

Tolkning av begreppet betryggande i lagstiftning om brandfarliga och explosiva varor med fokus på betryggande avstånd

Alexander Claesson

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

**Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5367, Lund 2011

Tolkning av begreppet betryggande i lagstiftning om brandfarliga och explosiva varor med fokus på betryggande avstånd

Alexander Claesson

Lund 2011

Titel: Tolkning av begreppet betryggande i lagstiftning om brandfarliga och explosiva varor med fokus på betryggande avstånd.

Title: Interpretation of the concept of adequate/reassuring (betryggande) in Swedish legislation for flammable and explosive goods, with focus on adequate/reassuring distance.

Författare: Alexander Claesson

Report 5367

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5367--SE

Number of pages: 99

Illustrations: Alexander Claesson

Keywords: Sprängämnesinspektionen, SÄIFS, adequate, reassuring, MSB, gas vessel, Reason, Swiss Cheese Model, impact calculations, risk acceptance criterion, injury criteria, risk evaluation

Sökord: Sprängämnesinspektionen, SÄIFS, betryggande, MSB, gascistern, Reason, Schweizerostmodell, lagen om brandfarliga och explosiva varor, LBE, konsekvensberäkningar, acceptanskriterier, skadekriterier,

Abstract

The concept of adequate/reassuring (betryggande) safety in Swedish legislation for flammable liquid and gas is very hard to verify in established risk analysis methods. The difficulty lies in the fact that the concept of adequate/reassuring safety is only formulated in qualitative terms. The purpose of this report is to discuss and clarify how the concept of adequate/reassuring safety in parts of the Swedish regulation on flammable and explosive goods is used. Beyond that, the purpose is to formulate quantitative demands on adequate/reassuring distance between gas vessels and surrounding objects. By examining Sprängämnesinspektionens regulations on flammable liquid and gas, performing a literature review and discussing the concept with authority officials this report presents the answers on how the concept is used and can be verified in established risk analysis methods. The overall answer is that the concept is used to ensure adequate/reassuring handling of flammable liquid and gas, structures for handling flammable liquid and gas and distance between the storage for flammable liquid and gas and the surrounding. An adequate/reassuring distance can be verified by ensuring that the surface temperature of a gas vessels never exceeds 500°C and property and humans never are exposed to radiation above 15 respectively 5 kW/m² in case of fire.

© Copyright: Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2011

Brandteknik och Riskhantering
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
and Systems Safety
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

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

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

Sammanfattning

En verksamhetsutövare som hanterar brandfarliga vätskor och gaser har ur säkerhetssynpunkt ett flertal lagar att följa. En av dessa lagar är lagen (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor (LBE). För 10 år sedan var Sprängämnesinspektionen (SÄI) förvaltningsmyndighet för brandfarliga och explosiva varor. Myndigheten är i dagsläget ersatt av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, men ett antal av SÄI:s författningar är fortfarande gällande för hantering av brandfarliga gaser och vätskor. Denna rapport kommer att behandla hur begreppet *betryggande* används i delar av Sprängämnesinspektionens författningssamling (SÄIFS).

I SÄIFS används begreppet *betryggande* som kriterium för en acceptabel säkerhetsnivå. Om en verksamhetsutövare följer föreskrifterna ordagrant anses verksamheten uppnå en *betryggande* säkerhetsnivå. Ibland finns dock incitament för att göra alternativa utformningar av verksamheten och frånga föreskrifterna. Det är då godtagbart att göra avsteg från föreskrifterna om man i en riskutredning kan påvisa att man uppnår en betryggande säkerhetsnivå. En sådan utredning är dock i praktiken svår att genomföra vilket gör regelverket oflexibelt. Författaren och uppdragsgivaren, Ramböll AB, anser att svårigheten främst beror på att begreppet betryggande inte är omsatt i verifierbara acceptanskriterier. Mot bakgrund av dessa svårigheter utreder denna rapport begreppet betryggande. Syftet med rapporten är dels att diskutera och förtydliga hur begreppet betryggande används i utvalda delar av SÄIFS, dels att mer ingående diskutera hur man i riskutredning ska kunna verifiera vad som är ett betryggande avstånd. För att uppfylla syftet har följande två frågeställningar valts:

1. Hur används begreppet betryggande i Sprängämnesinspektionens författningssamling för att tillse att det finns ett acceptabelt skydd mot brand och explosion?
2. Hur kan ett kvantitativt funktionsbaserat svar på vad som är ett betryggande avstånd formuleras?

För att kunna besvara den första frågeställningen behövdes en bättre inblick i det berörda regelverket, SÄIFS och LBE. Därför gjordes en författningsstudie där följande författningar studerades:

- Lag (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor.
- Hantering av brandfarliga vätskor, SÄIFS 2000:2.
- Cisterner, gasklockor, bergrum och rörledningar för brandfarlig gas, SÄIFS 2000:4.
- Brandfarlig gas i lös behållare, SÄIFS 1998:7.
- Öppna cisterner och rörledningar m.m. för brandfarliga vätskor, SÄIFS 1997:9.

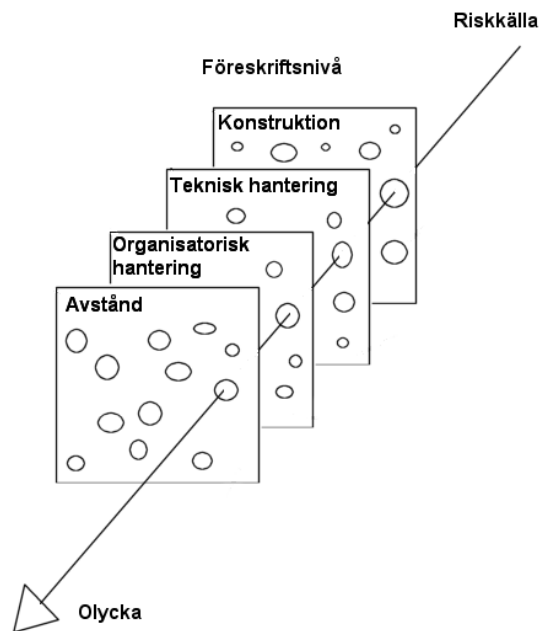
Urvalet av författningar baserades på ett antal av SÄI:s föreskrifter som gäller för hantering av brandfarlig vätska och gas, vari begreppet *betryggande* används som kriterium för en acceptabel säkerhetsnivå.

