stabilitetsklass

Fakta om stabilitetsklasserna är hämtad från Fischer et.al. [7], Turner [10] och Pasquill and Smith [12].

Klassindelning

För att bättre kunna beskriva de atmosfäriska spridningsförhållandena har stabilitetsklasser införts. Indelningen bygger på att bedöma hur stabil atmosfären är vid olika typer av förhållande. Uppdelningen sker i tre klasser A, B och C för olika förhållanden dagtid och tre klasser E, F och G för olika förhållanden nattetid. Dessutom finns en klass D som anses kunna gälla både under dag och natt. Som natt räknas 1 timme efter solens nedgång till 1 timme innan solens uppgång. De förhållande som ligger till grund för indelningen av klasserna är:

- Vindhastighet (alla klasser)
- Uppåtriktat värmefflöde eller inkommande solstrålning (dagtid)
- Molnmängd (nattetid)

Generellt gäller att om klass A anses råda är atmosfären starkt instabil och om klass G gäller är atmosfären starkt stabil. Normalt används endast klasserna A-F, d.v.s. klass G är så ovanlig att den inte används för beräkningar. För bestämning av vilken klass som råder har en tabell skapats där en uppskattning av inkommande solstrålning eller molnmängd samt vindhastighet ger rådande klass. I tabell B.1 återges den tabell som tidigare visats i rapporten, denna gång återges den i översatt version.

Surface wind speed (at 10 m) ms^{-1}	Insolation			Night	
	Strong	Moderate	Slight	Thinly overcast or $>4/8$ low cloud	$<3/8$ cloud
<2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	D	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Tabell B.1: Pasquill's stabilitetsklasser Turner [10] s2-7

Följande noter finns till tabell B.1:

1. Strong Insolation motsvarar solig högsommardag vid middagstid i England. Slight Insolation liknande förhållande fast mitt i vintern.
2. Natt är 1 timme efter solnedgång till 1 timme innan soluppgång.
3. Klass D skall användas oavsett vindhastighet för overcast conditions (mycket molnigt) under dag som natt samt oavsett väderförhållande skall D användas 1 timme före natt och 1 timme efter natt enl. definitionen ovan.

Instabil skiktning

Klass A, B och C beskriver de atmosfäriska förhållanden där instabilitet råder (A = starkt instabil, C = lätt instabil). Instabilitet råder då marken är varmare än luften ovanför och vinden samtidigt är svag (max 4-5 m/s, Fischer et.al. [7] s 141). **Detta förhållande kan råda dagtid med stark sol och liten molnighet samt svag vind.** Det som inträffar med spridningen av en substans är att alla vertikala rörelser förstärks p.g.a. att luftmassan nära marken värms upp och därmed "lyfter" (sk. positiv bouyancy kraft). Detta får till följd att turbulensen ökar och att därmed utsläppet snabbare späds ut. Detta medför i sin tur att koncentrationen sjunker snabbare som funktion av avståndet.

Stabil skiktning

Klasserna E och F beskriver de atmosfäriska förhållanden då stabil skiktning råder (F mest stabil). Stabilitet råder då marken är kallare än luften ovanför och vinden samtidigt är svag (max 4-5 m/s, Fischer et.al. [7] s 141). **Detta förhållande kan råda nattetid med liten molnighet samt svag vind.** Det som i detta läge inträffar med spridningen är att alla vertikala rörelser motverkas p.g.a. att luftmassan närmast marken kyls av och därmed inte erhåller någon lyftkraft (sk. negativ bouyancy kraft). I motsats till det instabila fallet motverkas nu turbulensen och utspädningen av utsläppet blir mindre. Detta innebär att koncentrationen sjunker långsammare som funktion av avståndet.

Neutral skiktning

Klass D beskriver en så kallad neutral skiktning. Detta förhållande anses råda då atmosfären inte kan klassas som vare sig instabil eller stabil. En absolut neutral skiktning förekommer aldrig naturligt i atmosfären utan klassen beskriver en "gråzon" mitt emellan de övriga klasserna. Då detta förhållande råder sker varken en förstärkning eller försvagning av turbulensen. För spridningen av ett utsläpp får detta till följd att spridningsbilden kommer att ligga någonstans mellan den för stabil och instabil skiktning som funktion av avståndet. **Neutral skiktning (eller strikt "gråzonen mellan stabil och instabil) kan sägas föreligga vid stark vind (>4-5 m/s, Fischer et.al. [7]) eller då det är molnigt med svag vind.**

Skillnaden mellan stabilitetsklasserna vid beräkningar

Valet av stabilitetsklass är mycket väsentligt då den atmosfäriska spridningen av ett utsläpp skall beräknas. Stabilitetsklassen påverkar de dispersionskoefficienter som ingår i de matematiska uttrycken för Gaussisk spridning. Som ett exempel följer nedan en uträkning av koncentrationen på ett visst avstånd med hjälp av ett matematiskt uttryck för Gaussisk spridning.

$$\chi(x,h) = Q \cdot \exp(-h^2/2 \cdot \sigma_z^2) / \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u$$

där $\chi(x,h)$ = koncentrationen på avståndet x och med utsläppshöjden h
 Q = massflödet
 h = effektiv utsläppshöjd
 σ_z = dispersionskoefficient för z-riktningen
 σ_y = dispersionskoefficient för y-riktningen
 u = vindhastigheten

För att visa skillnaden för olika stabilitetsklasser kan Q, h och u hållas konstanta. Värden på dispersionskoefficienterna kan fås ur t.ex. Turner [10] s2-8 och 2-11. För ett avstånd på 1000m och med yråhått motsvarande bebyggelse fås följande värden på koefficienterna:

För stabilitetsklass A

$$\sigma_y = 1000 \cdot x \cdot \tan((24,167 - 2,5334 \cdot \ln(x))/2,15) = 1000 \cdot 1 \cdot \tan((24,167 - 2,5334 \cdot \ln(1))/2,15) = 198,7 \text{ m}$$

$$\sigma_z = a \cdot x^b = 453,85 \cdot 1^{2,1166} = 453,85 \text{ m}$$

För stabilitetsklass D

$$\sigma_y = 1000 \cdot x \cdot \tan((8,3333 - 0,72382 \cdot \ln(x))/2,15) = 1000 \cdot 1 \cdot \tan((8,3333 - 0,72382 \cdot \ln(1))/2,15) = 67,7 \text{ m}$$

$$\sigma_z = a \cdot x^b = 32,093 \cdot 1^{0,81066} = 32,093 \text{ m}$$

För stabilitetsklass F

$$\sigma_y = 1000 \cdot x \cdot \tan((4,1667 - 0,36191 \cdot \ln(x))/2,15) = 1000 \cdot 1 \cdot \tan((4,1667 - 0,36191 \cdot \ln(1))/2,15) = 33,8 \text{ m}$$

$$\sigma_z = a \cdot x^b = 13,953 \cdot 1^{0,68465} = 13,953 \text{ m}$$

Detta får följande konsekvenser för koncentrationen:

$$\chi(1000,2)_{\text{stab D}} / \chi(1000,2)_{\text{stab A}} = 198,7 \cdot 453,85 \cdot \exp(4/2 \cdot 32,093^2) / 67,7 \cdot 32,093 \cdot \exp(4/2 \cdot 453,85^2) = 41$$

det vill säga stabilitetsklass D ger 41 gånger högre koncentration än om man istället valt stabilitetsklass A.

$$\chi(1000,2)_{\text{stab D}} / \chi(1000,2)_{\text{stab F}} = 33,8 \cdot 13,953 \cdot \exp(4/2 \cdot 32,093^2) / 67,7 \cdot 32,093 \cdot \exp(4/2 \cdot 13,953^2) = 0,22$$

det vill säga stabilitetsklass D ger 0,22 gånger koncentrationen man istället fått om man valt stabilitetsklass F. Eller uttryckt på annat sätt, stabilitetsklass F ger 4,6 gånger högre koncentration än stabilitetsklass D.

Siffrorna ovan gäller enbart med de givna ingångsvärdena. Ändras avståndet eller ytråheten kommer också de framräknade värdena på σ_y och σ_z att ändras. Funktionerna för koefficienterna ändras inte på samma sätt vilket innebär att inte heller förhållandet mellan stabilitetsklasserna kommer att vara konstant.

Val av stabilitetsklass för regressionsanalys

Då dispersionskoefficienterna måste bestämmas innan en eventuell uträkning av ett skyddsområde kan göras bör dessa även ingå i ett regressionsuttryck. Tyvärr är förhållandet mellan de olika stabilitetsklasserna sådant att det inte går att beskriva dispersionen med en enkel variabel. Detta medför att det inte är möjligt att införa en variabel för stabilitetsklassen. För att regressionsuttrycket ändå skall kunna gå att tillämpa utan större felmarginaler måste två åtgärder vidtas:

1. Den mest lämpliga stabilitetsklassen måste väljas då regressionsuttrycket tas fram.
2. Uttryckets ”felräkning” måste kunna uppskattas då den valda stabilitetsklassen inte råder.

Lämplig stabilitetsklass

För att bestämma den stabilitetsklass som är mest lämplig att använda vid framtagningen av regressionsuttrycket kan historiska klimatdata utnyttjas. Taesler [11] har sammanställt årtal av uppmätt klimatdata för Sverige. Ur dessa data kan de faktorer hämtas som är avgörande för vilken stabilitetsklass som råder. Dessa faktorer är som tidigare nämnts: vindhastighet, inkommande solstrålning och molnighet.

Vad avser vindhastigheten finns det i Taesler tabeller ([11] tab. I:4.1) över vindhastigheten på 34 orter i Sverige. Ur dessa tabeller kan utläsas att vindhastigheter över ungefär 5 m/s förekommer med frekvensen 6,3-40 % av tiden (lägst i Karesuando högst i Kalmar). Frekvenserna skiftar givetvis mellan inland och kuststäder och över året. För vindhastigheter över 3,4 m/s stiger frekvenserna markant till mellan 19 och 67 % (Karesuando resp Malmö flygplats). Tabellerna visar också att mycket låga vindhastigheter är relativt ovanliga. Detta tyder på att de vanligaste stabilitetsklasserna torde vara B, C, D och E, åtminstone vad avser vindhastigheten (se tab. B.1).

För inkommande solstrålning finns inga bra tabeller. Istället kan data för molnighet användas. Medelantalet klara dagar finns tabellerat i Taesler [11] tab. II:3.2. I tabellen är 25 orter redovisade och medelantalet dagar i månaden med klart väder varierar mellan 1,3 och 9,8 dagar (Karesuando resp Gävle) beroende på månad och ort. Detta tyder på att sk. strong insolation (se tab. B.1) är relativt ovanligt, då detta kräver klart och varmt väder. Från detta kan ånyo slutsatsen att stabilitetsklass A är ovanlig dras.

Molnigheten bestämmer tillsammans med vinden vilken stabilitetsklass som råder under natten. Detta finns också tabellerat i Taesler [11] tab. II:3.1, tyvärr gäller dessa data endast dagtid varför en jämförelse med natt inte är helt korrekt. Om det förutsätts att en mulen dag följs av en mulen natt kan dock data åtminstone utnyttjas för att ge viss vägledning om stabilitetsklass. Antalet molniga dagar i månaden varierar mellan 6,1 och 23 dagar (Gävle resp Visby) beroende på månad och ort. Detta tyder på att alla de tre stabilitetsklasserna D, E och F kan tänkas råda lika ofta. Ses det däremot på antalet klara dagar och för samma resonemang om klar dag följd av klar natt kan stabilitetsklass F tänkas förekomma mindre ofta än stabilitetsklass D och E nattetid, eftersom klass F kräver relativt klart väder (se tab. B.1).

Vilken stabilitetsklass bör nu väljas? Klimatdata visar att den enda stabilitetsklass som är direkt ovanlig är A. Det förefaller dock som om även B, som kräver svag vind tillsammans med lätt solsken eller måttlig vind tillsammans med stark sol, är relativt ovanlig. Detsamma gäller stabilitetsklass F som kräver liten molnighet och svag vind. Således kan slutsatsen dras att de vanligast förekommande stabilitetsklasserna är C, D och E. Tas det till detta resonemang även hänsyn till de noter som finns till tabell B.1, att D skall väljas för mycket molniga dagar eller nätter och för tiden innan och efter natt (se ovan), förefaller det lämpligast att använda stabilitetsklass D för framtagningen av regressionsuttrycket.

Således väljs stabilitetsklass D som en konstant indata vid framtagningen av regressionsuttrycket.

Felräkning

Det fel som uppstår i regressionsuttrycket, om stabilitetsklass D inte skulle råda, måste kunna uppskattas. I appendix D behandlas omräkningen av avståndet då annan stabilitetsklass kan antas råda.

Effektiv utsläppshöjd

Den Gaussiska spridningsmodellen används främst för beräkningar av kontinuerliga utsläpp från eleverade utsläppskällor såsom skorstenar. För denna typ av utsläpp kan faktorn h i de matematiska uttrycken tänkas ha så höga värden som kanske 100 m. Exponentialfunktionen får då värden som kan inverka på slutresultatet. För höjdvärden på mellan 1 och 4 m, som är mer tänkbart vid en utsläppssituation vilket är intressant i denna rapport, har dock exponentfunktionen ingen nämnvärd betydelse. I räkneexemplen nedan visas skillnaden mellan ett utsläpp på 1 meters höjd jämfört med ett utsläpp på 4 meters höjd.

Vid en jämförelse mellan två identiska utsläppssituationer där endast h varierar kommer uttrycket ovan att reduceras till (med siffervärden hämtade från Turner [10] s2-11):

$$\chi(x,1) / \chi(x,3) = \exp(-1^2/2 \cdot \sigma_z^2) / \exp(-4^2/2 \cdot \sigma_z^2)$$

för räkneexemplet används stabilitetsklass D på avståndet 1 km. Detta medför att $2 \cdot \sigma_z^2 = 2 \cdot 32,093^2$ vilket resulterar i:

$$\chi(x,1) / \chi(x,4) = 1,007$$

skillnaden i koncentration på 1 km avstånd från utsläppskällan är således 0,7 %. Detta måste anses vara klart försumbart. Störst ”fel” uppstår om stabil skiktning råder eftersom σ_z då är mindre och nämnaren i exponentialfunktionens potens då blir lägre. Därmed ökar täljarens värde i betydelse. Felräkningen för denna stabilitetsklass på avståndet 1 km uppgår till knappt 4%. I regressionsuttrycket väljs 2 m som en konstant utsläppshöjd tillsammans med stabilitetsklass D. Om utsläppet antas ske mellan 0 och 4 m ger detta scenario en felräkning avseende koncentrationen på 1km:

$$\chi(x,2) / \chi(x,0) = 0,998 \quad \text{d.v.s. ett fel på 0,2\%}$$

$$\chi(x,2) / \chi(x,4) = 1,006 \quad \text{d.v.s. ett fel på 0,6\%}$$

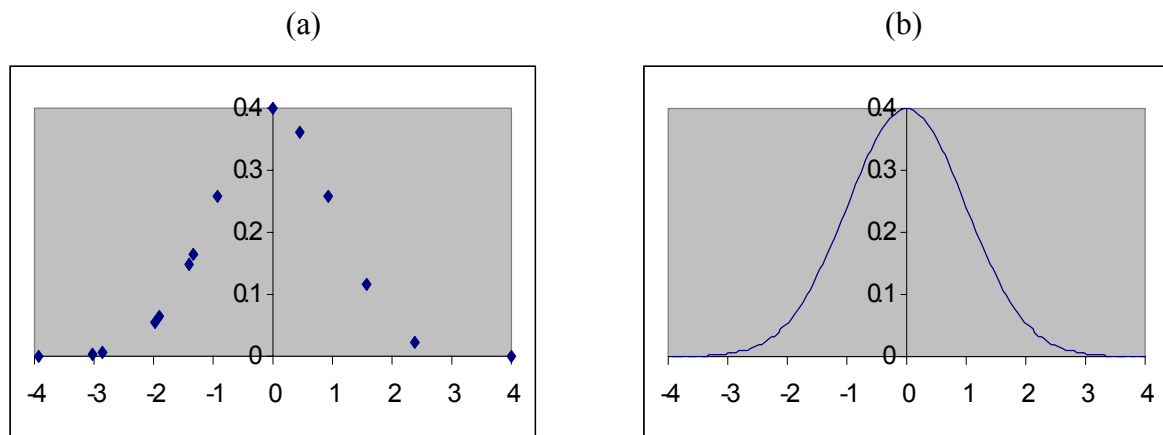
Denna felmarginal måste anses försumbar varför 2 meter kommer att användas vid framtagningen av regressionsuttrycket. Givetvis skulle denna faktor kunna vara med i regressionsuttrycket men då ett av kraven är enkelhet bör strävan vara att inte ta med fler variabler än vad som är nödvändigt.

Appendix C: Sannolikhetsfördelningar för respektive variabel

I detta appendix redovisas framtagningen av de sannolikhetsfördelningar som används vid osäkerhetsanalysen. Fördelningarna utgör också underlag för bedömning av vilka värden respektive variabel skall tilldelas vid framtagningen av regressionsuttrycket.

Gemensamt för alla fördelningar är att de är framtagna med hjälp av datorprogrammen BestFit eller RISKview som båda är program i programvarupaketet DecisionTools™. Då en fördelning skall skapas är oftast ett antal indatapunkter t.ex. olika temperaturer med olika frekvenser tillgängliga. Av det materialet kan programmet BestFit anpassa punkterna till en känd sannolikhetsfördelning. Med känd menas i detta sammanhang att fördelningen är en kurva med en matematisk ekvation i grunden t.ex. en normalfördelning. Det är också möjligt, om en generell fördelning inte överensstämmer med indata, att skapa en kurva i RISKview som då blir en direkt avbild av indatamaterialet (se fig. C.1).

De framtagna fördelningarna kan sedan användas i simuleringsprogrammet @Risk (i programpaketet DecisionTools) för osäkerhetsanalysen (kap. 6).



Figur C.1: Ett antal indatapunkter (x -värden) tillsammans med respektive frekvens ritas upp i ett diagram (a). Därefter anpassas detta till en fördelning (b) i detta fall en normalfördelning där medelvärde och standardavvikelse ges i utdata..

Oavsett vilket av de två programmen som används kan en sannolikhetsfördelning erhållas som går att använda vid osäkerhetssimuleringar i @Risk. Det är dock bättre att utgå ifrån en mer generellt framtagen fördelning (d.v.s. från BestFit) eftersom denna typ av fördelning är enklare att använda.

Håldiameters fördelning

Håldiameters sannolikhetsfördelning bygger på:

- Aktuella tanktypers utformning avseende dimensioner på ventiler, rör o.dyl. samt i vilket antal dessa finns.

- En maximal håldiameter på 2,1 m för tank på järnvägsvagn respektive 1,2 m för tank på lastbil. Håll över denna dimension bedöms medföra att allt tankinnehåll flödar ut samtidigt d.v.s. utsläppet kan betraktas som ett momentant utsläpp och inte som ett kontinuerligt. De regressionsuttryck som denna rapport tar fram är då inte tillämpliga eftersom det endast gäller för kontinuerliga utsläpp.
- De frekvensdata som finns tillgängligt i Cox et.al. [13] avseende läckagedimensioner vid inträffade olyckor.

Tanktypernas utformning

Det finns idag inga bestämmelser för exakt hur en transporttank skall se ut. Därför går det inte heller att ange några generella mått på tankarna. De tankar som utgör underlag för denna rapport är Hydro Agria's [5] tankar för ammoniaktransporter. Det är naturligtvis inte korrekt att bara använda ett företags tankar men det får förutsättas att skillnaderna inte påtagligt skulle ändra fördelningens utseende.

Transporttankar

Vattenfri ammoniak av så kallad ”teknisk kvalitet” (99,5 % ren ammoniak) transporteras endast i järnvägsvagnar. För Hydros del levereras teknisk ammoniak enbart från fabriken i Landskrona. Vagnarna innehåller, då de är fyllda till 80% (normal fyllnadsgrad), 40,5 ton. I figur C.2 redovisas relevanta tankdata.

Lastbilstransport av ammoniak sker som så kallad bulkvara. Hydro i Köping levererar ammoniak av så kallad kylkvalitet (100% ren ammoniak) som bulkvara om 10 eller 20 ton. De olika mängderna beror på om en eller två separata tankar nyttjas. Då två tankar används är dessa sammankopplade så att avtappning av båda tankarna kan ske i en följd. Bägge tankarna är dock identiska varför figur C.2 redovisar relevanta tankdata för en tank.



	Lastbil	Järnväg
Längd	6 m	15,6 m
Diameter	2,15 m	2,6 m
Mängd (80% fyllnad)	10 ton	40,5 ton
Trycktestad till	29 bar	29 bar
Manlucka Ø	450mm	450mm
Avtappningsrör gasfas Ø	DN50	DN50
Avtappningsrör vätskefas Ø	DN80	DN 80

Figur C.2: Tankar för lastbils- respektive järnvägstransport. Avtappningsrören mynnar från botten av tankarna, d.v.s. tankarna är utrustad med invändiga rör. (Hydro Köping respektive Landskrona)

Av figur C.2 framgår att tankarna har samma typer av anslutningar. Det som skiljer är mängden i tanken. Tankarna har således endast tre möjliga öppningar mellan det fria och tankinnehållet:

- Manlucka med en diameter av ungefär 450 mm
- Tapp rör till vätskefasen DN 80 = 80 mm
- Tapp rör till gasfasen DN 50 = 50 mm

Det är inte troligt att hela manluckan ”trillar av”, det kan dock tänkas att mindre läckage inträffar vid luckans bultinfästningar. Tanken är i övrigt helt försluten. Ventiler som tidigare har funnits har numera svetsats igen. Ytterligare läckagepunkter måste således komma från hål direkt på tanken.

Ny lastbilstransporttank

Från årsskiftet 1999/2000 kommer en ny transporttank att tas i bruk för lastbilstransporter. Detta kommer innebära att avtappningsrörens dimensioner minskas. Istället för vätskefasens DN 80 kommer DN50 att användas, d.v.s. den nya dimensionen är 50 mm. För avtappningen till gasfasen kommer troligen DN44 att användas, d.v.s. 44 mm.

För framtagningen av sannolikhetsfördelningen kommer dessa nya dimensioner att användas som dimensioner på lastbilstransporttankarna. De fakta som i övrigt finns redovisade ovan angående lastbilstransporttankarna antas gälla även för den nya tanken.

Frekvensdata från Cox et.al.

Att hitta frekvensdata i litteraturen som är användbar för transporttankar är mycket svårt. I Cox et.al. [13] finns dock en redovisning över förväntad håldimension för olika ursprungliga areor på rör. I tabell C.1 nedan redovisas denna fördelning.

hålstorlek	proportion (%)
Arean	5
0,2*Arean	15
0,05*Arean	25
0,01*Arean	55

Tabell C.1: Det proportionsförslag som finns redovisat i Cox et.al. [13] s137 på vilken håldimension som erhålls vid olika ursprungliga areor på rör.

Att använda sig av denna typ av frekvensdata är alltid vanskligt. De ingångsvärden som Cox et.al. [13] bygger sina data på är hämtade främst från processindustrin. Detta innebär att det är stationära tankar, rör, ventiler etc. som undersökts. Tyvärr finns ingen öppen litteratur med frekvensdata för transportfordon. Den proportionering som finns redovisad i tabell C.1 kommer att användas för att skapa sannolikhetsfördelningen. Således kommer alla möjliga hål, alltså även t.ex. hål direkt på tank, att modifieras med hjälp av denna.

Andra frekvensdatakällor

Som tidigare nämnts är det svårt att få tag på frekvensdata för håldimensioner. För framtagningen av sannolikhetsfördelningarna har data från Cox et.al. [13] använts. En jämförelse mellan annan litteratur har dock gjorts. Nedan redovisas en jämförelse mellan Cox och Fredén [20] samt mellan Cox och Saccomanno et.al. [23].

Jämförelse mellan Cox och Fredén

För tjockväggiga tankar, d.v.s. tankar ämnade för transport av kondenserade gaser, föreslår Fredén följande sannolikhetsvärden för olika utsläppsmängder:

Stor mängd	16,7 %
Medel	20,8 %
Liten	62,5 %

För att räkna om mängderna till hålareor har tabeller i Fredén [20] (tabell3.1-3.4) använts. Dessa anger vilken utsläppshastighet som använts vid respektive storlek på utsläppet. Dessa utsläppshastigheter kan omräknas till utsläppsareor med hjälp av formler i t.ex. Fischer et.al. [7]. Omräkningen sker så att en jämförelse mellan Cox proportionsförslag och Fredén [20] kan göras. Siffrorna ger att:

$$\begin{aligned} \text{Stor} &\approx 0,01 \text{ m}^2 \\ \text{Medel} &\approx 0,0007 \text{ m}^2 \\ \text{Litet} &\approx 0,00008 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

För att kunna jämföra med Cox et.al. har antagandet gjorts att Fredéns beteckning stort utsläpp kan antas motsvara Cox A = hela hålarea (se ovan). En jämförelse ger då:

$$\begin{aligned} \text{Stor} &= A \\ \text{Medel} &= 0,1 * A \\ \text{Litet} &= 0,01 * A \end{aligned}$$

Därmed kan Cox och Fredén jämföras. En jämförelse visar att de två sammanfaller relativt väl (se tab. C.2). En övervikt på stor hålarea kan dock ses för Fredén jämfört med Cox. Att tänka på är dock att sannolikheten för $0,2 * A$ i Cox skall delas upp mellan Fredéns A och $0,1 * A$ vilket då jämnar ut skillnaden. På samma sätt skall $0,05 * A$ i Cox delas upp mellan $0,01 * A$ och $0,1 * A$ i Fredén vilket även det resulterar i en bättre överensstämmelse.

Cox		Fredén	
Hålstorlek	Sannolikhet (%)	Hålstorlek	Sannolikhet (%)
A	5	A	17
$0,2 * A$	15	$0,1 * A$	21
$0,05 * A$	25	$0,01 * A$	62
$0,01 * A$	55		

Tabell C.2: Jämförelse mellan Cox [13] och Fredén [20].

Jämförelse mellan Cox och Saccomanno

I en artikel av Hubert och Pagès i Saccomanno et.al. [23] finns en del frekvenser för olika massflöden vid en olycka. Artikeln jämför frekvenser från olika källor i olika länder. Sannolikheten, som används i denna rapport, är inte direkt jämförbar med en frekvens men det är fullt möjligt att göra jämförelser på t.ex. hur stor skillnaden är mellan små och stora flöden.

I tabell C.3-4 redovisas de frekvenser som anges i artikeln. Det går att utläsa att ingen skillnad görs mellan olika utsläppsmängder i källor från USA och Frankrike. Däremot görs denna skillnad i källor från Nederländerna och Storbritannien.

Således gör källorna från USA respektive Frankrike inte samma bedömning som Cox et.al. För källorna från Nederländerna och Storbritannien kan en undersökning av faktorn mellan ”Major release” och ”Medium release” göras.

Land	”Major release”	”Medium release”	”Minor release”
Nederländerna	$0,66 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$20 \cdot 10^{-9}$
USA	$43 \cdot 10^{-9}$	$43 \cdot 10^{-9}$	$137 \cdot 10^{-9}$
Storbritannien	$0,048 \cdot 10^{-9}$	$0,43 \cdot 10^{-9}$	ingen uppgift
Frankrike	$33 \cdot 10^{-9}$	$33 \cdot 10^{-9}$	$97 \cdot 10^{-9}$

Tabell C.3: Frekvenser för utsläpp från lastbilstank.

Land	”Major release”	”Medium release”	”Minor release”
Nederländerna	$0,4 \cdot 10^{-9}$	$0,98 \cdot 10^{-9}$	$13 \cdot 10^{-9}$
USA	$42 \cdot 10^{-9}$	$42 \cdot 10^{-9}$	ingen uppgift
Storbritannien	$0,25 \cdot 10^{-9}$	$2,25 \cdot 10^{-9}$	$\sim 10^{-10}$
Frankrike	$1,1 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$	ingen uppgift

Tabell C.4: Frekvenser för utsläpp från järnvägsvagn.

I artikelns tabell anges ”Major release” till $0,2 \text{ m}^2$ och ”Medium release” till $0,01$ till $0,001 \text{ m}^2$. Minor release har inte tilldelats någon hålarea då dessa utsläpp inte antas leda till någon konsekvens. Ingen åtskillnad görs mellan lastbilstank och tank på järnvägsvagn då det gäller hålstorlek. Räknas hålareorna om till håldiametrar erhålls:

”Major” \Rightarrow $d = 0,5 \text{ m}$
 ”Medium” \Rightarrow $d = 0,001 - 0,01 \text{ m}$

”Medium release” är således $0,002-0,2$ gånger mindre än ”Major release”. Då frekvenserna jämförs erhålls faktorn mellan ”Major release” dividerat med ”Medium release” enligt tabell C.5. Tabellen redovisar endast de länder vars källor gör en åtskillnad i frekvens för de två utsläppen.

Land och fordon	Major / Medium	Medium / Minor
Nederländerna lastbil	0,44	0,075
Nederländerna jvg	0,41	0,075
Storbritannien lastbil	0,11	ingen uppgift
Storbritannien jvg	0,11	$\sim 0,225$

Tabell C.5: Faktorn mellan frekvenserna för de olika utsläppsstorlekarna.

Tabell C.5 visar att faktorn är ungefär lika oavsett om det är järnvägstransport eller lastbilstransport. De två ländernas källor skiljer sig dock åt.

Det som nu återstår är att jämföra Cox et.al. och de i tabell C.5 redovisade faktorerna. För att kunna göra detta har följande antaganden gjorts. Hålstorleken ”Major” antas motsvara Cox et.al. hålstorlek A, ”medium” antas motsvara $0,2 \cdot A$ och $0,05 \cdot A$ och Minor antas motsvara $0,01 \cdot A$. För att kunna jämföra har sannolikheten för A dividerats med $0,2 \cdot A + 0,05 \cdot A$ och $0,2 \cdot A + 0,05 \cdot A$ har dividerats med $0,01 \cdot A$. Resultatet ges i tabell C.6.

Cox et.al.		Saccomanno et.al.	
Hålstorlek	Faktor	Hålstorlek	Faktor
$A/(0,2 \cdot A + 0,05 \cdot A)$	0,125	”Major”/”Medium	0,11 resp. 0,44
$(0,2 \cdot A + 0,05 \cdot A)/0,01 \cdot A$	0,54	”Medium”/”Minor”	0,225 resp. 0,075

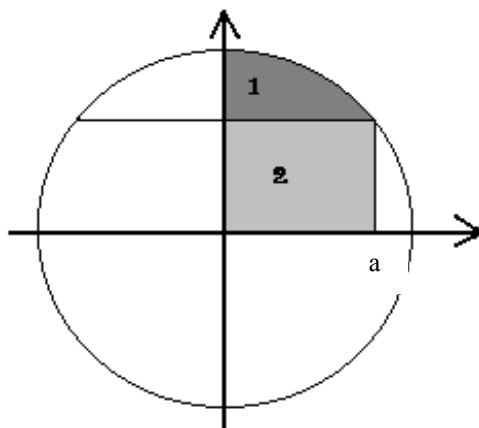
Tabell C.6: Jämförelse mellan data från Cox et.al. och Saccomanno et.al.

I tabell C.6 kan ses att Cox et.al. överensstämmer bäst med värdet 0,11 och 0,225, d.v.s. med källorna från Storbritannien. Värdena från Nederländerna (0,44 respektive 0,075) visar relativt dålig överensstämmelse. Inga åtgärder har dock vidtagits med anledning av detta eftersom överensstämmelsen är relativt god, åtminstone avseende de större hålstorlekarna, med källorna från Storbritannien.

Maximal håldimension

För att ett utsläpp direkt från ett hål i tanken skall kunna betraktas som ett kontinuerligt utsläpp får inte håldiametern vara för stor. Hela tankinnehållet antas släppas ut momentant om hålet överstiger en viss diameter. Efter diskussion med Berit Andersson, Institutionen för brandteknik, LTH, bestämdes att en maximal hålarea på 10 % av den horisontella vätskeytans area kan avsättas som ett maximalt hål för ett kontinuerligt utsläpp.

Den horisontella vätskeytans area kan förenklat beräknas enligt följande:



Figur C.3: Tank i genomskärning. Markerat område 1 är halva arean ovanför vätskeytan och område 2 är arean rakt under till mitten på tanken.

Vätskeytans horisontella area beräknas som produkten av tankens längd och bredden på vätskeytan vid 80 % fyllnadsgrad. Bredden kan beräknas utifrån en areabetraktning enligt figur C.4. Area 1 (enl. fig. C.3) motsvarar 10 % av den totala arean (ty $100 - 80/2 = 10$ %, arean är direkt proportionell mot volymen i en cylinder). Således kan följande ekvation sättas upp:

$$0,1 \cdot \pi \cdot r^2 = A_1 = \int_0^a (r^2 - x^2)^{1/2} dx - A_2 \quad \text{där } (r^2 - x^2)^{1/2} \text{ är cirkelbågens ekvation}$$

Ekvationen ovan resulterar i:

$$2 \cdot 0,1 \cdot \pi \cdot r^2 = \arcsin(a) - a(r^2 - a^2)^{1/2}$$

Vätskeytans slutliga bredd fås genom att lösa ut a (iterering) och multiplicera denna med 2. Arean fås slutligen genom att multiplicera bredden med tankens längd.