När författningarna studerats identifierades ett mönster i hur begreppet *betryggande* används. På följande delar av verksamheten ställs kravet att säkerheten ska vara betryggande:

- *Konstruktioner avsedda för brandfarlig gas eller vätska*
- *Hanteringen (teknisk och organisatorisk) av brandfarlig gas eller vätska*
- *Avstånd mellan gas/vätskeanläggning och omgivande objekt*

Slutsatsen av författningsstudien är att föreskrifterna ställer krav på betryggande hantering (teknisk och organisatorisk), konstruktion och avstånd för att säkerställa att det finns ett skydd mot brand och explosion.

Genom att kombinera slutsatserna från författningsstudien med Reasons Schweizerostmodell kan man övergripande visualisera och beskriva hur föreskrifterna bygger upp skyddet mot brand och explosion, se Figur 1.



Figur 1. Reasons schweizerostmodell i kombination med slutsatser från författningsstudien.

Figur 1 visualiserar resultatet av författningsstudien, och hur begreppet betryggande används i författningarna. Det som figuren visar är att verksamhetens skydd mot brand och explosion säkerställs av fyra samverkande barriärer; konstruktion, teknisk hantering, organisatorisk hantering och avstånd. För att säkerhetsnivå ska anses acceptabel ska varje barriär vara betryggande.

För att undersöka den andra frågeställningen, hur ett betryggande avstånd kan verifieras i riskutredning, avgränsades undersökningarna till en föreskrift. Aktuell var då Sprängämnesinspektionens föreskrift SÄIFS 2000:4 om cisterner, gasklockor, bergrum och rörledningar för brandfarlig gas.

SÄIFS 2000:4 lägger stort fokus på de fysiska förutsättningarna för hanteringen av brandfarlig gas. Skälen för att utgå från denna föreskrift var dels att man i denna utrett schablonavstånd som kan anses betryggande, dels att uppdragsgivaren Ramböll hade ett specifikt intresse i gascisterner.

Föreskriften ställer sex krav på avståndet mellan gascistern och omgivande objekt. Fyra av dessa krav på avståndet avser skydd mot brandspridning mellan en gascistern och omgivande objekt. Undersökningarna avgränsas till dessa fyra krav och de används för att bestämma ett funktionsbaserat kvantitativt svar på vad som är ett betryggande avstånd. Dessa fyra krav är att avståndet ska:

1. *begränsa risken för brand och explosion i anläggningen vid brand i omgivningen,*
2. *begränsa risken för brandspridning i anläggningen,*
3. *begränsa risken för brand i omgivningen vid brand i anläggningen,*
4. *göra det möjligt att utrymma området kring anläggningen vid brand innan kritiska situationer uppstår,*

Då kraven avser att skydda mot brandspridning konstateras att ett lämpligt sätt att kvantifiera kraven är att försöka omsätta dem i acceptabla temperatur- och värmestrålningskriterier. Två undersökningar har utförts för att omformulera kraven. Den ena undersökningen fokuserade på hur MSB gjort när de dimensionerat de schablonavstånd som finns i SÄIFS 2000:4, den andra utfördes som en litteraturstudie för att identifiera lämpliga gränsvärden för temperatur och värmestrålning.

MSB:s metod för att bestämma schablonavstånd baserades på beräkningar, tradition och erfarenhet. De beräkningar som MSB gjort har inte funnits tillgängliga under projektet, men efter samtal med Lars Synnerholm på MSB framkom att avstånden baserats på konsekvenserna av fyra dimensionerande brandscenarier. Dessa var *brand i träbyggnad, flänsbrand, slangbrott och fordonsbrand*. Då beräkningar för dessa inte funnit tillgängliga återskapades sådana. Med beräkningarna kunde konsekvenserna av schablonavstånden bestämmas. Förhoppningen med dessa beräkningar var att kunna bestämma vilka konsekvenser som MSB accepterat när schablonavstånden dimensionerades. Slutsatsen var tyvärr att resultaten var för spridda och oprecisa för att kunna används som svar på frågeställningen. Dock visade beräkningarna att konsekvenserna var låga och att schablonavstånden leder till goda säkerhetsmarginaler.

Den andra undersökningen, litteraturstudien, fokuserade på att identifiera acceptabla temperatur- och värmestrålningsnivåer för människor, byggnader och en gascistern. Slutsatsen av litteraturundersökningen var att byggnader inte bör utsättas för strålningsnivåer över 15kW/m^2 , alternativt inte utsättas för strålningsnivåer som antänder eller förstör egendomen på mindre än 30 min. Människor förväntas klara 5kW/m^2 vid en utrymningssituation. Slutligen konstaterades att en gascistern i konstruktionsstål inte får bli mer än 500°C , alternativt att värmestrålningen mot cisternen inte överstiger 45kW/m^2 i 30 min.

Resultaten från de olika undersökningarna som presenteras ovan utgör grunden till de svar som givits frågeställningarna. Nedan presenteras frågeställningarna och det svar som de givits.

1. Hur används begreppet betryggande i Sprängämnesinspektionens författningssamling för att tillse att det finns ett acceptabelt skydd mot brand och explosion?

Svaret är att begreppet betryggande används i samband med krav på verksamhetens hantering av brandfarlig gas eller vätska, på konstruktioner för brandfarlig gas eller vätska och på avstånd mellan omgivande objekt och den hanterade gasen eller vätskan. Hantering, konstruktion och avstånd kan ses som verksamhetens skyddsbarriärer mot brand och explosion. Föreskrifterna ställer krav på att barriärerna var och en ska vara betryggande för att hela verksamheten ska anses ha ett acceptabelt skydd mot brand och explosion.

Att en barriär anses betryggande innebär att det finns tekniska eller organisatoriska lösningar (skyddsåtgärder) som uppfyller de skyddsfunktioner de är avsedda för under normala och tänkbara påfrestningar. Utifrån samma påfrestningar ska barriärernas skyddsåtgärder tillsammans uppfylla en säkerhetsnivå som är så hög att man inte behöver oroa sig för skada på liv, hälsa, miljö och egendom.

2. Hur kan ett kvantitativt funktionsbaserat svar på vad som är ett betryggande avstånd formuleras?

Ett kvantitativt funktionsbaserat svar på vad som är ett betryggande avstånd kan uttryckas med följande två krav:

Avståndet ska vara så stort mellan cistern och omgivande objekt att brand i omgivningen inte leder till att cisternen utsätts för strålningsnivåer över 45kW/m^2 i mer än 30 min och cisternens manteltemperatur inte överstiger 500°C .

Avståndet ska vara så stort mellan cistern och omgivning att brand i anläggningen inte leder till strålningsnivåer mot människor och egendom över 5 respektive 15kW/m^2 , alternativt att utredning visar att högre strålningsnivåer kan accepteras.