Ekvationen ger för järnvägsvagnstanken med en radie på 1,3m och tankens längd 15,6 m följande area för den horisontella vätskeytan:

$$\begin{aligned} \text{Ur ekvationen ovan fås } a = 1,13\text{m} &\quad \Rightarrow \quad \text{bredden} = 2,3\text{m} \\ \text{Således ges arean av} &\quad \text{längden} \cdot \text{bredden} = 2,3 \cdot 15,6 = 32,8\text{m}^2 \end{aligned}$$

För den lastbilsburna bulkleveransen med en radie på $r = 1,08$ m och längden 6,0 m fås följande area för vätskeytan:

$$\begin{aligned} \text{Ur ekvationen ovan fås } a = 0,94 &\quad \Rightarrow \quad \text{bredden} = 1,9 \\ \text{Således ges arean av} &\quad \text{längden} \cdot \text{bredden} = 1,9 \cdot 6,0 = 11,2 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Den maximala håldiametern fås genom att multiplicera vätskeytans area med 0,1 och lösa ut diametern med hjälp av areaformeln för en cirkel. Detta ger följande maximala håldiametrar:

$$\text{För järnvägstank:} \quad 0,1 \cdot 35,9 = \pi \cdot d^2 / 4 \quad \Leftrightarrow \quad d = 2,1\text{m}$$

$$\text{För lastbilstank:} \quad 0,1 \cdot 11,2 = \pi \cdot d^2 / 4 \quad \Leftrightarrow \quad d = 1,2\text{m}$$

Det bör observeras att den maximala håldimensionen endast anger en övre begränsning på hålets storlek, den säger ingenting om sannolikheten. För att få fram sannolikhetsfördelningen måste en avvägning ske dels med Cox et.al. [13] dels en viktning mellan sannolikheten för hål på tank respektive hål på ett rör.

Slutsats

Från redovisningen ovan sammanfattas de möjliga ursprungliga dimensionerna på eventuella hål i tabell C.7. Eftersom dimensionerna på avtappningsrören inte är samma för gas- respektive vätskefasen bör två oberoende sannolikhetsfördelningar skapas eftersom två oberoende regressionsuttryck skall tas fram. Skillnaderna i dimensioner mellan järnvägsvagn och lastbil är också sådan att två av varandra oberoende fördelningar bör skapas för järnväg respektive lastbil. Denna differentiering kan skapa förvirring vid användandet av regressionsuttrycket. Det är därför väsentligt att tydligt markera skillnaderna i den användarinstruktion som bifogas uttrycket. De fyra sannolikhetsfördelningarna är:

- Vätskeutsläpp från lastbilstransport
- Vätskeutsläpp från järnvägstransport
- Gasutsläpp från lastbilstransport
- Gasutsläpp från järnvägstransport

Ovanstående innebär att endast två möjliga ursprungsdimensioner är aktuella för respektive fördelning (se tab. C.7). Dessa dimensioner skall modifieras med hjälp av den proportionering som anges i Cox et.al. [13]. En avvägning måste ske mellan sannolikheten för rörbrott i förhållande till hål på tank.

	Järnvägsvagn	Lastbil/Ny tank
Rörbrott vätskefas	0,08 m	0,05 m
Rörbrott gasfas	0,05 m	0,044 m
Hål på tank (avser både gas och vätskefas)	2,1	1,2
	Rörbrott	Hål på tank
Vätskeutsläpp från lastbilstransport	0,05	1,2
Vätskeutsläpp från järnvägstransport	0,08	2,5
Gasutsläpp från lastbilstransport	0,044	1,2
Gasutsläpp från järnvägstransport	0,05	2,5

Tabell C.7: Sammanfattande tabell för olika möjliga ursprungliga håldimensioner. Nedre delen av tabellen motsvarar de fyra sannolikhetsfördelningar som skall skapas.

Inga data finns redovisade i litteraturen på hur mycket mer sannolikt det är att ett rörbrott sker i förhållande till att ett hål uppstår direkt på tanken. Det krävs därför en kvalificerad gissning avseende detta förhållande. Det får anses som självklart att sannolikheten för rörbrott är mångdubbelt högre än för hål direkt på tank. Rapporter om att hål har uppstått direkt på tanken i samband med olyckor är i princip obefintliga medan rörbrott inträffat ett flertal gånger. Det är också naturligt att sannolikheten är mycket högre för rörbrott eftersom rör och anslutningar av naturliga skäl inte kan utformas med t.ex. samma godstjocklek som en tank. Det kan därför anses troligt att proportionen är i storleksordningen 1 på 100000 (rörbrott - hål på tank).

I tabellerna C.8-11 och figur C.4 redovisas beräkningarna för de fyra olika sannolikhetsfördelningarna. Eftersom det i diagrammen inte går att se någon skillnad mellan de fyra fördelningarna redovisar figur C.4 endast en av fördelningarna. I tabell C.8 redovisas mer utförliga beräkningar. Beräkningarna för de övriga tabellerna överensstämmer med tabell C.8.

Vätskeutsläpp

Till regressionuttrycket för vätskeutsläpp förekommer två olika fördelningar (fig. C.4), en för lastbilstank och en för järnvägsvagn. För framtagningen av regressionsuttrycket väljs lämpliga variabelvärden ut från bägge fördelningarna.

Sannolikhetsfördelningen som erhållits efter analys i RISKview har @Riskekvationen:

För vätskeutsläpp från lastbilstank
 RiskCumul(0,0049;1,2;{0,005;0,011;0,022;0,05;0,12;0,27;0,54};{0,55;0,8;0,95;1;1;1;1})

För vätskeutsläpp från järnvägsvagn
 RiskCumul(0,0079;2,5;{0,008;0,018;0,036;0,08;0,25;0,56;1,12};{0,55;0,8;0,95;1;1;1;1})

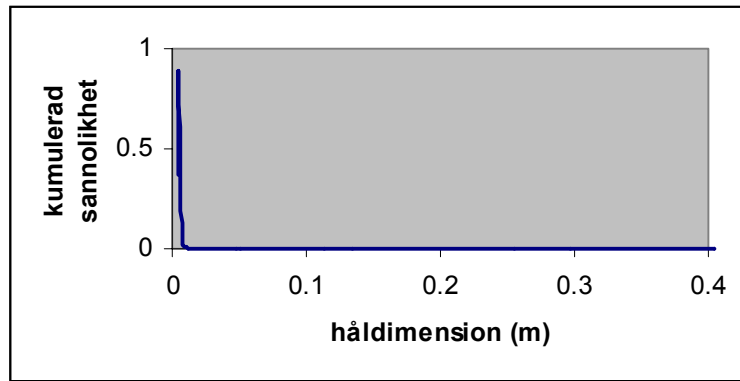
Ursprunglig håldimension	Modifiering enl. Cox et.al. [13]	Sannolikhet enl. Cox et.al [13]	Avvägning rör- brott/hål i tank	Sannolikhet

0,05	0,05	0,05	$0,05 \bullet 0,99999$	0,0499995
	$(0,2)^{1/2} \bullet 0,05 =$ 0,022	0,15	$0,15 \bullet 0,99999$	0,1499985
	$(0,05)^{1/2} \bullet 0,05 =$ 0,011	0,25	$0,25 \bullet 0,99999$	0,2499975
	$(0,01)^{1/2} \bullet 0,05 =$ 0,005	0,55	$0,55 \bullet 0,99999$	0,5499945
1,2	1,2	0,05	$0,05 \bullet 0,00001$	$5 \cdot 10^{-7}$
	$(0,2)^{1/2} \bullet 1,2 =$ 0,54	0,15	$0,15 \bullet 0,00001$	$15 \cdot 10^{-7}$
	$(0,05)^{1/2} \bullet 1,2 =$ 0,27	0,25	$0,25 \bullet 0,00001$	$25 \cdot 10^{-7}$
	$(0,01)^{1/2} \bullet 1,2 =$ 0,12	0,55	$0,55 \bullet 0,00001$	$55 \cdot 10^{-7}$
				= 1

Tabell C.8: Sannolikheten för olika håldimensioner vid fallet med vätskeutsläpp från tank på lastbil. Observera att $0,1 \bullet A$ motsvaras av $(0,1)^{1/2} \bullet \text{diametern}$ o.s.v.

Ursprunglig håldimension	Modifiering enl. Cox et.al. [13]	Sannolikhet
0,08	0,08	0,0499995
	0,036	0,1499985
	0,018	0,2499975
	0,008	0,5499945
2,1	2,1	$5 \cdot 10^{-7}$
	0,94	$15 \cdot 10^{-7}$
	0,47	$25 \cdot 10^{-7}$
	0,21	$55 \cdot 10^{-7}$
		= 1

Tabell C.9: Sannolikheten för olika håldimensioner vid fallet med vätskeutsläpp från tank på järnvägs-vagn. Observera att sannolikheterna är lika för alla fyra fallen, det enda som ändras är håldiametern.



Figur C.4: Håldimensionens sannolikhetsfördelning för fallet med vätskeutsläpp från tank på lastbil. Övriga fördelningar är snarlika. Skillnader finns dock i fördelningens ekvation.

Ur fördelningarna har följande värden valts för framtagningen av regressionsuttrycket för vätskeutsläpp:

0,005 0,011 0,022 0,05 0,30 m

De gränssättande värdena för håldimensionens intervall är således 0,005 m neråt och 0,3 m uppåt. Att använda extremvärdet 1,2 m vid framtagningen av regressionsuttrycket kan inte anses vara godtagbart eftersom denna hålstorlek har en extremt låg sannolikhet. Det skulle ge uttrycket ett onödigt stort intervall och därmed göra uttrycket mer osäkert än vad det finns behov till med hänsyn till de större håldimensionernas sannolikhet.

Gasfasutsläpp

Till regressionsuttrycket för gasfasutsläppet förekommer två olika fördelningar. Ingen skillnad mellan de fyra håldistributionsfördelningarna kan ses i diagrammen varför fig. C.4 ger exempel även på gasfasutsläpp. För framtagning av regressionsuttrycket väljs lämpliga variabelvärden ut från bägge fördelningarna.

Sannolikhetsfördelningen som erhållits efter analys i RISKview har @Risk-ekvationen:

För gasutsläpp från lastbiltank

RiskCumul(0,0039;1,2;{0,004;0,01;0,02;0,044;0,12;0,27;0,54};{0,55;0,8;0,95;1;1;1;1})

För gasutsläpp från järnvägsvagn

RiskCumul(0,0049;2,5;{0,005;0,01;0,02;0,05;0,25;0,56;1,12};{0,55;0,8;0,95;1;1;1;1})

Ursprunglig håldimension	Modifiering enl. Cox et.al. [13]	Sannolikhet
0,044	0,044	0,0499995
	0,020	0,1499985
	0,01	0,2499975
	0,004	0,5499945
1,2	1,2	$5 \cdot 10^{-7}$
	0,54	$15 \cdot 10^{-7}$
	0,27	$25 \cdot 10^{-7}$
	0,12	$55 \cdot 10^{-7}$
		= 1

Tabell C.10: Sannolikheten för olika håldimensioner vid fallet med gasfasutsläpp från tank på lastbil. Observera att sannolikheterna är lika för alla fyra fallen, det enda som ändras är håldiametern.

Ursprunglig håldimension	Modifiering enl. Cox et.al. [13]	Sannolikhet
0,05	0,05	0,0499995
	0,02	0,1499985
	0,01	0,2499975
	0,005	0,5499945
2,1	2,1	$5 \cdot 10^{-7}$
	0,94	$15 \cdot 10^{-7}$
	0,47	$25 \cdot 10^{-7}$
	0,21	$55 \cdot 10^{-7}$
		= 1

Tabell C.11: Sannolikheten för olika håldimensioner vid fallet med gasfasutsläpp från tank på järnvägsvagn. Observera att sannolikheterna blir lika dem för vätskeutsläpp från tank på lastbil, det enda som ändras är håldiametern.

Ur fördelningarna har följande värden valts för framtagningen av regressionsuttrycket för gasfasutsläpp:

0.005 0.011 0,022 0,05 0,30 m

Detta är således samma värden som för framtagningen av uttrycket för vätskeutsläpp. Fördelningarna har visserligen vissa olikheter men dessa är ej så stora att det föranleder någon förändring av värdena på variablerna. Samma resonemang som för vätskeutsläppet gällande maximivärdet på intervallet är således applicerbart även här.

Vindhastighetens fördelning

Indata till vindhastighetens sannolikhetsfördelning har hämtats från statistik i Taesler[11]. Fördelningen är framtagen med hjälp av BestFit.

Indata

Underlaget utgörs av vindhastighetsmätningar på 34 mätstationer utspridda över landet. I statistiken ges vindhastigheten i Beaufort-skalan. Varje steg i denna skala motsvarar ett visst intervall i m/s. Intervallens medelvärde har använts för framtagningen (se tab. C.12).

Beaufort	Medelvindhastighet (m/s)	Exempel på mätstationer, procent av tiden				
0	0.1	30	4	27	9	18
1	0.9	27	16	30	21	25
2	2.45	24	39	24	32	22
3	4.4	12.7	24	11.2	21	15
4	6.7	4.2	12.4	5.1	10.3	10.1
5	9.35	1.3	3.7	1.6	4.9	4
6	12.3	0.52	0.78	0.73	1.41	2.9
7	15.5	0.16	0.11	0.2	0.34	1.6
8	18.95	0.1	0.01	0.15	0.03	1
9	22.6	0.01	0	0.02	0.02	0.22
10	26.45	0.01	0	0	0	0.18
11	30.55	0	0	0	0	0

Tabell C.12: Beaufortskalan jämfört med medelvärdet av respektive vindhastighetsintervall. Exempel på mätstationer, vindhastighet i procent av tiden.

De värden som fördelningen bygger på är de årsgenomsnittliga värdena från tabellen ”Procentuell frekvens av olika vindstyrkor” (Taesler [11] tab. I:4.1). Från tabellerna utläses att inga större skillnader kan konstateras mellan olika tidpunkter på året. Den stora skillnaden är istället huruvida mätstationen ligger nära kusten eller inte.

Slutsats

Den erhållna fördelningen redovisas i figur C.5. Ur fördelningen kan ses att vindstyrkor på ungefär 15 m/s och mer är mycket ovanliga. I BestFit kan utläsas att vindstyrkor över 4 m/s förekommer under 50 % av tiden.

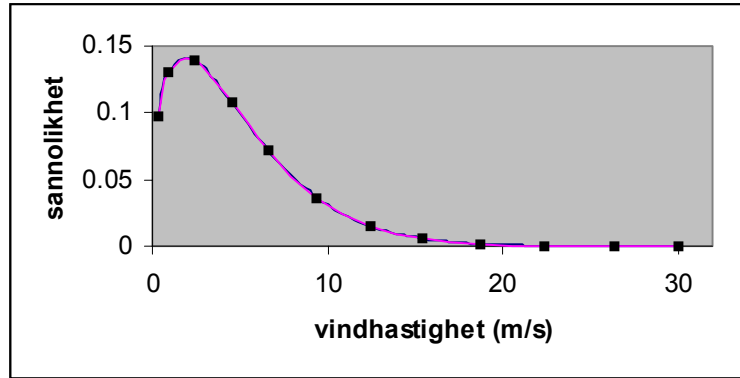
Analysen i BestFit visar att @Riskfördelningens ekvation är:

RiskWeibull(1,33;5,31)

För framtagningen av regressionsuttrycket kan ur fördelningen utläsas att följande värden är lämpliga att använda:

0,1 1,3 3,5 9 30,5 m/s

Med dessa värden täcks dels de två gränsvärdena in och dels är de andra tre värdena i ett intervall med stor sannolikhet.



Figur C.5: Sannolikhetsfördelningen för vindhastigheten. En mycket god överensstämmelse erhålls med en Weibull-fördelning med toppen vid 1,33 m/s. Indatavärdena markeras med de fyrkantiga punkterna.

Ytråhetens fördelning

Indata till ytråhetens sannolikhetsfördelning är hämtade från SCB [14] statistik över markanvändningen i Sverige samt svensk-energi[15]. Som utgångspunkt används ytråhetsvärden hämtade från Turner [10]. Till respektive ytråhetsvärde kopplas en marktyp i markanvändningsstatistiken. Fördelningen är framtagen med hjälp av RISKview.

Indata

De marktyper som används i Turners [10] tabell över ytråheter återges i tab. 3.2. För att kunna koppla dessa marktyper med de som används i SCB [14] statistik över markanvändningen i Sverige, krävs att ett antal antaganden görs. I tabell C.13 återges de indata som används vid framtagning av sannolikhetsfördelningen. Kommentarer över de antaganden som gjorts följer nedan.

Ytråhet		Markanvändning	
Marktyp enl. Turner [10]	Ytråhet (m)	Marktyp enl. SCB [14]	Procentuell andel
Stadsbebyggelse	3,0	Bebyggd mark	0,83
Stadsbebyggelse	2,0	Bebyggd mark	0,83
Stadsbebyggelse	1,0	Bebyggd mark	0,83
Barrskog	1,3	Skogsmark	44,9
Lövskog (sommar)	1,3	Skogsmark	4,6
Lövskog (vinter)	0,5	Skogsmark	4,6
Buskig mark	0,3	Berg, fjäll, täkter och övrig mark	5,3
Träsk, kärr motsv.	0,2	Myr	11,0
Odlad mark (sommar)	0,2	Jordbruksmark	3,9
Odlad mark (vinter)	0,01	Jordbruksmark	3,9
Gräs (sommar)	0,1	Berg, fjäll, täkter och övrig mark	5,3
Gräs (vinter)	0,001	Berg, fjäll, täkter och övrig mark	5,3
Vatten	0,0001	Vatten	8,7

Tabell C.13: Indata för sannolikhetsfördelningen för ytråheten. Turners [10] marktyper med tillhörande ytråhetsvärden kopplas samman med SCB [14] markanvändningsstatistik.