Summary

Someone who handles flammable liquids and gases has from a safety perspective a number of laws to follow. One of these laws is the Law of flammable and explosive goods (LBE). Ten years ago the authority for flammable and explosive goods was called Sprängämnesinspektionen (SÄI). Today SÄI has been replaced by Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) but SÄI:s regulation still apply for handling flammable gases and liquids. This report will examine how the concept of the word “*betryggande*” is used in SÄI:s regulation. The word “*betryggande*” is best translated into English by the following words; adequate/reassuring.

In SÄI:s regulation the term *betryggande* is used as a criterion for acceptable risk. Because the term is qualitative without a quantitative translation the author and sponsor, Ramböll AB, finds it hard to verify an acceptable risk. The purpose of this report is to discuss and clarify how the term *betryggande* is used in SÄI:s regulation, and discuss how to verify an adequate/reassuring (*betryggande*) distance between gas vessels and surrounding objects in established risk analysis methods. To fulfil the purpose of this report, two questions have been used to guide the work.

1. How is the concept of “adequate/reassuring” (*betryggande*) used in SÄI:s regulation to ensure that there is reasonable protection against fire and explosion?
2. How can an adequate/reassuring (*betryggande*) distance between gas vessels and surrounding be expressed in a quantitative way that can be verified by established methods for risk analysis.

To be able to answer these two questions a number of studies have been made; these are briefly presented below:

- Relevant framework was examined and the conclusions were combined with Reason's Swiss cheese model. Together they visualize and describe the rules for protection against fire and explosion.
- One of the regulations (SÄIFS 2000:4) was examined in depth to get a better understanding of how authorities do when they determine adequate/reassuring (*betryggande*) distance.
- A literature review examined threshold values for exposure to heat radiation and surface temperature on gas vessels, property and humans. The results led to quantitative threshold values that could be used to answer the questions asked for this report.

The answer to the two questions is:

1. How is the concept of “adequate/reassuring” (*betryggande*) used in SÄI:s regulation to ensure that there is reasonable protection against fire and explosion?

*The concept of “adequate/reassuring” (*betryggande*) is in the regulation used in connection with demands on:*

- *operational management (technical and organizational) of flammable gas or liquid,*
- *structures used when handling flammable gas or liquid, and*
- *distance between the surrounding objects and the managed gas or liquid.*

These three can be seen as protection barriers (Operational management, Structure and Distance) that keep an organization safe from fire and explosion. And each one of the barriers has to

be of “adequate/reassuring” (betryggande), otherwise the risk for fire or explosion can’t be accepted.

The fact that a barrier is considered “adequate/reassuring” (betryggande) means that there are technical or organizational solutions (safeguards) that meet the security and safety functions they are intended for under normal and potential strain. Under the same conditions (strain) the barriers (Operational management, Structure and Distance) all together should meet a level of security and safety that is so high that there is no need to worry about damage to life, health, environment and property.

2. How can an adequate/reassuring (betryggande) distance between gas vessels and surrounding be expressed in a quantitative way that can be verified by established methods for risk analysis.

A quantitative way of expressing an “adequate/reassuring” (betryggande) distance is:

The distance should be so great between the gas vessel and surrounding objects that fire in the surrounding doesn’t lead to heat radiation exposure of the gas vessel above 45 kW/m^2 for more than 30 minutes and/or the gas vessel surface temperature does not exceed 500°C .

The distance should be so great between the gas vessel and the surrounding that fire in or around the gas vessel does not lead to levels of radiation on people or property over 5 respectively 15 kW/m^2 .

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund till problemställning	1
1.2	Syfte och mål.....	1
1.3	Frågeställning.....	2
1.4	Avgränsningar	2
1.5	Vetenskaplig metod och teknik	2
1.6	Praktiskt tillvägagångssätt	3
2	Definitioner	4
3	Det för rapporten aktuella regelverket.....	5
3.1	Lagen om brandfarliga och explosiva varor	6
3.2	Begreppet betryggande i föreskrifterna	8
3.3	Sammanfattning och slutsats.....	9
3.4	Diskussion	11
4	En modell för ett betryggande skydd.....	12
4.1	Schweizerostmodell	12
4.2	Tillämpning av Schweizerostmodell.....	12
5	Ett betryggande avstånd	16
5.1	Schablonavstånd i tabell 5.1 i SÄIFS 2000:4.....	21
6	MSB:s skadekriterier	25
6.1	Cisternens tryckbärande förmåga vid brandpåverkan	25
6.2	Människor och egendom	27
7	MSB:s dimensionerande scenarier	30
7.1	Brand i träbyggnad.....	31
7.2	Slangbrott.....	32
7.3	Flänsbrand.....	35
7.4	Fordonsbrand.....	37
7.5	Brand i material med hög brandbelastning	37

7.6	Slutsats.....	39
7.7	Diskussion och analys.....	40
8	Slutsats och svar på frågeställningar.....	41
8.1	Begreppet betryggande	41
8.2	Ett betryggande avstånd.....	44
9	Diskussion	46
10	Referenser.....	49
	Bilaga A - Bakomliggande regelverk	51
	Bilaga B - Bakgrund till Tabell 5.1 i SÄIFS 2000:4	63
	Bilaga C - Konsekvensberäkningar för jetflammar	68
	Bilaga D - Brand i träbyggnad	87
	Bilaga E - Fordonsbrand	91
	Bilaga F - Brand i material med stor brandbelastning.....	95
	Bilaga G - Temperaturökning i stål vid strålning.....	99

1 Inledning

Examensarbete är den examinerande delen av civilingenjörsprogrammet Riskhantering som ges vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet utförs i form av ett projekt och avslutats med en rapport och presentation. Projektet har pågått under hösten 2010 och omfattar 30 högskolepoäng. Ramböll AB har varit uppdragsgivare och arbetet har till största del utförts på Rambölls kontor i Malmö. Övriga resurser för arbetet har varit handledare på Avdelningen för brandteknik och riskhantering vid Lunds tekniska högskola och en kontaktperson på Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.

1.1 Bakgrund till problemställning

En verksamhetsutövare som hanterar brandfarliga vätskor och gaser har ur säkerhetssynpunkt ett flertal lagar att följa. En av dessa lagar, lagen (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor (LBE), avser att hindra, förebygga och begränsa olyckor och skador på liv, hälsa, miljö och egendom i händelse av brand eller explosion. På uppdrag av regeringen är myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) förvaltningsmyndighet för brandfarliga och explosiva varor. MSB är efterträdare till Räddningsverket (SRV) och SRV var i sin tur efterträdare till Sprängämnesinspektionen (SÄI). Rollen som förvaltningsmyndighet innebär att MSB ansvarar för frågor om brandfarlig och explosiv vara samt att författa föreskrifter i ämnet. Flera av de föreskrifter som skrevs under RSV:s och SÄI:s tid som förvaltningsmyndighet gäller fortfarande och MSB är i dagsläget ansvarig för dessa.

Sprängämnesinspektionens författningssamling (SÄIFS) använder sig i ett flertal av sina föreskrifter av begreppet *betryggande* som kriterium för en acceptabel säkerhetsnivå. Om en verksamhetsutövare följer föreskrifterna ordagrant anses verksamheten uppnå en *betryggande* säkerhetsnivå. Det finns dock incitament för att göra alternativa utformningar av verksamheten och frångå föreskrifterna. Det är godtagbart att göra avsteg från föreskrifterna om man i en riskutredning kan påvisa att man uppnår en *betryggande* säkerhetsnivå. En sådan utredning är dock i praktiken svår att genomföra vilket gör regelverket oflexibelt. Författaren och uppdragsgivaren anser att svårigheten främst beror på att begreppet *betryggande* inte är omsatt i verifierbara acceptanskriterier. Mot bakgrund av dessa svårigheter vill Ramböll AB förtydliga begreppet *betryggande*. Anledningen är dels att företaget vill få bättre förståelse för begreppet i stort, dels att Ramböll AB har ett specifikt intresse i hur man bestämmer ett *betryggande* avstånd vid hantering av gascisterner. Mot bakgrund av Ramböll AB:s intresse i gascisterner kommer SÄIFS 2000:4 (om cisterner, gasklockor, bergrum och rörledningar för brandfarlig gas) att undersökas för att bestämma hur ett *betryggande* avstånd kan verifieras. Ramböll AB har bidragit till frågeställningen men i övrigt ansvarar författaren för innehållet i rapporten.

1.2 Syfte och mål

I denna rapport är syftet att ur ett övergripande perspektiv diskutera och förtydliga vad man i Sprängämnesinspektionens föreskrifter menar med begreppet *betryggande*. Vidare är syftet att mer ingående diskutera hur man i en riskutredning ska kunna verifiera vad som är ett *betryggande* avstånd.

Målen med rapporten är att:

- beskriva hur begreppet betryggande används i lag och föreskrifter.
- utifrån vedertagna modeller visa hur begreppet betryggande används i föreskrifterna för att skapa ett skydd mot brand och explosion.
- kunna ge ett kvantitativt funktionsbaserat svar på vad som är ett betryggande avstånd

1.3 Frågeställning

Följande frågeställningar har använts för att uppnå mål och syfte:

1. Hur används begreppet betryggande i Sprängämnesinspektionens författningssamling för att tillse att det finns ett acceptabelt skydd mot brand och explosion?
2. Hur kan ett kvantitativt funktionsbaserat svar på vad som är ett betryggande avstånd formuleras?

1.4 Avgränsningar

Följande avgränsningar görs i rapporten:

- Undersökningen av begreppet betryggande utgår från Lagen (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor (LBE) samt dess föreskrifter som gäller för brandfarlig vätska och gas.
- I andra delen av rapporten, när ett betryggande avstånd undersöks, görs detta endast utifrån SÄIFS 2000:4 för gascisterner ovan mark.

1.5 Vetenskaplig metod och teknik

En vetenskaplig metod är det sätt en undersökning närmar sig och behandlar ett ämne (Ejvegård, 2009). Rapporten är i stora drag uppdelad i två delar. Den första delen behandlar övergripande hela begreppet betryggande, den andra endast vad som är ett betryggande avstånd. Metodvalet som gjorts är att i första delen av rapporten göra en kvalitativ beskrivning för att svara på den mer övergripande frågan hur begreppet betryggande används. I andra delen av rapporten kvantifieras de krav som SÄIFS 2000:4 ställer på ett betryggande avstånd.

Vetenskaplig teknik avser den teknik som används för att samla in data, med andra ord hur undersökningen genomförs (Ejvegård, 2009). I den första delen av rapporten har en lag- och litteraturstudie använts för att kunna genomföra den kvalitativa beskrivningen. I den andra delen av rapporten har en litteraturstudie, samtal med resurser till projektet samt beräkningar använts för att kvantifiera de krav som SÄIFS 2000:4 ställer på ett betryggande avstånd.

1.6 Praktiskt tillvägagångssätt

Rapporten har i stort skrivits på Ramböll AB:s kontor i Malmö och skrivandet har främst pågått under hösten 2010. Grunden till frågeställningen kom från Ramböll AB, men modifierades delvis för att passa LTH:s krav på kursen examensarbete.

Efter att projektplanen godkänts startade arbetet med en omfattande lag- och litteraturstudie för att författaren skulle förstå problematiken. Här skapades de teoretiska förutsättningarna för att uppnå rapportens syfte och mål samt att kunna besvara frågeställningarna. Även om litteraturstudien hade en framträdande roll i början av projektet fortlöpte denna även genom resten av arbetet. Nya källor har kontinuerligt studerats och tagits in i arbetet under projektets gång. Hjälpmedel till litteratursökningen har varit webbaserade sökmotorer och bibliotekskataloger som ELIN och LOVISA. I övrigt har sökningen skett genom de resurser som funnits tillgängliga för projektet.

Den inledande lag- och litteraturstudien mynnade ut i en kvalitativ beskrivning av vad begreppet betryggande inbegriper och hur det hanteras i olika författningar. Därefter fokuserades arbetet på att kvantifiera de krav som i SÄIFS 2000:4 ställs på ett betryggande avstånd. Under detta arbete har kontinuerliga samtal förts med Lars Synnerholm, tjänsteman på MSB, för att bättre förstå hur MSB gjort när betryggande schablonavstånd bestämts. En fortsatt litteraturstudie genomfördes för att bestämma vilken brandpåverkan som en gascistern, byggnad eller människa klarar. Därefter har konsekvensberäkningar gjorts för att bestämma vilka konsekvenser som kan förväntas av de schablonavstånd som används i SÄIFS 2000:4. Slutligen har slutsatser för att besvara frågeställningen dragits.