Stadsbebyggelsens ytråhetsintervall har delats upp i tre värden 1,0, 2,0 och 3,0. Det statistiska underlaget beskriver dock enbart ”bebyggd mark”. Den procentandel som utgör bebyggd mark (2,5 %, SCB [14] tab. 6) har därför delats på tre och därmed antas att bebyggelsen är jämt fördelat på hela det intervall som används i Turner [10].

I markanvändningsstatistiken från SCB [14] används endast begreppet skogsmark (54,1 %, SCB [14] tab. 6). Denna har dock delats upp i barr- respektive lövskog i statistik från svensk-energi [15], där barrskog anges till 83 % och lövskog till 17% av det totala skogsbeståndet.

För att kunna ange skillnaden i ytråhet för lövskog vinter och sommartid har det antagits att ytråheten lövskog sommar gäller för halva året och lövskog vinter gäller för andra halvan.

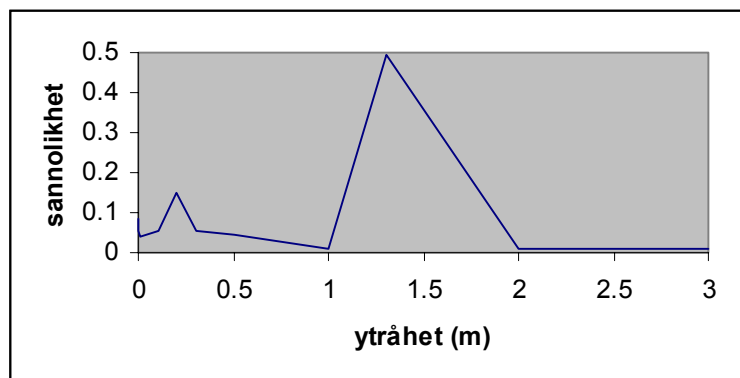
Den procentuella andelen för jordbruksmark (7,8 %, SCB[14], tab. 6) har delats upp i odlad mark vinter och sommar. Det förutsätts, precis som för lövskog, att sommarvärdet på ytråheten gäller halva året och vintervärdet andra halvan.

I SCB [14] används begreppet ”Berg, fjäll, täkter och övrig mark” (15,9 %, SCB [14] tab. 6). Denna har ingen direkt motsvarighet i Turners [10] marktyper. Det kan dock förutsättas att berg och fjäll har en relativt låg ytråhet, motsvarande gräsbevuxen mark. Täkter och övrig mark är däremot svåra att definiera i ytråhetstermer. Det är dock troligt, med tanke på de övriga marktyperna i SCB [14], att övrig mark kan antas vara mark som inte brukas och därför är antingen gräsbevuxen eller ”slymark” d.v.s. buskig mark. För att inte få en sned fördelning där tyngdpunkten kommer på höga ytråhetsvärden antas därför att typen ”Berg, fjäll, täkter och övrig mark” kan fördelas lika mellan Turners [10] marktyp buskig mark, gräs (sommar) och gräs (vinter).

Slutsats

Med de indata som anges i tab. C.8 kan en fördelning skapas i RISKview. Eftersom detta program använts är fördelningen en direkt återspeglning av indata och är således inte en generell fördelning. Fördelningen överförs direkt till @Risk vid osäkerhetsanalysen. Fördelningen återges i figur C.6. Dess @Risk ekvation är:

```
RiskGeneral(0,00009;3;{0,0001;0,001;0,01;0,1;0,2;0,3;0,5;1;1,3;2;2,9999};
{0,087;0,053;0,039;0,053;0,149;0,053;0,046;0,00833;0,495;0,00833;0,00833})
```



Figur C.6: Sannolikhetsfördelningen för ytråheten. Fördelningen är en direkt återspeglning av indatapunkterna.

För framtagningen av regressionsuttrycket kan ur fördelningen utläsas att följande värden är lämpliga att använda:

0,0001 0,2 0,4 1,3 3,0 m

Med dessa värden täcks dels de två gränsvärdena in och dels är de andra tre värdena i ett intervall med stor sannolikhet.

Temperaturens fördelning

Sannolikhetsfördelningen för temperaturen har skapats med hjälp av indata från Taesler [11] och programmet BestFit.

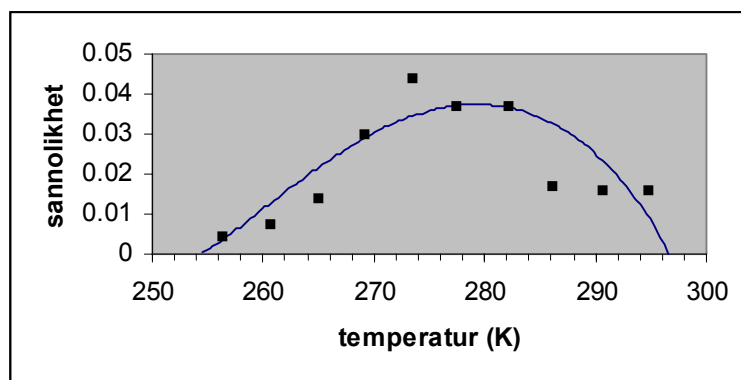
Indata

Som indata har tabellerna för månadsmedelvärdet på maximi- respektive minimitemperaturerna (Taesler [11] tab. II:1.3-4) använts. Tabellerna ger temperaturer från 34 mätstationer runt om i landet.

Taeslers tabeller ger genomsnittliga värden på maximi- resp. minimitemperaturerna varför lägsta temperaturen endast anges till -18°C och högsta temperaturen endast till $+24^{\circ}\text{C}$. Temperaturen vid ett enskilt tillfälle kan naturligtvis vara lägre resp. högre. Det krävs dock att användaren av regressionsuttrycket inte tar ett enskilt värde utan försöker bedöma vilken temperatur som kan vara lämplig att använda. Nedkylning resp. uppvärmning av tanken tar tid vilket medför att användaren bör använda den temperatur som bäst speglar temperaturskiftningarna under de senaste timmarna. Ihållande temperatur under -18°C resp. över $+24^{\circ}\text{C}$ får anses vara kortvariga varför sannolikhetsfördelningens temperaturintervall bör kunna ha ett nedre värde på -18°C och ett övre värde på $+24^{\circ}\text{C}$. För framtagningen av regressionsuttrycket används dock ett bredare temperaturintervall för att utvidga uttryckets användningsområde. Kravet på uttrycksanvändaren är dock fortfarande att försöka bedöma vilken temperatur innehållet i tanken har och inte utan eftertanke använda ett tillfälligt termometervärde.

Slutsats

Sannolikhetsfördelningens intervallgränser sätts till -18°C (255K) respektive $+24^{\circ}\text{C}$ (297K). Fördelningarna redovisas i figur C.7.



Figur C.7: Sannolikhetsfördelning för temperaturen. Fördelningen är en så kallade Beta-fördelning. Några av indatavärdena markeras med fyrkantpunkter.

Analysen i BestFit gav sannolikhetsfördelningen följande @Riskekvation:
RiskBeta(2,30;1,89)*42,61+254

För att öka regressionsuttryckets användbarhet kommer sannolikhetsfördelningen för temperaturen att följa normala temperatursvängningar. Detta innebär att även temperaturer under resp. över intervallgränserna kommer att användas för framtagningen av regressionsuttrycket.

På detta sätt kan uttrycket användas för fasta tankinstallationer såvida dessa i övrigt uppfyller de förutsättningar och begränsningar som redovisats.

-23 (250) -10 (263) +2 (275) +12 (285) +35 (308) °C (K)

Regressionsuttrycket gäller således för ett intervall, gällande tankinnehållets temperatur, på mellan -23°C och + 35°C. Observera att samma indata gäller oavsett om det gäller lastbilsburen tank eller järnvägstank.

Appendix D: Omräkning av avståndet för respektive stabilitetsklass

En möjlighet att modifiera regressionsuttrycket avseende stabilitetsklass är nödvändigt för att uttrycket skall få en hög användbarhet. Ett sätt är att göra separata uttryck för varje stabilitetsklass. Att utföra 625 stycken simuleringar för respektive stabilitetsklass är mycket tidsödande varför en annan modell valts i denna rapport.

Istället för att tilldela variablerna 5 olika värden används endast 3. Detta medför att 81 olika kombinationer erhålls ($3^4 = 81$). Simuleringar i CHEMS-PLUS utförs för att få fram avståndet till den gränssättande koncentrationen för respektive stabilitetsklass A-C samt E-F. Då simuleringarna utförts kan därmed samtidiga värden erhållas på dels regressionsuttryckens avstånd för de 81 värdena dels CHEMS-PLUS avstånd för respektive stabilitetsklass med samma 81 värden.

Därmed kan ett regressionsuttryck skapas där den beroende variabeln är avståndet för gällande stabilitetsklass och den förklarande är avståndet från regressionsuttrycken.

$$X_A = k \cdot X_I^A$$

Slutligen jämförs det avstånd regressionsuttrycket för stabilitetsklass D ger (d.v.s. det ursprungliga uttrycket) med de avstånd respektive uttryck ger för de olika stabilitetsklasserna. Jämförelsen görs i diagramform. Detta innebär att det avstånd som beräknas med hjälp av det ursprungliga regressionsuttrycket är x-värdet i diagrammet. Det avstånd som skulle erhållits om annan stabilitetsklass råder kan då avläsas på y-axeln (se fig. D.1-8).

Stabilitetsklass A-C gäller under dagtid. Vindhastigheten bör vara högst ca. 3,5 m/s om A eller B kan anses gälla och den bör vara högst 5 m/s om stabilitetsklass C kan anses gälla. Stabilitetsklass E och F gäller under nattetid. Vindhastigheten bör vara högst 3,5 m/s respektive 5 m/s om E respektive F kan anses gälla.

Följande variabelvärden har använts för att få fram regressionsuttrycken för stabilitetsklass A, B och F:

$$d = 0,005, 0,022 \text{ och } 0,05 \text{ m}$$

$$T = 250, 275 \text{ och } 308 \text{ K}$$

$$z_0 = 0,0001, 1,3 \text{ och } 3 \text{ m}$$

$$u = 0,1, 1,3 \text{ och } 3,5 \text{ m/s}$$

Följande variabelvärden har använts för att få fram regressionsuttrycken för stabilitetsklass C och E:

$$d = 0,005, 0,022 \text{ och } 0,05 \text{ m}$$

$$T = 250, 275 \text{ och } 308 \text{ K}$$

$$z_0 = 0,0001, 1,3 \text{ och } 3 \text{ m}$$

$$u = 0,1, 1,3 \text{ och } 5 \text{ m/s}$$

Nedan redovisas resultaten för utsläpp i gasfas respektive vätskefas.

Gasfasutsläpp

Stabilitetsklass A-C ger kortare avstånd till den gränssättande koncentrationen än det ursprungliga regressionsuttrycket. Två diagram redovisas. Ett för regressionsuttrycksavstånd på upp till 10000 m samt ett för avstånd mellan 10000 och 100000 m (se fig. D.1 och D.2). De uttryck som tagits fram för stabilitetsklasserna har följande utseende:

$$X_{Ag} = 0,386 \cdot X_g^{0,936}$$

$$X_{Bg} = 0,515 \cdot X_g^{0,963}$$

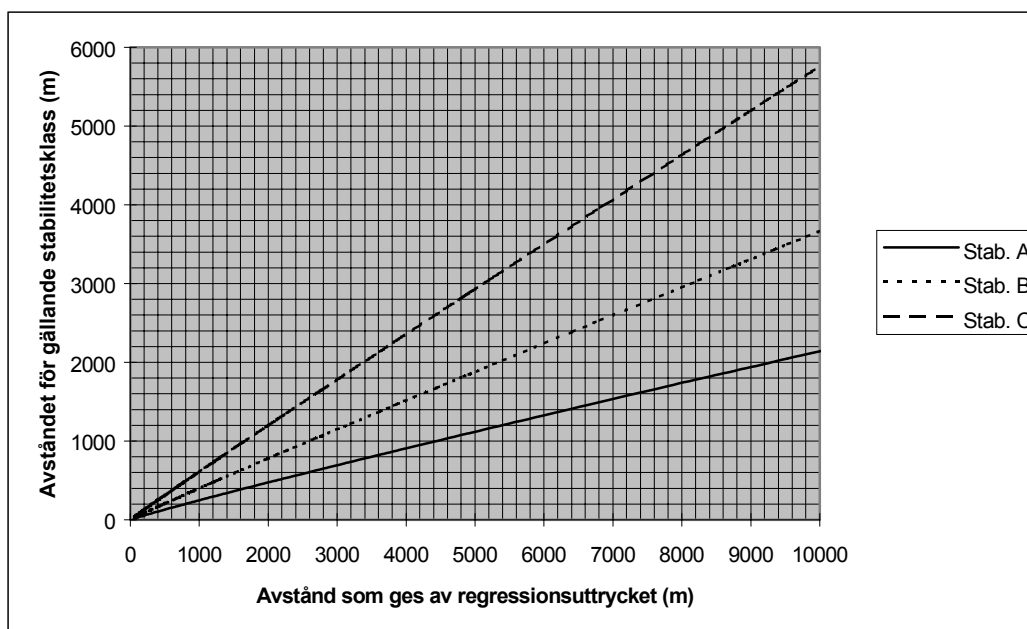
$$X_{Cg} = 0,725 \cdot X_g^{0,975}$$

Stabilitetsklass E och F ger längre avstånd till den gränssättande koncentrationen än vad det ursprungliga regressionsuttrycket ger. Precis som för stabilitetsklass A-C redovisas två diagram (se fig. D.3 och D.4). De regressionsuttryck som tagits fram för stabilitetsklasserna E och F har följande utseende:

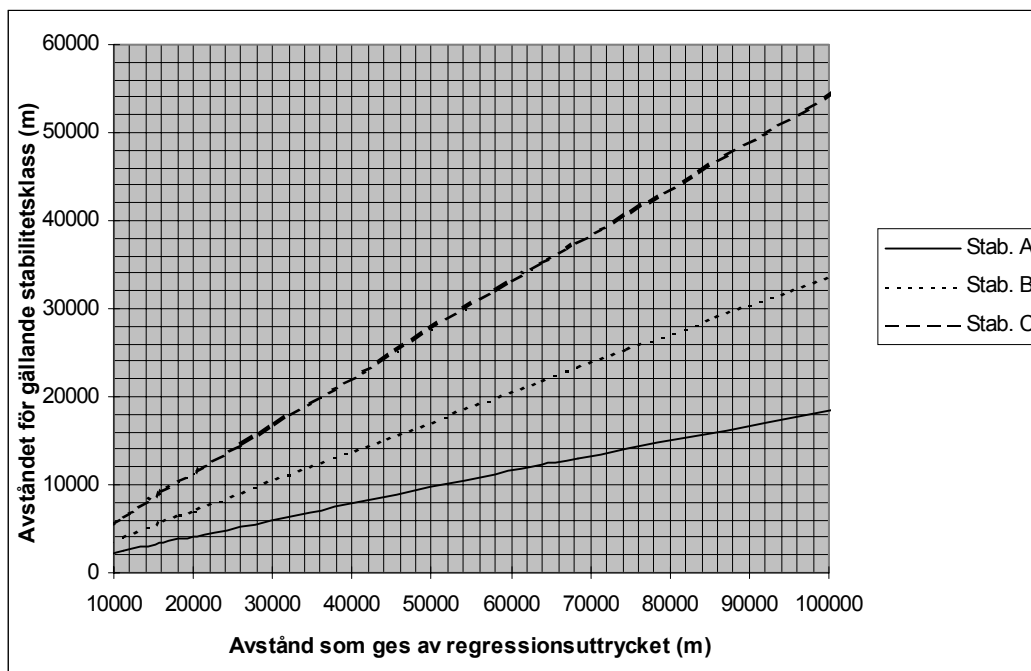
$$X_{Eg} = 1,448 \cdot X_g^{1,012}$$

$$X_{Fg} = 2,334 \cdot X_g^{1,042}$$

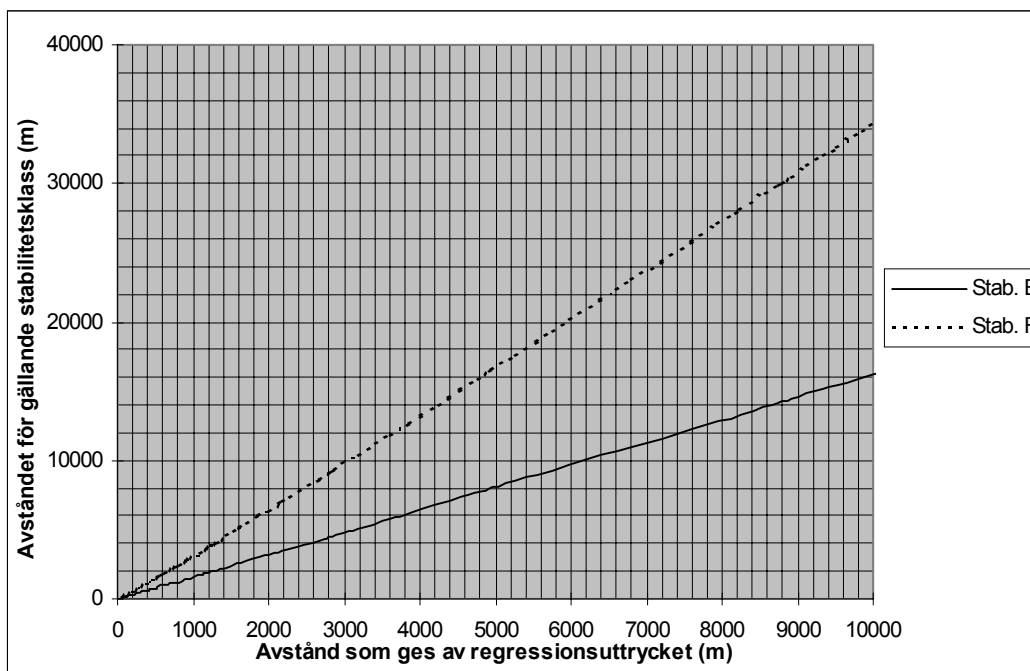
Alla uttrycken uppvisar en hög korrelation med indatamaterialet. R^2 är för de fem uttrycken så hög som mellan 99,4 och 99,6 %. Uttrycken ovan kan användas istället för de diagram som redovisas nedan för att räkna fram avståndet till den gränssättande koncentrationen för respektive stabilitetsklass.