2 Definitioner

MSBFS	Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps författningssamling. I denna rapport anses även Räddningsverkets författningssamling, SRVFS, och Sprängämnesinspektionens författningssamling, SÄIFS, ingå.
SRVFS	Endas de föreskrifter som Räddningsverket skrivit
SÄIFS	Endast de föreskrifter som Sprängämnesinspektionen skrivit.
Gas	Ett ämne som har ett ångtryck högre än 300 kPa vid 50°C eller ett ämne som är fullständigt gasformigt vid 20°C och normalt atmosfärstryck, 101,3 kPa. (MSBFS 2010:4)
Vätska	ett ämne eller en blandning som vid 50°C har ett ångtryck på högst 300 kPa och som inte är fullständigt gasformigt vid 20°C och normalt atmosfärstryck.(MSBFS 2010:4)
Tryckkondenserad	Gasen utsätts för ett så stort tryck att den kondenserar till vätska.
Gasanläggning	Gascistern med rörledningar och tillhörande utrustning som förångare, pumpar och mätarskåp.

3 Det för rapporten aktuella regelverket

I Sverige finns idag ett flertal olika författningar som reglerar hantering av ämnen och varor som lätt kan börja brinna eller explodera. I denna rapport är utgångspunkten en av dessa lagstiftningar, lagen om brandfarliga och explosiva varor (SFS 2010:1011) (LBE). Syftet med rapporten är att förtydliga och diskutera begreppet *betryggande* som används i flera av de föreskrifter som skrivits till lagen. Till föreskrifter vänder man sig för att mer praktiskt kunna tillämpa lagen. När det gäller föreskrifter skrivna till LBE:s beskrivs mer specifikt hur man som enskild eller verksamhetsutövare ska bygga, planera, utreda, dokumentera och organisera en verksamhet för att följa lagen. I rapporten undersöks mer specifikt hur begreppet *betryggande* används i föreskrifter som gäller vid hantering av brandfarliga vätskor och gaser, några exempel på dessa föreskrifter är:

- Tillstånd till hantering av brandfarliga vätskor och gaser, SÄIFS (1995:3).
- Hantering av brandfarliga vätskor, SÄIFS 2000:2.
- Cisterner, gasklockor, bergrum och rörledningar för brandfarlig gas, SÄIFS 2000:4.
- Brandfarlig gas i lös behållare, SÄIFS 1998:7.
- Öppna cisterner och rörledningar m.m. för brandfarliga vätskor, SÄIFS 1997:9.

För tio år sedan var Sprängämnesinspektionen (SÄI) förvaltningsmyndighet för frågor om brandfarliga och explosiva varor. Därmed var de också ansvariga för att skriva föreskrifter för bland annat hantering av brandfarliga vätskor och gaser. När SÄI år 2001 blev en del av Statens Räddningsverk (SRV) fick SRV rollen som förvaltningsmyndighet. År 2009 gick sedan SRV, Krisberedskapsmyndigheten och Styrelsen för psykologiskt försvar ihop och bildade Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). Idag är MSB förvaltningsmyndighet och ansvarig för de föreskrifter som finns för hantering av brandfarliga vätskor och gaser. Trots att föreskrifterna i punktlistan ovan inte har MSB:s beteckning är det alltså MSB som är ansvarig för dem.

Bakgrunden till frågeställningen i denna rapport är att både uppdragsgivaren och författaren upplever stora svårigheter att i en riskutredning påvisa att säkerheten är acceptabel. Anledningen till detta är att föreskrifternas säkerhetskrav är formulerade kvalitativt. Nedan ges några exempel på de krav som föreskrifterna ställer på olika delar av verksamheten:

*"Hantering av brandfarliga vätskor skall ske med **betryggande säkerhet**." (Kap 4 SÄIFS 2000:2)*

*"Cistern, gasklocka, bergrum, rörledning och slangledning med brandfarlig gas skall med hänsyn till material, konstruktion, utförande och utrustning erbjuda **betryggande skydd** mot brand och explosion." (Kap 3 SÄIFS 2000:4)*

*"Avstånden mellan lös behållare med brandfarlig gas och kringliggande objekt skall vara så stora att ett **betryggande skydd** erhålls" (Kap 5 SÄIFS 1998:7)*

Citaten från de olika föreskrifterna visar hur man använder sig av begreppet *betryggande* som kriterium för att olika delar av verksamheten ska anses säkra. Ur ett riskhanteringsperspektiv skulle man kunna kalla *betryggande* för ett acceptanskriterium då det beskriver att man vidtagit tillräckligt med

åtgärder för att brand- och explosionsriskerna ska anses acceptabelt låga. Begreppet betryggande som är svårt att verifiera därför att det inte beskrivits kvantitativt.

Rapporten kommer att undersöka några av de ovan listade föreskrifterna. Detta för att få en bättre förståelse för hur skyddet mot brand och explosion är uppbyggt och hur begreppet betryggande används i föreskrifterna.

Denna rapport syftar till att lägga en grund för att i framtida riskutredningar kunna verifiera vad som är ett betryggande skydd. För att lägga denna grund börjar rapporten med att klargöra hur begreppet används i LBE och utvalda föreskrifter. Här undersöks därmed hur man använder begreppet för att säkerställa att det finns ett acceptabelt skydd mot brand och explosion. Senare i rapporten studeras noggrannare föreskriften SÄIFS 2000:4 för att specifikt utreda vad som är ett betryggande avstånd. Nedan påbörjas undersökningen genom att närmare presentera LBE samt ett urval av föreskrifter. Urvalet är baserat på ett antal föreskrifter som gäller hantering av brandfarlig vätska och gas där begreppet betryggande används som säkerhetskrav. Följande har valts:

- Hantering av brandfarliga vätskor, SÄIFS 2000:2.
- Cisterner, gasklockor, bergrum och rörledningar för brandfarlig gas, SÄIFS 2000:4.
- Brandfarlig gas i lös behållare, SÄIFS 1998:7.
- Öppna cisterner och rörledningar m.m. för brandfarliga vätskor, SÄIFS 1997:9.

Nedan följer nu den inledande undersökningen av berörd lagstiftning.

3.1 Lagen om brandfarliga och explosiva varor

Lagen om brandfarliga och explosiva varor tillämpas vid hantering, import och överföring av brandfarliga och explosiva varor. I denna rapport diskuteras främst hantering av brandfarlig vara, närmare bestämt vätskor och gaser. Lagens syfte är att hindra, förebygga och begränsa olyckor och skador på liv, hälsa, miljö eller egendom som kan uppkomma genom brand eller explosion. Den är alltså både olycksförebyggande och skadeförebyggande (Prop. 1987/88:101).

I rapporten är det uteslutande hantering av brandfarliga vätskor och gaser som kommer att behandlas och med hantering avser LBE: *”tillverkning, bearbetning, behandling, förpackning, förvaring, transport, användning, omhändertagande, återvinning, destruktion, saluförande, underhåll, överlåtelse och därmed jämförliga förfaranden”*. (SFS 2010:1011)

Lagen ställer en rad krav på den verksamhetsutövare som hanterar brandfarliga och explosiva varor. Kraven kommer att diskuteras nedan, denna rapport avgränsar sig dock från att diskutera de säkerhetskrav som ställs för saluföring och förpackning. Anledningen till detta är att bakgrunden till frågeställningen framförallt var inriktad mot hanterings gascisterner. Kvarvarande krav är då 6-10\$, vilka benämns som; aktsamhetskravet, utredningskravet, kompetenskravet, föreståndarkravet och byggnads-, anläggnings- och anordningskravet. Nedan följer en kort beskrivning av dessa med utgångspunkt från propositionen för både den gamla (SFS 1988:868) och den nya (SFS 2010:1011) lagen om brandfarliga och explosiva varor. Anledningen till att även utgå från propositionen till gamla lagen är att flera delar av gamla lagen om brandfarliga och explosiva varor gäller även i den nya.

Aktsamhetskravet

Aktsamhetskravet är LBE:s grundläggande säkerhetskrav och gäller alla som befattar sig med brandfarliga och explosiva varor. Kravet är att verksamhetsutövaren ska vidta åtgärder och iaktta de försiktighetsmått som behövs för att hindra att brand eller explosion uppstår oavsiktligt samt motverka skada på liv, hälsa, miljö eller egendom som kan uppkomma genom brand eller explosion. Åtgärder och försiktighetsmått får en konkret innebörd i övriga krav i LBE samt föreskrifter som meddelas av MSB. (Prop. 1987/88:101; Prop. 2009/10:203)

Utredningskravet

Utredningskravet syftar till att klargöra brand- och explosionsriskerna som är kopplade till en viss verksamhet. Medvetenhet om verksamhetens risker är en förutsättning för att skyddsåtgärder ska kunna vidtas. Utredningens omfattning beror av verksamhetens storlek och vilka ämnen som hanteras. En utredning kan till exempel omfatta beskrivning, bedömning, analys, värdering av risker och konsekvenser. Exempel på en utredning som i det flesta anses tillräcklig, är den enligt andra kapitlet 4§ lagen om skydd mot olyckor som preciseras i Räddningsverkets författningssamling 2004:8. (Prop. 1987/88:101; Prop. 2009/10:203)

Kompetenskrav

Med kompetenskravet avses att den som bedriver en tillståndspliktig verksamhet enligt LBE måste ha viss kompetens eller tillgång till kompetens med avseende på brand- och explosionsriskerna. Omfattningen av kompetensen är också direkt kopplad till hanteringsens omfattning. Exempel på kompetens är kunskap om varans egenskaper och hur den ska hanteras med avseende på brand och explosion. Med kompetens avses vidare att vara uppdaterad om forskning och teknisk utveckling som gäller för hanteringen av varan samt de nödvändiga skyddsåtgärder som är av betydelse för att skydda liv, hälsa, miljö och egendom. Med "tillgång till kompetens" menas till exempel att personal eller en föreståndare besitter nödvändig kompetens. (Prop. 1987/88:101; Prop. 2009/10:203)

Föreståndarkrav

Föreståndarkravet innebär att det ska finnas någon som har tillräcklig sakkunskap i tekniska frågor och skyddsfrågor som är knuten till hanteringen. Föreståndarens uppgift är även att säkerställa att verksamheten följer LBE och regler som är skrivna med LBE som grund. Föreståndares utbildning, kompetens och praktiska erfarenheter ska vara lämpliga med avseende på hanteringen. (Prop. 1987/88:101; Prop. 2009/10:203)

Byggnads-, anläggnings- och anordningskrav

Byggnads-, anläggnings- och anordningskravet innebär att verksamhetens byggnader, utrustning, maskiner, behållare och förvaringskärl ska vara inrättade så att de är betryggande med avseende på brand och explosion. Kravet innebär också att de geografiska förutsättningarna, till exempel höjdskillnader, ska bedömas med avseende på brand och explosionsrisker. Avståndet till omgivande bebyggelse, vägar eller andra anläggningar ska vara anpassat med hänsyn till hanteringsens innehåll eller omfattning. Detta innebär att placeringen av byggnader och anläggningar ska göras med både hänsyn till sannolikheten för brand och explosion samt med hänsyn till den bedömda konsekvensen av

brand och explosion. Dessa krav kan begränsas av de säkerhetsåtgärder som MSB föreskriver, vilket innebär att MSB kan minska avstånden till omkringliggande bebyggelse om ett motsvarande skydd kan uppnås med andra skyddsåtgärder. (Prop. 1987/88:101; Prop. 2009/10:203)

3.2 Begreppet betryggande i föreskrifterna

En föreskrift avser att förtydliga hur lagen praktiskt ska tillämpas. I de valda föreskrifterna har man valt att använda begreppet betryggande som ett säkerhetskriterium för om lagen kan anses uppfyllt. För att få en bättre förståelse för hur begreppet används presenteras först en kort sammanfattning, därefter diskuteras begreppets användning. De föreskrifter som kommer att undersökas är:

- Öppna cisterner och rörledningar m.m. för brandfarliga vätskor, SÄIFS 1997:9.
- Hantering av brandfarliga vätskor, SÄIFS 2000:2.
- Cisterner, gasklockor, bergrum och rörledningar för brandfarlig gas, SÄIFS 2000:4.
- Brandfarlig gas i lös behållare, SÄIFS 1998:7.

Öppna cisterner, rörledningar m.m. för brandfarliga vätskor

Föreskriften (SÄIFS 1997:9) ställer krav på certifiering, kontroll och åtgärder efter kontroll. Den ställer också vissa tekniska krav. De tekniska kraven för öppna cisterner och rörledningar är att de ska vara tillverkade av material med kända och dokumenterade egenskaper. Utöver detta ska cisterner besitta betryggande mekaniska egenskaper, tillfredställande skydd mot brand, nödvändigt skydd mot korrosion och egenskaper för att motstå förutsebara yttre påkänningar. För att säkerställa att man uppfyller de tekniska kraven och uppnår en betryggande säkerhetsnivå finns det förslag på tillämpliga branschnormer och krav på certifiering. De olika kontrollerna avser att säkerställa att cistern, rör och anordningar är betryggande med avseende på täthet.