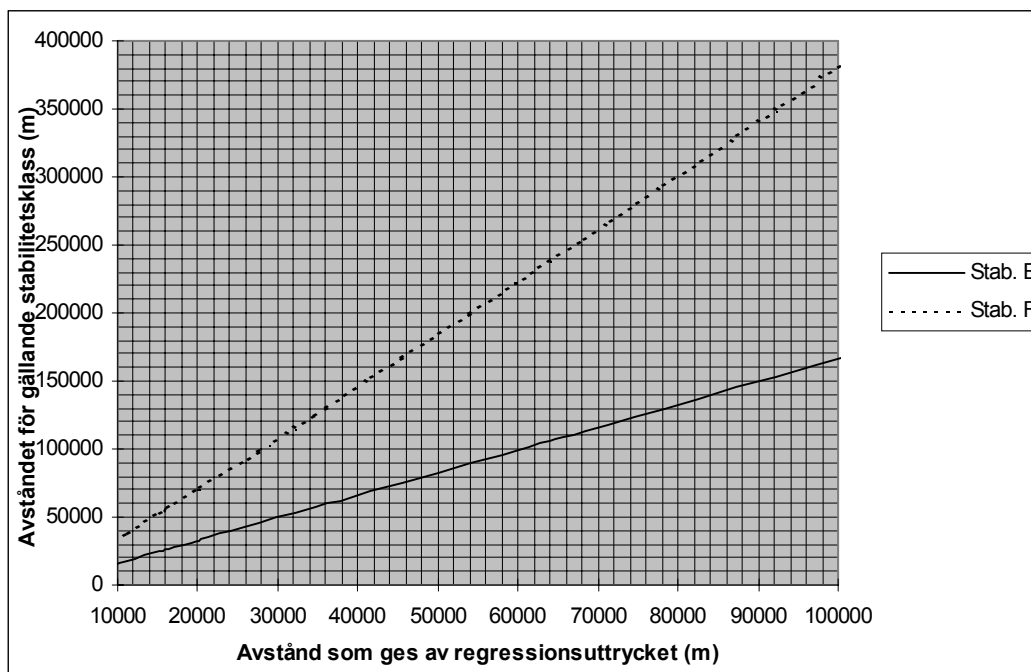
Figur D.1: Diagram för att bedöma avståndet till den gränssättande koncentrationen om stabilitetsklass A, B eller C kan anses råda istället för regressionsuttryckets stabilitetsklass D. Diagrammet avser avstånd kortare än 10000 m. Diagrammet avser utsläpp i gasfas.



Figur D.2: Diagram för att bedöma avståndet till den gränssättande koncentrationen om stabilitetsklass A, B eller C kan anses råda istället för regressionsuttryckets stabilitetsklass D. Diagrammet avser avstånd mellan 10000 och 100000 m. Diagrammet avser utsläpp i gasfas.



Figur D.3: Diagram för att bedöma avståndet till den gränssättande koncentrationen om stabilitetsklass E eller F kan anses råda istället för regressionsuttryckets stabilitetsklass D. Diagrammet avser avstånd kortare än 10000 m. Diagrammet avser utsläpp i gasfas.



Figur D.4: Diagram för att bedöma avståndet till den gränssättande koncentrationen om stabilitetsklass E eller F kan anses råda istället för regressionsuttryckets stabilitetsklass D. Diagrammet avser avstånd mellan 10000 och 100000 m. Diagrammet avser utsläpp i gasfas.

Vätskefasutsläpp

Stabilitetsklass A-C ger kortare avstånd till den gränssättande koncentrationen än det ursprungliga regressionsuttrycket. Två diagram redovisas. Ett för regressionsuttrycksavstånd på upp till 10000 m samt ett för avstånd mellan 10000 och 100000 m (se fig. D.5 och D.6). De uttryck som tagits fram för stabilitetsklasserna har följande utseende:

$$X_{AI} = 0,548 \cdot X_I^{0,908}$$

$$X_{BI} = 0,590 \cdot X_I^{0,953}$$

$$X_{CI} = 0,750 \cdot X_I^{0,974}$$

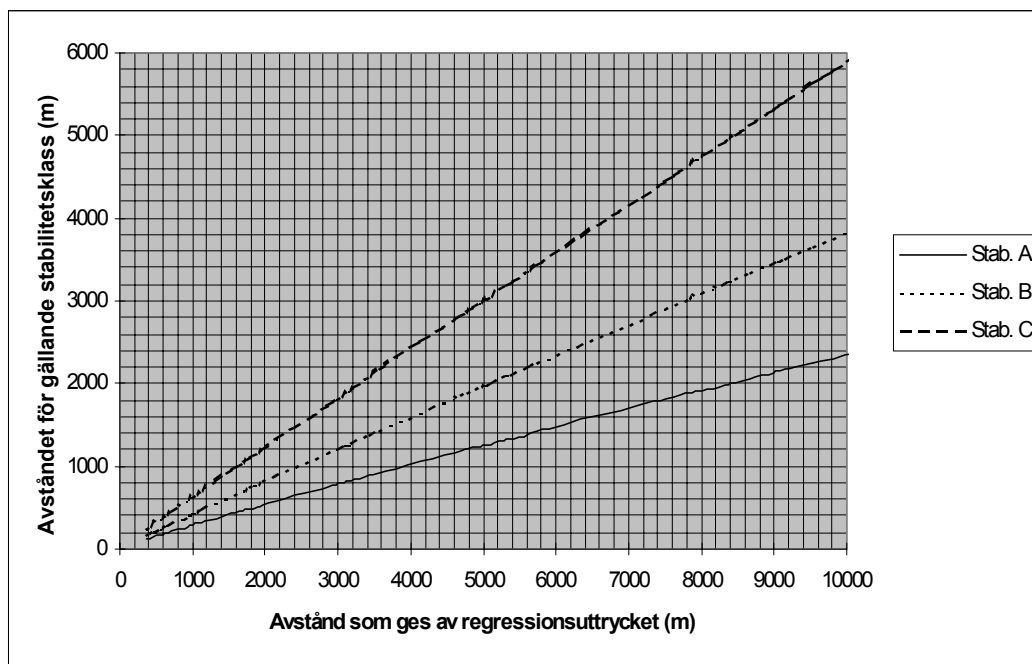
Stabilitetsklass E och F ger längre avstånd till den gränssättande koncentrationen än vad det ursprungliga regressionsuttrycket ger. Precis som för stabilitetsklass A-C redovisas två diagram (se fig. D.7 och D.8). De regressionsuttryck som tagits fram för stabilitetsklasserna E och F har följande utseende:

$$X_{EI} = 1,324 \cdot X_I^{1,023}$$

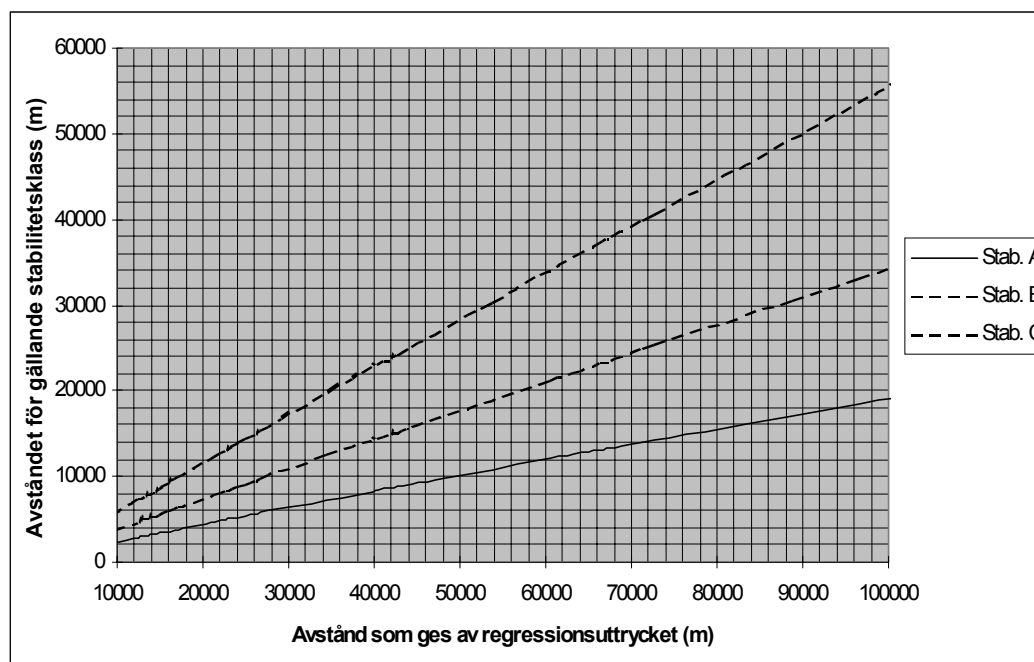
$$X_{FI} = 1,927 \cdot X_I^{1,066}$$

Alla uttrycken uppvisar en hög korrelation med indatamaterialet. R^2 är för de fem uttrycken så hög som mellan 99,4 och 99,6 %. Uttrycken ovan kan användas istället för de diagram som

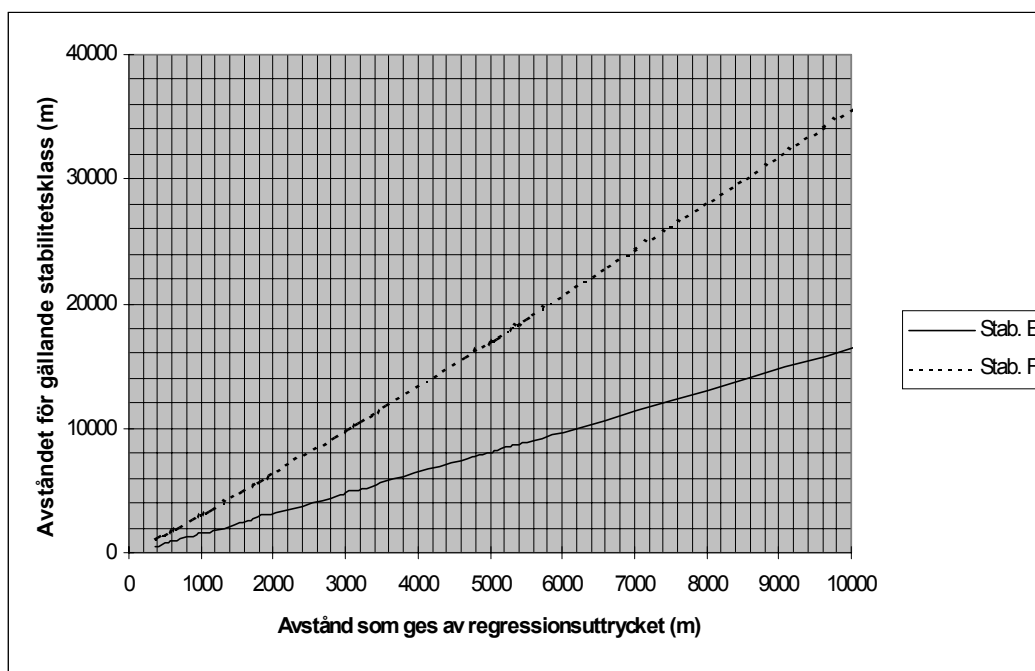
redovisas nedan för att räkna fram avståndet till den gränssättande koncentrationen för respektive stabilitetsklass.



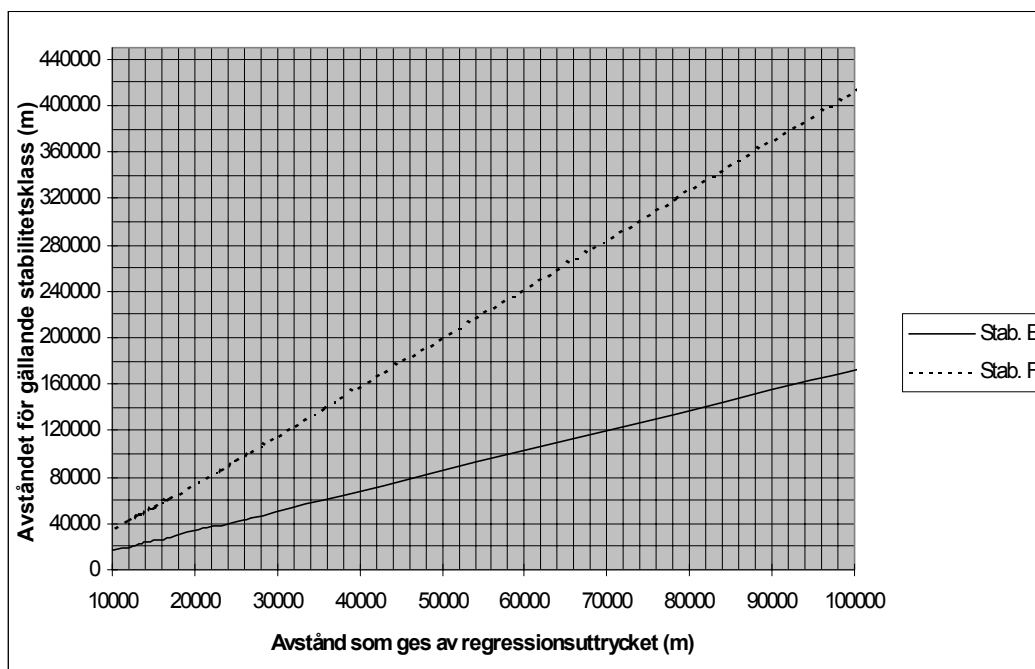
Figur D.5: Diagram för att bedöma avståndet till den gränssättande koncentrationen om stabilitetsklass A, B eller C kan anses råda istället för regressionsuttryckets stabilitetsklass D. Diagrammet avser avstånd kortare än 10000 m. Diagrammet avser utsläpp i vätskefas.



Figur D.6: Diagram för att bedöma avståndet till den gränssättande koncentrationen om stabilitetsklass A, B eller C kan anses råda istället för regressionsuttryckets stabilitetsklass D. Diagrammet avser avstånd mellan 10000 och 100000 m. Diagrammet avser utsläpp i vätskefas.



Figur D.7: Diagram för att bedöma avståndet till den gränssättande koncentrationen om stabilitetsklass E eller F kan anses råda istället för regressionsuttryckets stabilitetsklass D. Diagrammet avser avstånd kortare än 10000 m. Diagrammet avser utsläpp i vätskefas.



Figur D.8: Diagram för att bedöma avståndet till den gränssättande koncentrationen om stabilitetsklass A, B eller C kan anses råda istället för regressionsuttryckets stabilitetsklass D. Diagrammet avser avstånd mellan 10000 och 100000 m. Diagrammet avser utsläpp i vätskefas.

Appendix E: Omräkning av referenshöjden för användning i regressionsuttrycket

Vindhastigheten varierar med höjden över marken. Variationen beror av den turbulens som uppstår vid markytan beroende på markens ytråhet samt den omblandning som sker p.g.a. temperaturskillnader.

Variationen är således beroende av ytråheten och atmosfärens temperaturskillnader. Temperaturskillnaderna beskrivs med hjälp av stabilitetsklassen vilket gör att variationen beror av ytråheten och stabilitetsklassen. I Fischer et.al. [7] finns ekvationer och diagram för att kunna räkna om vindhastigheten, detta resonemang följs även här.

Vindens variation med höjden följer den så kallade vindlagen om neutral skiktning råder. Neutral skiktning motsvarar stabilitetsklass D. Vindlagen har följande utseende:

$$U = u_* \cdot \ln(z/z_0) / k$$

där

- U = vindhastigheten
- u_* = friktionshastigheten
- z = höjden över marken
- z_0 = ytråheten
- k = von Karmans konstant = 0,4

För att få fram en omräkningsfaktor för vindhastigheten kan vindhastigheten på den kända höjden z delas med vindhastigheten på 10 meters höjd enligt ekvationen ovan. Konstanterna faller därmed bort. En tabell kan skapas med de omräkningsfaktorer som krävs för att räkna om mätvärdet på höjden z till ett värde som motsvarar vindhastigheten på 10 m. I tabell E.1 redovisas omräkningsfaktorerna.

Som hjälp för att infoga värdena i regressionsuttrycket ges ett exempel:

Antag att brandstationens vindhastighetsmätare sitter på 16 meters höjd över marken. Denna visar vid olyckstillfället 5 m/s, d.v.s. $U(16m) = 5$ m/s. På olycksplatsen anses liknande vindförhållanden råda. Markförhållandena på olycksplatsen bedöms motsvara en ytråhet lika med 1,3 m. Ur tabell E.1 hämtas värdet $U(z)/U(10m) = 1,23$.

I regressionsuttrycket skall $U(10m)$ användas. Således delas 5 m/s med 1,23, ty:

$$U(16m)/(U(16m)/U(10m)) = U(10m) = 5/1,23 \approx 4 \text{ m/s}$$

Det värde som skall användas i regressionsuttrycket är således 4 m/s.

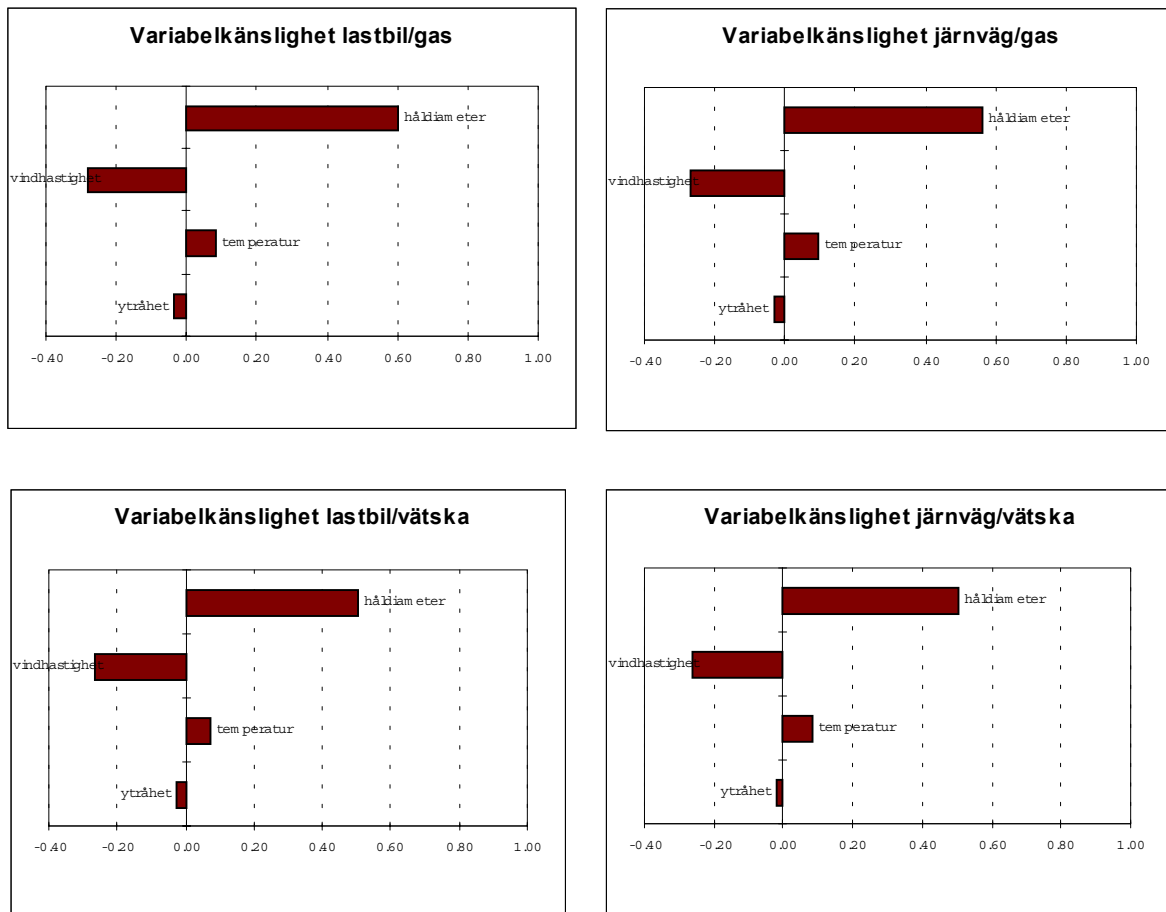
z (m)	U(z)/U(10m)								
	ytråhet = 0,0001	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	1,3	2,0	3,0
1	0.80	0.50	0.41	0.34	0.23				
2	0.86	0.65	0.59	0.54	0.46	0.30	0.21		
3	0.90	0.74	0.69	0.66	0.60	0.48	0.41	0.25	
4	0.92	0.80	0.77	0.74	0.69	0.60	0.55	0.43	0.24
5	0.94	0.85	0.82	0.80	0.77	0.70	0.66	0.57	0.42
6	0.96	0.89	0.87	0.85	0.83	0.78	0.75	0.68	0.58
7	0.97	0.92	0.91	0.90	0.88	0.85	0.83	0.78	0.70
8	0.98	0.95	0.94	0.94	0.93	0.90	0.89	0.86	0.81
9	0.99	0.98	0.97	0.97	0.96	0.95	0.95	0.93	0.91
10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
11	1.01	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.05	1.06	1.08
12	1.02	1.04	1.05	1.05	1.06	1.08	1.09	1.11	1.15
13	1.02	1.06	1.07	1.07	1.09	1.11	1.13	1.16	1.22
14	1.03	1.07	1.09	1.10	1.11	1.15	1.16	1.21	1.28
15	1.04	1.09	1.10	1.12	1.14	1.18	1.20	1.25	1.34
16	1.04	1.10	1.12	1.13	1.16	1.20	1.23	1.29	1.39
17	1.05	1.12	1.14	1.15	1.18	1.23	1.26	1.33	1.44
18	1.05	1.13	1.15	1.17	1.20	1.26	1.29	1.37	1.49
19	1.06	1.14	1.16	1.18	1.21	1.28	1.31	1.40	1.53
20	1.06	1.15	1.18	1.20	1.23	1.30	1.34	1.43	1.58

Tabell E.1: Omräkningsfaktor för vindhastigheten. Värdena gäller för stabilitetsklass D.

Appendix F: Osäkerhetsanalys

Variabelkänslighet

Ett sätt att kontrollera vilken variabel som påverkar resultatet mest är att hämta variabelkänsligheten från simuleringarna i @Risk. Att observera är att känsligheten är beroende både av variabelns exponent och sannolikhetsfördelningens utseende. Detta innebär att en sannolikhetsfördelning som har stora variationer, t.ex. håldiameters fördelning (se appendix C) har större betydelse än en variabel med stor exponent men en fördelning utan större svängningar, t.ex. temperaturen. I figur F1 visas vilka variabler som påverkar resultatet mest i den osäkerhetsanalys som utförts.



Figur F.1: Variabelkänsligheten vid osäkerhetsanalysen. Observera de relativa likheterna mellan analyserna.

Ur figuren kan enkelt ses att skillnaderna mellan de olika osäkerhetsanalyserna är små. I samtliga fall fås samma inbördes ordning mellan variablerna. Kombinationen exponentstorlek och sannolikhetsfördelningens utseende har således gett följande ordning:

Håldiameter → Vindhastighet → Temperatur → Ytråhet

Standardavvikelsen

Ett mått på spridningen kring medelvärdet är standardavvikelsen. Standardavvikelsen kan fås direkt ur @Risk. I de simuleringar som gjorts är standardavvikelsen mycket stor (se nedan). Detta är dock helt naturligt eftersom standardavvikelsen är ett sammanfattande mått på enskilda observationernas spridning kring medelvärdet (Körner et.al [21]), skillnaderna i skyddsavstånd blir mycket stort beroende på variabelvärdena. I tabell F.1 redovisas medelvärde och standardavvikelse för respektive scenario.

Scenario	Medelvärde (m)	Standardavvikelse (m)
Lastbil/gas	124	214
Lastbil/vätska	1535	2595
Järnväg/gas	137	218
Järnväg/vätska	2725	5837

Tabell F.1: Medelvärde och standardavvikelse för respektive scenario. Värdena hämtade från osäkerhetsanalyserna i @Risk.

Ett annat sätt att beräkna standardavvikelsen är att handräkna med hjälp av att Taylor-utveckla regressionsuttrycket. Som ett exempel har uttrycket för gasfasutsläpp utvecklats och fördelningarna för lastbilstank använts. Nedan följer en redovisning av beräkningsgången. Observera att andra siffervärden än de som beräknats med hjälp av @Risk används som indata och fås som utdata.

Taylor-utveckling

I Granger Morgan et.al. [22] ges anvisningar för hur Taylorutveckling kan användas vid osäkerhetsanalys. Det som används är en så kallad första gradens approximation. Denna kan användas om variabelerna kan anses som oberoende av varandra. Det förutsätts dessutom att osäkerheten är liten samt att funktionens andra och högre derivator är små i variabelernas variationsområde. Med dessa förutsättningar ger de nedan presenterade formlerna en bra approximation.

För att beräkna variansen (standardavvikelsen i kvadrat) kan följande formel användas:

$$\text{Var}(y) = \sum \text{var}(x_i) \cdot \left[\frac{\partial y}{\partial x_i} \right]_{x_0}^2$$

För det framräknade regressionsuttrycket får detta följande betydelse:

$$\text{Var}(X) = \text{var}(d) \cdot \left[\frac{\partial y}{\partial d} \right]^2 + \text{var}(u) \cdot \left[\frac{\partial y}{\partial u} \right]^2 + \text{var}(z_0) \cdot \left[\frac{\partial y}{\partial z_0} \right]^2 + \text{var}(T) \cdot \left[\frac{\partial y}{\partial T} \right]^2$$

Där derivatorna skall utvärderas med hänsyn till variabeln medelvärde.

Varianserna har hämtats från BestFit och RiskWiev. Det är självfallet möjligt att handräkna fram dessa värden men eftersom detta endast är ett exempel på hur standardavvikelsen för regressionsuttrycket kan beräknas har detta ej gjorts. Sannolikhetsfördelningen för temperaturen har gjorts om till en triangelfördelning för att förenkla beräkningarna, i övrigt har fördelningarna enligt appendix C använts. Värden på medelvärdet och variansen för respektive variabel redovisas i tabell F.2.

Variabel	Medelvärde	Varians	Standardavvikelse
----------	------------	---------	-------------------

Håldiametern	0,0078	0,00005	0,007
Vindhastigheten	4,9	13,7	3,7
Ytråheten	1,3	0,24	0,49
Temperaturen	275	345	18,6

Tabell F.2: Medelvärde och varians för respektive variabel. Uppgifterna hämtade från BestFit och RiskWiev.

Respektive derivata beräknas enligt deriveringsreglerna. Nedan redovisas respektive derivata, de variabler som hålls konstanta har markerats med K det är således endast förändringarna i uttrycket som redovisas.

Ursprungligt uttryck: $6,6 \cdot 10^{-9} \cdot d^{1,1} \cdot u^{-0,56} \cdot z_0^{-0,08} \cdot (T+273)^{5,24}$

$$[\partial y / \partial d] = 1,1 \cdot K \cdot d^{0,1}$$

$$[\partial y / \partial u] = -0,56 \cdot K \cdot u^{-1,56}$$

$$[\partial y / \partial z_0] = -0,08 \cdot K \cdot z^{-1,08}$$

$$[\partial y / \partial T] = 5,24 \cdot K \cdot (T+273)^{4,24} \cdot 1$$

Derivator, medelvärden och varianser insatta i variansformeln ger:

$$\text{Var}(X) = 7625 \quad \Rightarrow \quad \sigma = 87$$

För de redovisade medelvärdena får regressionsuttrycket värdet $X = 77$ m.

Som kan ses är det ej samma värden som de som fås ur @Risk. Detta beror på dels fördelningarnas utformning dels på att temperaturens fördelning gjorts om till en triangelfördelning.

Appendix G: Användarinstruktion för utsläpp av ammoniak

DENNA ANVÄNDARINSTRUKTION KAN ANVÄNDAS FÖR BESTÄMNING AV SKYDDSOMRÅDE DÅ ETT AMMONIAKUTSLÄPP FRÅN EN

***TANK PÅ LASTBIL
TANK PÅ JÄRNVÄGSVAGN***

HAR ELLER KAN TÄNKAS INTRÄFFA.

Följande begränsningar skall beaktas innan användandet (observera att ytterligare begränsningar införs inne i instruktionen):

- Det framräknade värdet gäller för avståndet till koncentrationen 50 PPM.
- Utsläppet skall kunna betraktas som kontinuerligt. Detta innebär att läckaget skall ha en utsträckning över tiden, allt tankinnehåll får ej ha strömmat ut vid ett och samma tillfälle (d.v.s. ej momentant utsläpp)
- Utsläppet sker från kort kanal eller hål direkt på tanken
- Vindhastighetens referenshöjd är 10m

Tips innan användandet:

- Följ instruktionen punkt för punkt.
- Använd ditt sunda förnuft.
- Bli ej förvånad om skyddsområdet får stor utbredning.

1. Fastställ typ av utsläpp

Är utsläppet i vätske- eller gasfas. Kan detta ej fastställas betrakta utsläppet som ett vätskefasutsläpp till dess fastställelse kan ske.

2. Fastställ variabelvärden till regressionsuttrycket

Observera: Är samtliga variabelvärden okända skall skyddsområdet sättas till:

För lastbilstank:

Gasfasutsläpp: 300 m

Vätskefasutsläpp: 3300 m

För tank på järnvägsvagn:

Gasfasutsläpp: 300 m

Vätskefasutsläpp: 5600 m

2.1 Håldiametern

Det troliga är att Du ej kan fastställa håldiametern exakt. Använd då istället följande riktlinjer för Din bedömning:

För lastbilstank:

- Röret till vätskefasen är ej större än 0,05 m i diameter
- Röret till gasfasen är ej större än 0,044 m i diameter
- Använd föremål i närheten som jämförelse.

Kan Du trots detta ej bestämma håldiametern använd:

Gasfasutsläpp: 0,017 m i diameter

Vätskefasutsläpp: 0,018 m i diameter

För tank på järnvägsvagn:

- Röret till vätskefasen är ej större än 0,08 m i diameter
- Röret till gasfasen är ej större än 0,05 m i diameter
- Använd föremål i närheten som jämförelse.

Kan Du trots detta ej bestämma håldiametern använd:

Gasfasutsläpp: 0,017 m i diameter

Vätskefasutsläpp: 0,030 m i diameter

Det värde Du valt måste ligga mellan 0,005 och 0,3 m. Skriv i värdet på sidan 91.

2.2 Vindhastigheten

Använd följande riktlinjer för att bestämma aktuell vindhastighet:

- Stationens vindhastighetsmätare
- Kan vindmätaren ej användas kan nedanstående tabell användas för att bedöma vindhastigheten.

Observera att det värde som används i regressionsuttrycket skall motsvara vindhastigheten på höjden 10m. Värdet skall också motsvara den förhärskande medelvinden. Se därför till att inte använda tillfälliga topp- eller bottenvärden.

Vindhastighet (m/s)	Namn till lands	Vindens verkning på land
0-0,2	lugnt	inga; rök stiger rätt upp
0,3-1,5	svag vind	märkbar för känsln
1,6-3,3	svag vind	lyfter en vimpel
3,4-5,4	måttlig vind	sträcker en vimpel
5,5-7,9	måttlig vind	sträcker en flagga, sätter kvistar och tunnare grenar i rörelse
8,0-10,7	frisk vind	mindre lövträd svajar, skumkammar bildas på insjöar (sk. vita gäss)
10,8-13,8	frisk vind	sätter stora trädgrenar i rörelse, viner i telefontrådar
13,9-17,1	hård vind	hela träd svajar, man går ej obehindrat mot vinden
17,2-20,7	hård vind	bryter kvistar, besvärligt att gå i det fria
20,8-24,4	halv storm	skador på hus, taktegel blåser ned
21,5-28,4	storm	sällsynt i inlandet, träd rycks upp med roten, betydande skador på hus
28,5-32,6	svår storm	mycket sällsynt i inlandet

Kan Du trots detta ej bestämma vindhastigheten använd värdet 1,0 m/s.

Värdet Du valt måste ligga mellan 0,1 och 30,5 m/s. Skriv i värdet på sidan 91.

2.3 Ytråheten

Använd nedanstående tabell för att bestämma aktuell ytråhet.