Hantering av brandfarliga vätskor

Föreskriften (SÄIFS 2000:2) gäller för hantering av brandfarliga vätskor och syftar till att brandfarliga vätskor ska hanteras på ett betryggande sätt. För att uppnå en tillfredställande säkerhetsnivå reglerar föreskriften: anläggningens utformning, förvaring, avstånd mellan lagringsplatser och kringliggande objekt, villkor för fyllning och tömning av cisterner, hur risker för brand och explosion ska utredas och dokumenteras samt krav på ett handlingsprogram. Följande krav ställs på de olika delarna av verksamheten:

- Anläggningen ska vara utformad och lämplig för hantering av brandfarliga vätskor.
- Förvaringen av brandfarlig vätska ska vara anpassad så att inte brandfarlig vätska eller gas kan läcka och ge upphov till brand eller explosion.
- Avståndet mellan kringliggande objekt och anläggning för brandfarliga vätskor skall erbjuda ett betryggande skydd. Främst ska avståndet skydda mot antändning av vätskan och brandspridning inom anläggningen.

- Fyllning och tömning ska kunna ske på ett betryggande sätt. Det ska finnas skydd mot och möjlighet till att ta hand om läckage och spill, skydd mot överfyllnad och skydd mot förväxling vid tömning av olika cisterner
- För tillståndspliktig hantering av brandfarliga vätskor skall en riskutredning utföras för att visa att dessa vätskor hanteras på ett betryggande sätt.
- Handlingsprogrammet kan liknas vid ett ledningssystem för säkerhet där man ur ett organisatoriskt perspektiv försöker förebygga olyckor och skador.

Cisterner, gasklockor, bergrum och rörledningar för brandfarlig gas

Föreskrifterna (SÄIFS 2000:4) gäller för cisterner, gasklockor, bergrum, motorgasanläggningar och rörledningar med driftstryck under 4 bar. Föreskriften ställer krav på cisternens (gasklockor, bergrum, motorgasanläggningar och rörledningar) konstruktion, hur cisternen hanteras och avstånd till omkringliggande objekt.

- Cisternen ska med avseende på material, utförande och tillhörande utrustning ge ett betryggande skydd mot brand och explosion.
- Med hantering avses krav på drift och underhåll samt tekniska krav som till exempel påkörningsskydd, ventilation, potentialutjämning av metallföremål samt explosionsklassning av mekanisk och elektrisk utrustning
- Avståndet mellan cistern och omgivande objekt ska vara betryggande med avseende på brand och explosion. I kommentarerna till föreskriften återfinns schablonavstånd som anses betryggande.

Brandfarlig gas i lös behållare

Föreskriften (SÄIFS 1998:7) gäller för brandfarlig gas i lösa behållare och syftar till att säkerställa att konstruktion, hantering och placering av behållarna är betryggande ur brand och explosionssynpunkt. De allmänna konstruktionsbestämmelserna för lösa gasbehållare är att de med hänsyn till material, konstruktion, utförande och utrustning ska erbjuda betryggande skydd mot brand och explosion. För hanteringen gäller att lösa behållare ska hanteras och vara placerade på ett ur skyddssynpunkt lämpligt sätt. Exempel på detta är att behållaren står stadig och är fastsatt, att det finns skydd mot mekaniska skador samt att utrymmet för behållarna är explosionsklassat. Med placering avses att avståndet mellan behållare och omkringliggande objekt är så stor att ett betryggande skydd mot brand och explosion erhålls.

3.3 Sammanfattning och slutsats

Lagen om brandfarliga och explosiva varor ställer ett flertal krav på den som hanterar brandfarliga vätskor och gaser, i denna rapport diskuteras endast fem av dem. Kraven går under benämningarna aktsamhetskravet, utredningskravet, kompetenskravet, föreståndarkravet och byggnads-, anläggnings- och anordningskravet. Syftet med dessa krav är att säkerställa att en verksamhetsutövare har både olycksförebyggande och skadeförebyggande åtgärder mot brand och explosion. I sammanfatt-

ningen av föreskrifterna kan man sedan se exempel på vilka praktiska krav som ställs för att lagens krav ska uppfyllas. Övervägande del av kraven i föreskrifterna är tekniska krav till exempel påkörningsskydd, ventilation, underlag för cisterner, material och konstruktion. De organisatoriska säkerhetskraven är inte lika många i antal, men kraven har ändå ett brett omfång. Några exempel är krav på informationsanslag, kunskap om de hanterade kemikalierna, utredning av verksamhetens risker samt krav på handlingsprogram. Av de organisatoriska åtgärderna är det framförallt handlingsprogrammet som är omfångsrikt. Som förtydligande kan nämnas att handlingsprogrammet kan likställas med det man i privat sektor kallar ett ledningssystem för säkerhet.

I sammanfattningarna av föreskrifterna ovan hittar man flera exempel på hur begreppet betryggande används. Begreppet används oftast i föreskrifterna som ett mer övergripande säkerhetskrav. Några exempel på sådana krav presenterades tidigare i kapitlet. För att läsare ska slippa bläddra tillbaka presenteras de igen nedan.

*"Hantering av brandfarliga vätskor skall ske med **betryggande säkerhet**." (Kap 4 SÄIFS 2000:2)*

*"Cistern, gasklocka, bergrum, rörledning och slangledning med brandfarlig gas skall med hänsyn till material, konstruktion, utförande och utrustning erbjuda **betryggande skydd** mot brand och explosion." (Kap 3 SÄIFS 2000:4)*

*"Avstånden mellan lös behållare med brandfarlig gas och kringliggande objekt skall vara så stora att ett **betryggande skydd** erhålls" (Kap 5 SÄIFS 1998:7)*

Dessa övergripande krav konkretiseras sedan i föreskriften av mer specifika tekniska och organisatoriska krav som ventilation, potentialutjämning, överfyllnadsskydd, informationsanslag och handlingsprogram.

När föreskrifterna studerats har författaren sett ett mönster i var krav på betryggande skydd ställs. Följande slutsatser har dragits om vilka delar av verksamheten man ställer krav på betryggande säkerhet:

- **Konstruktioner** avsedda för brandfarlig gas eller vätska
- **Hanteringen** (teknisk och organisatorisk) av brandfarlig gas eller vätska
- **Avstånd** mellan gas/vätskeanläggning och omgivande objekt

Dessa tre kategorier återspeglar hur en verksamhets skydd mot brand och explosion bör vara uppbyggt enligt föreskrifterna. En *betryggande hantering* innebär att det finns tillräckligt med säkerhetsåtgärder, tekniska eller organisatoriska, mot brand och explosion. Exempel på detta är skydd mot läckage och spill, ventilation, handlingsprogrammet och drift- och underhållsrutiner. *Betryggande konstruktion* avser att den utrustning och de anordningar som används inom anläggningen är avsedda för hantering av brandfarliga vätskor och gaser. *Betryggande avstånd* är en skadeförebyggande åtgärd som i stor utsträckning avser att säkerställa att det inte sker någon brandspridning inom anläggningen eller mellan anläggning och omgivning. Slutsatsen är då att en verksamhet tillgodoser LBE:s krav på skade- och olycksförebyggande åtgärder mot brand och explosion genom att säkerställa betryggande hantering, konstruktion och avstånd.