Marktyp	Ytråhet (m)
Stadsbebyggelse, höghus	3,0
Stadsbebyggelse, blandat	2,0
Stadsbebyggelse, småhus	1,0
Barrskog	1,3
Lövskog (sommar)	1,3
Lövskog (vinter)	0,5
Buskig mark	0,3
Träsk, kärr el. sumpmark	0,2
Odlad mark (sommar)	0,2
Odlad mark (vinter)	0,01
Gräs (sommar)	0,1
Gräs (vinter)	0,001
Vatten	0,0001

Kan Du trots detta ej bestämma den aktuella ytråheten använd värdet 0,4 m

Värdet Du valt måste ligga mellan 0,0001 och 3 m. Skriv i värdet på sidan 91.

2.4 Temperaturen

Använd följande riktlinjer för bestämning av temperaturen:

- Kan tankinnehållets temperatur fastställas, använd då det värdet.
- Använd temperaturuppgiften från stationens eller annan mer närliggande termometer.

Observera att temperaturvärdet som Du använder skall spegla tankinnehållets temperatur. Tillfälliga topp- eller bottenvärden på lufttemperaturen får ej användas. Använd Ditt sunda förnuft.

Obs!

För lastbilstransport: Temperaturer under +10°C får ej användas. Skulle temperaturen vara lägre än detta ansätt + 10°C som temperaturvärde.

För järnvägstransport: Temperaturer under +2°C får ej användas. Skulle temperaturen vara lägre än detta ansätt + 2°C som temperaturvärde.

Kan Du trots detta ej fastställa temperaturen använd värdet 18°C.

Värdet Du valt måste ligga mellan +2°C alt. +10°C och +35°C. Skriv i värdet på sidan 91.

3. Beräkna skyddsområdets utsträckning

Med hjälp av de variabelvärden som Du fastställt ovan kan Du nu beräkna skyddsområdets utsträckning med hjälp av nedanstående formler.

GASFASUTSLÄPP: $X = 6,6 \cdot 10^{-9} \cdot d^{1,1} \cdot u^{-0,56} \cdot z_0^{-0,08} \cdot (T+273)^{5,24}$

VÄTSKEFASUTSLÄPP: $X = 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot d^{1,13} \cdot u^{-0,6} \cdot z_0^{-0,05} \cdot (T+273)^{4,7}$

Avrunda det framräknade värdet till helt antal hundra meter. Tänk på att inte ”övertolka” resultatets exakthet. Bli heller inte förvånad om avståndet blir mycket långt.

Håldiameter m	Vindhastighet m/s	Ytråhet m	Temperatur °C
-----------------------------	---------------------------------	-------------------------	-----------------------------

Skyddsområdets utsträckning enligt regressionsuttryck m

4. Ändra det framräknade värdet beroende på vilken stabilitetsklass som gäller

Fastställ vilken stabilitetsklass som råder med hjälp av nedanstående tabell samt noter. Tänk på att inte välja en stabilitetsklass som ger kortare avstånd utan att Du är helt säker. F ger längst avstånd därefter E, D, C, B och kortast A. Observera att E och F endast gäller nattetid och A, B och C endast dagtid.

Vindhastighet på 10m höjd ovan mark m/s	Solinstrålning			Natt	
	Stark	Medel	Liten	Molnigt	Lätt eller ingen molnighet
<2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	D	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

- Stark solinstrålning motsvarar solig högsommardag vid middagstid. Liten solinstrålning liknande förhållande fast mitt i vintern.
- Natt är 1 timme efter solnedgång till 1 timme innan soluppgång.
- Klass D skall användas oavsett vindhastighet för mycket molnigt väder under dag som natt samt oavsett väderförhållande skall D användas 1 timme före natt och 1 timme efter natt enl. definitionen ovan.

Kan stabilitetsklass D anses råda kan Du använda det under punkt 3 framräknade värdet.

Om Du anser att Stabilitetsklass A, B, C, E eller F råder använd bifogade diagram. Använd regressionsuttryckets värde som indata för x-axeln avläs det nya värdet på y-axeln. Observera att det finns flera diagram.

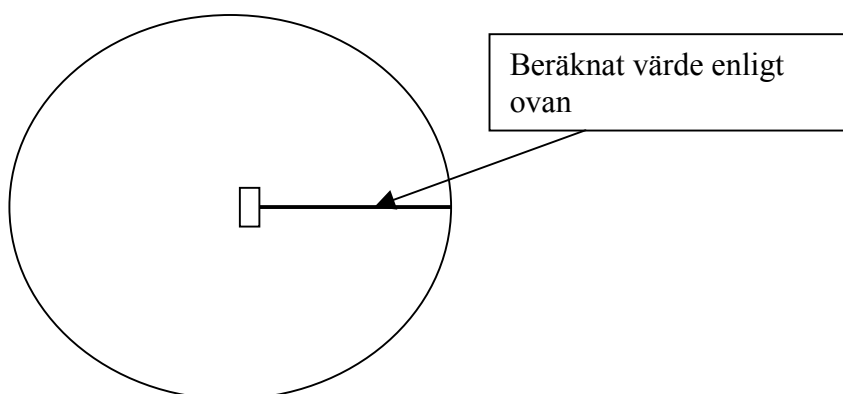
DET VÄRDE DU NU FÅTT FRAM ÄR DET AVSTÅND SOM SKALL UTGÖRA SKYDDSOMRÅDETS UTBREDNING.

<p>Skyddsområdets utbredning</p> <p style="margin-top: 20px;">m</p>

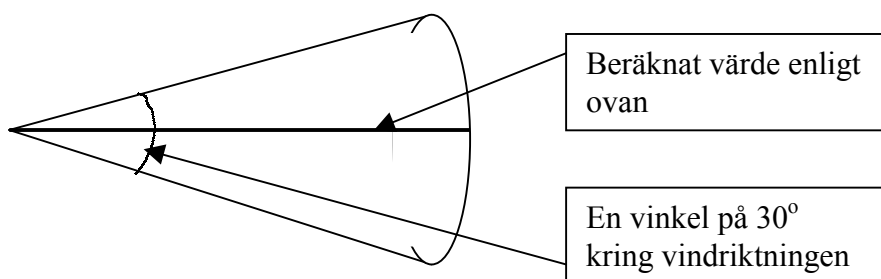
5. Avlys skyddsområdet

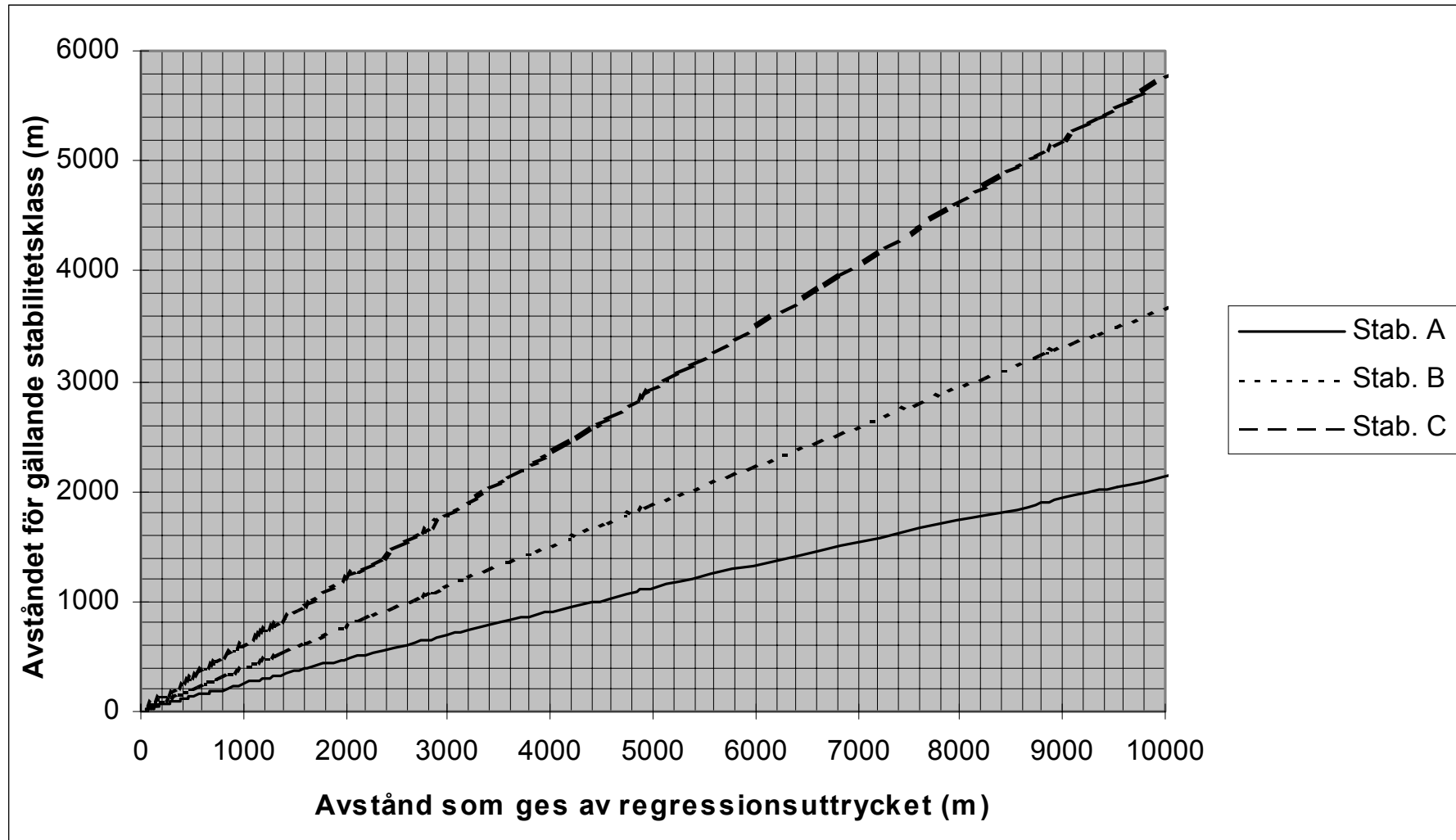
Normalt bör skyddsområdet avlysas som antingen en cirkel runt utsläppskällan eller som ett cirkelsegment med spetsen vid utsläppskällan. Använd nedanstående riktlinjer för att välja lämplig modell.

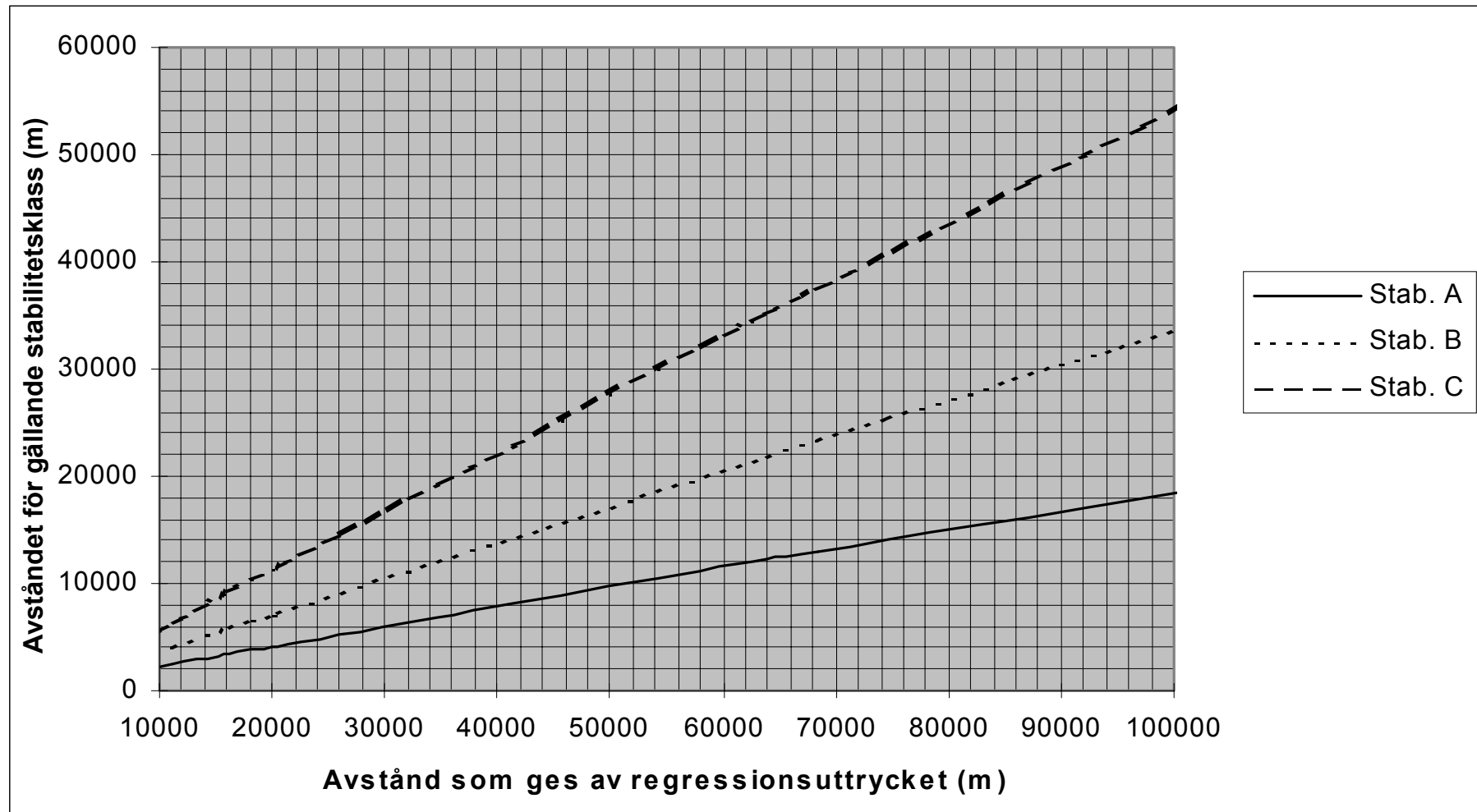
- Avlys som en cirkel med origo vid utsläppskällan om:
 - Vinden är svag och en klar vindriktning ej kan urskiljas.
 - Stor risk för vindkantring föreligger.

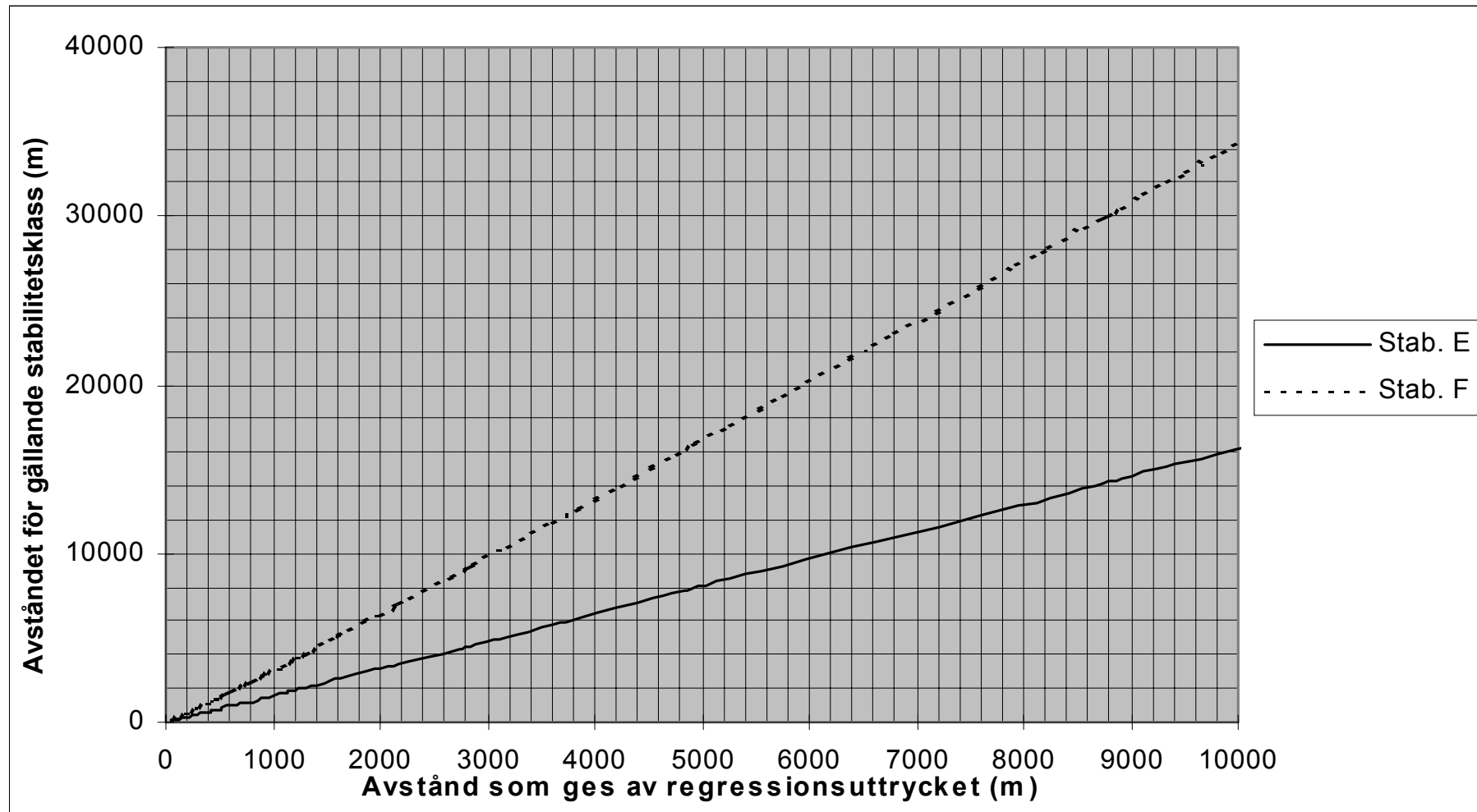


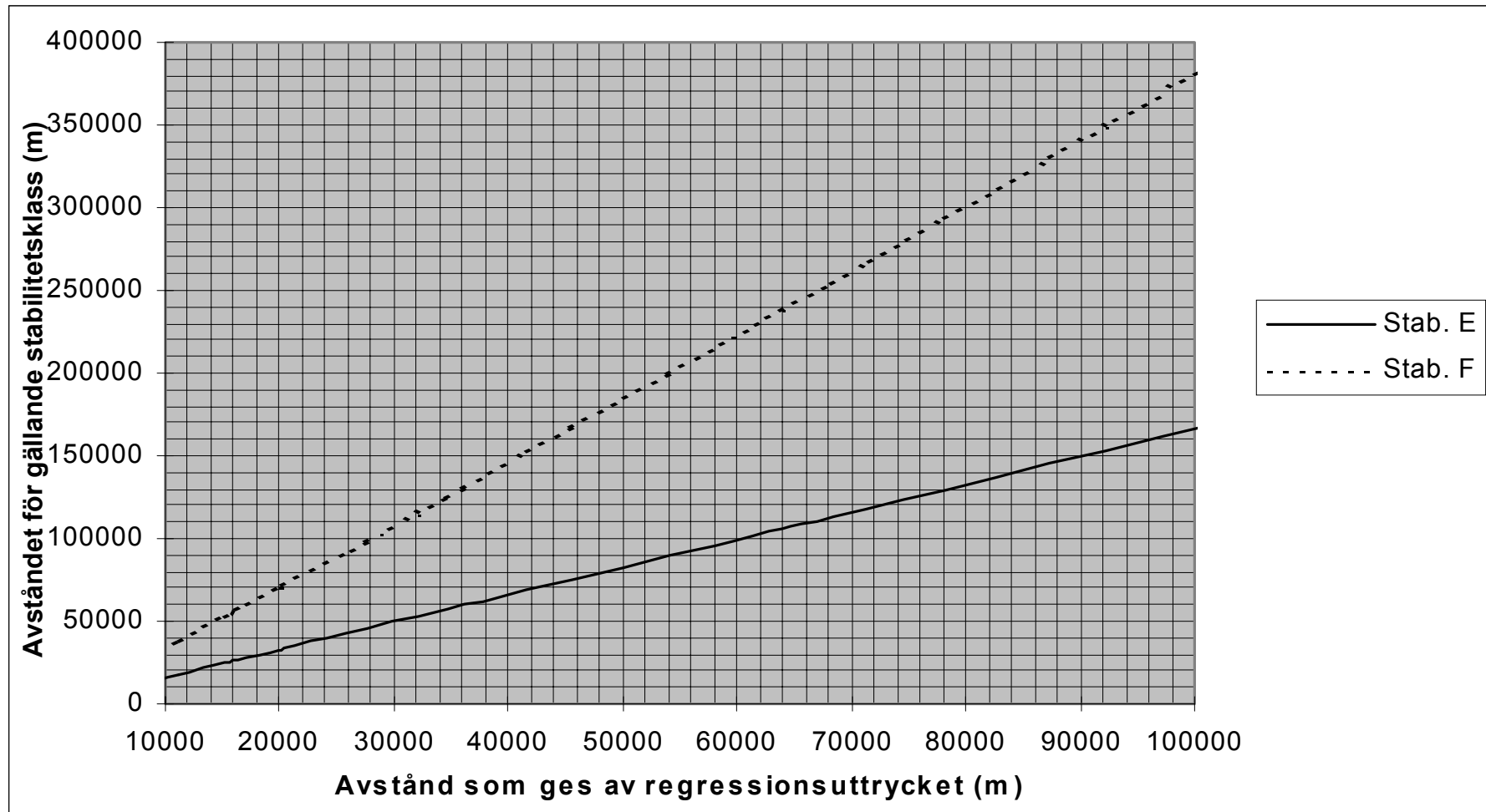
- Avlys som ett cirkelsegment med origo vid utsläppskällan om:
 - En klar vindriktning kan urskiljas.
 - Vinden är stabil, d.v.s. liten risk för vindkantring.

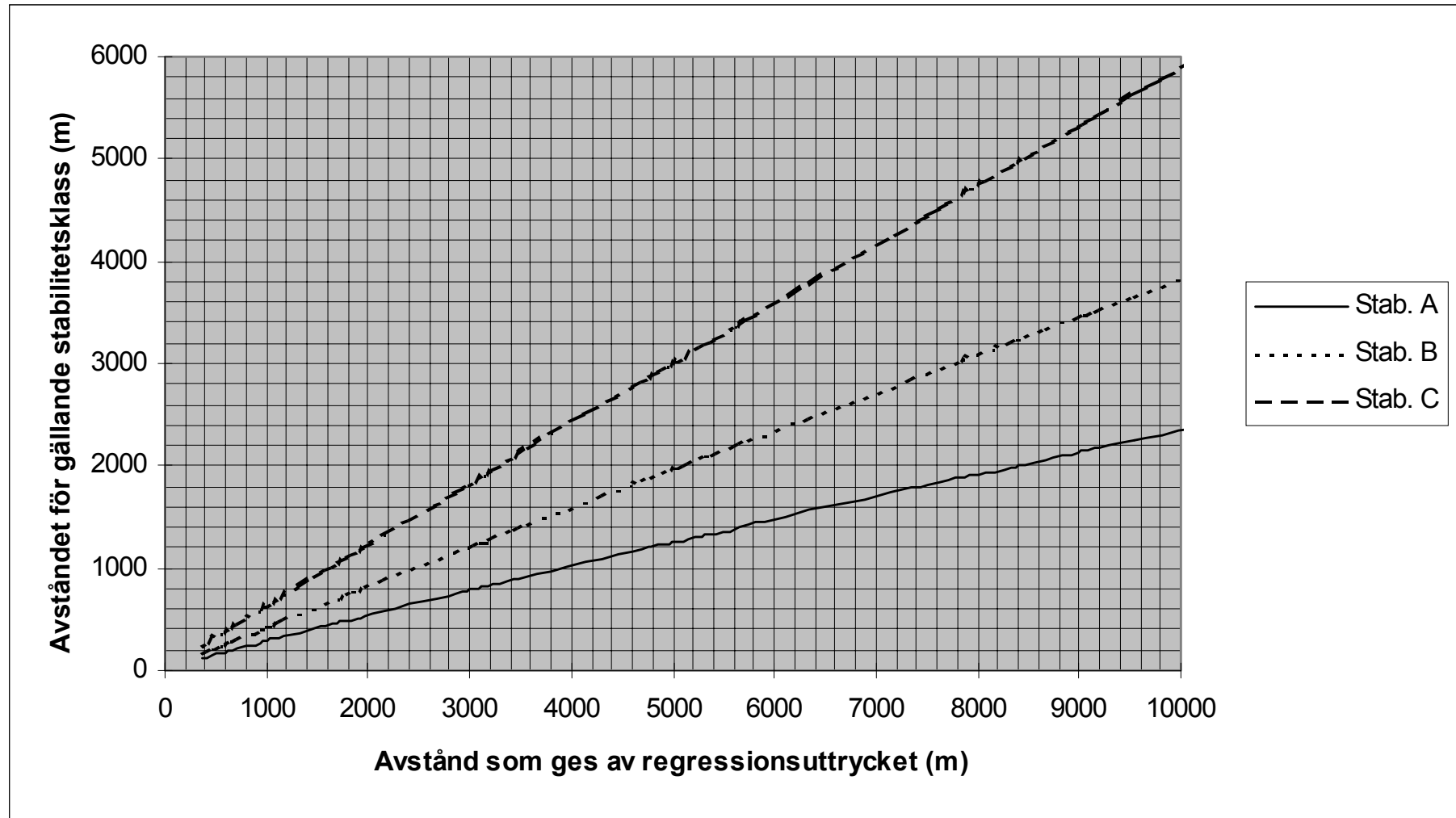


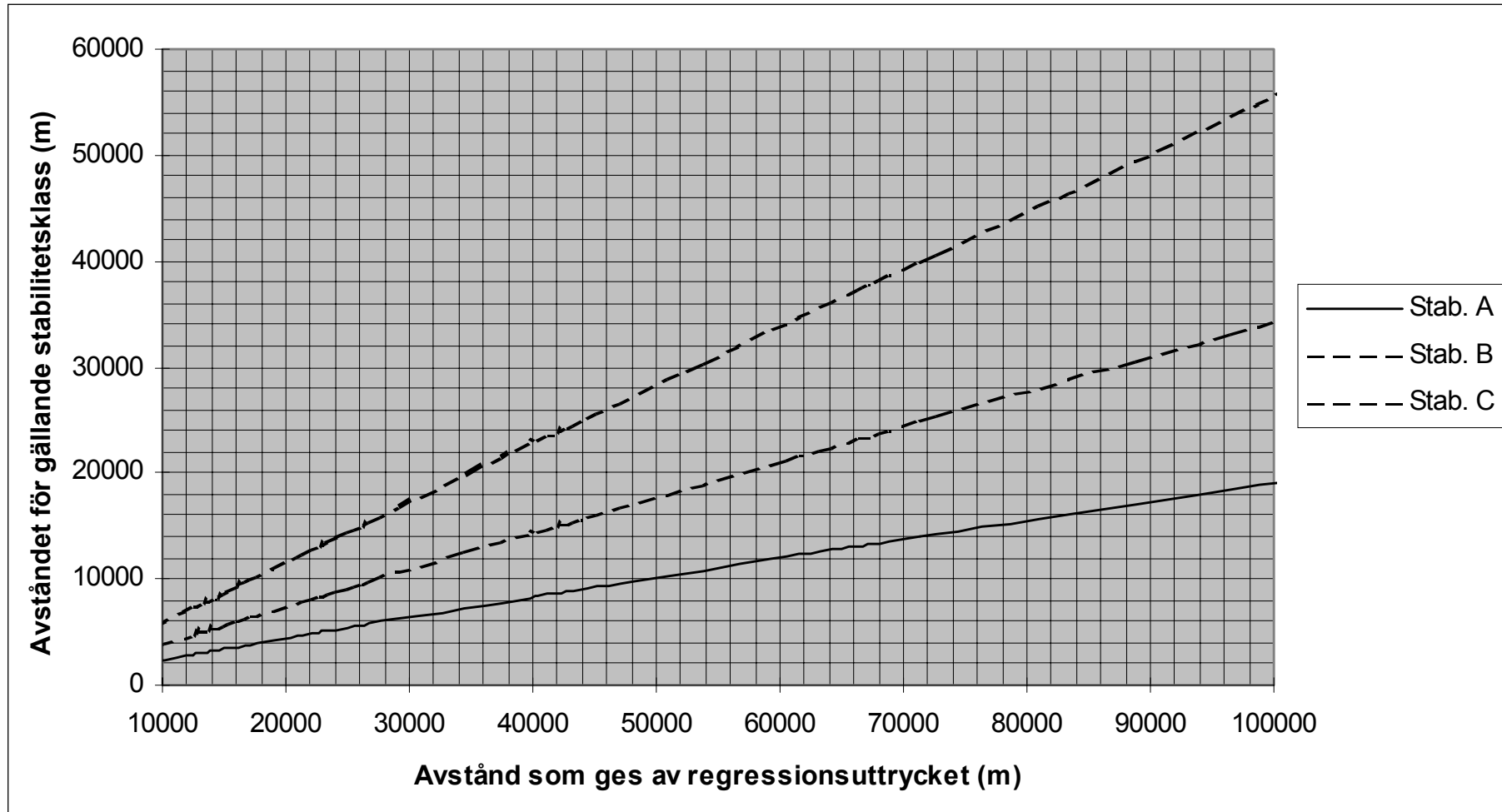
GASFASUTSLÄPP, X-AXELAVSTÅND UPP TILL 10.000 METER, STABILITETSKLASS A, B ELLER C

GASFASUTSLÄPP, X-AXELAVSTÅND MELLAN 10.000 OCH 100.000 METER, STABILITETSKLASS A, B ELLER C

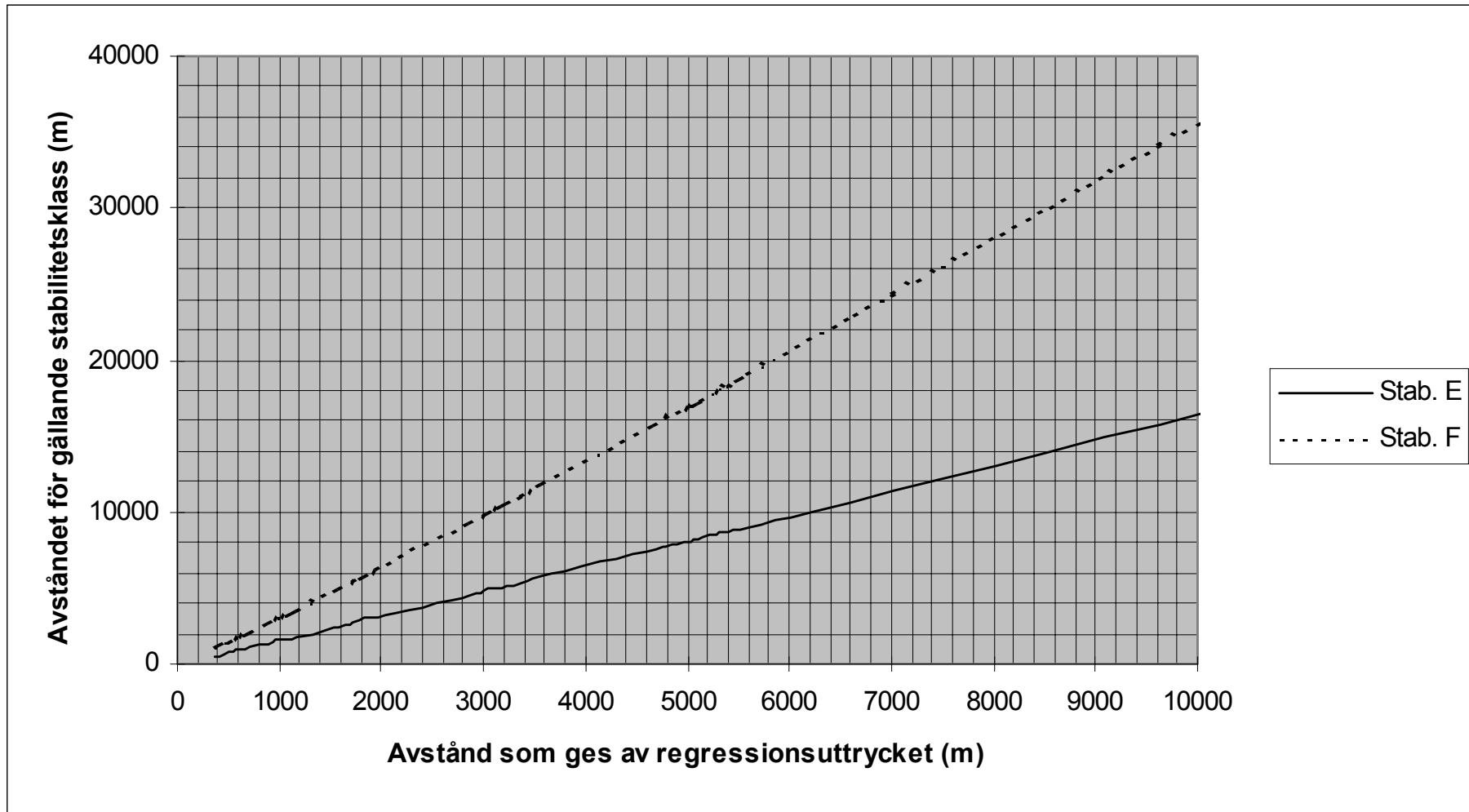
GASFASUTSLÄPP, X-AXELAVSTÅND UPP TILL 10.000 METER, STABILITETSKLASS E ELLER F

GASFASUTSLÄPP, X-AXELAVSTÅND MELLAN 10.000 OCH 100.000 METER, STABILITETSKLASS E ELLER F

VÄTSKEFASUTSLÄPP, X-AXELAVSTÅND UPP TILL 10.000 METER, STABILITETSKLASS A, B ELLER C**VÄTSKEFASUTSLÄPP, X-AXELAVSTÅND MELLAN 10.000 OCH 100.000 METER, STABILITETSKLASS A, B ELLER C**



VÄTSKEFASUTSLÄPP, X-AXELAVSTÅND UPP TILL 10.000 METER, STABILITETSKLASS E ELLER F



VÄTSKEFASUTSLÄPP, X-AXELAVSTÅND MELLAN 10.000 OCH 100.000 METER, STABILITETSKLASS E ELLER F