3.4 Diskussion

Ovan har slutsatser dragits om vilka delar av verksamheten som ska vara betryggande för att skyddet mot brand och explosion ska anses tillfredställande. Slutsatsen är generell och baseras på alla de studerade föreskrifterna. Föreskrifterna var och en för sig innehåller inga direkta krav på att alla tre kategorierna ska vara betryggande, men ändå anser författaren att slutsatsen kan dras. Detta för att föreskrifterna är tänkta att komplettera varandra och kompletteringen leder till att verksamheten totalt sett får krav på sig från alla kategorierna. Flera av föreskrifterna innehåller inte heller den direkta formuleringen avstånd, konstruktion eller hantering, men istället mer specifika krav som går att kategorisera under dessa.

4 En modell för ett betryggande skydd

I föregående kapitel diskuterades vilka krav som lag och föreskrifter ställer på en verksamhetsutövare som hanterar brandfarliga vätskor och gaser, samt hur begreppet betryggande används i föreskrifterna. Slutsatsen var att verksamhetens skydd mot brand och explosion utgjordes av en betryggande hantering, konstruktion och avstånd. För att visualisera och få en bättre förståelse för hur de samverkar som ett skydd mot olyckor kommer en olycksmodell utvecklad av James Reason (1997) att användas, modellen går vanligen under namnet Schweizerostmodellen. Först ges dock en kortfattad teoretisk beskrivning av modellen.

4.1 Schweizerostmodell

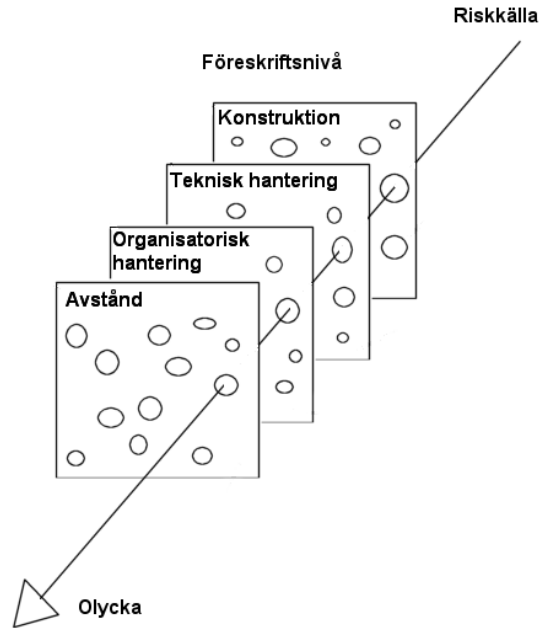
Reasons (1997) Schweizerostmodell illustrerar hur en potentiell fara kan bryta igenom en verksamhets skyddsbarriärer och leda till en olycka. Skyddsbarriärerna brukar delas upp i "hårda" och "mjuka" skydd mot olyckor. Exempel på hårda skyddsåtgärder är tekniska skyddssystem som detektorer och sprinkler, fysiska skyddsbarriärer och personlig skyddsutrustning. Exempel på mjuka skyddsåtgärder är träning, kontroll, utbildning och certifiering. Skyddsbarriärerna avser övergripande att uppfylla en eller flera av nedanstående punkter:

- Öka personalens och omgivningens förståelse för och medvetenhet om faror i verksamheten.
- Vara ett stöd för säker styrning/hantering av verksamheten.
- Larm och varningssignaler.
- Återföra systemet i ett säkert tillstånd om det hamnat utanför en säker zon.
- Vara fysiska barriärer mellan riskkällan (brandfarlig gas) och riskobjektet (människa, miljö, egendom) om tillämpligt.
- Att innesluta och eliminera energin om den passerat de fysiska barriärerna.
- Skapa möjligheter för personal och allmänhet att fly undan faran

Barriärerna illustreras i modellen av schweizerostskivor med stora och små hål som i sin tur representerar latenta förhållanden (inbyggda fel i organisation eller den fysiska verksamheten) och aktiva fel. Eftersom en verksamhet sällan är någonting statistiskt utan snarare ständigt förändras brukar man säga att hål kan försvinna och tillkomma samt att ostskivorna kan röra sig i höjd och sidled. Detta gör att hål i samtliga barriärer vid något tillfälle kan sammanfalla och det är då en olycka inträffar. Syftet med modellen är dels att visa att trots att flera skyddande barriärer är i bruk kan ett fullständigt skydd inte uppnås, dels att aktiva fel och latenta förhållande tillsammans kan bryta igenom en verksamhets säkerhetssystem.

4.2 Tillämpning av Schweizerostmodell

Att tillämpa modellen i detta sammanhang är inte främst för att visa hur olyckor kan ske. Syftet är snarare att visa hur skyddet mot brand och explosion är uppbyggt, samt att visa vilka skyddsfunktioner föreskrifterna kräver av barriärerna. Författarens uppfattning är att om Schweizerostmodellen skulle tillämpas för att beskriva skyddet mot brand och explosion skulle hantering, konstruktion och avstånd vara skyddsbarriärerna, se Figur 2 nedan.



Figur 2. Schweizerostmodellen tillämpad på LBE och dess föreskrifter för brandfarliga vätskor och gaser.

I Figur 2 kan man också se hur barriären *hantering* har utvidgats. Att beskriva barriären som teknisk och organisatorisk hantering passar bättre med hur Reason (1997) beskriver att skyddsåtgärder antingen är hårda eller mjuka. Intressant kan nu vara att diskutera vilken skyddsfunktion respektive barriär uppfyller. Detta görs med utgångspunkt från de punkter som listades i kap 4.1 ovan. Först presenteras en kort förklaring av vilken skyddsfunktion som de olika barriärerna avser att uppfylla, därefter följer en sammanfattad lista över barriärernas skyddsfunktioner. Slutsatserna kring vilka skyddsfunktioner respektive barriär uppfyller baserar författaren på studien av det berörda regelverket. För en mer ingående beskrivning av regelverket hänvisas läsaren till Bilaga A. Bakomliggande regelverk, där varje föreskrift sammanfattats mer ingående än i kapitel 3.

Konstruktion

Konstruktionsbarriären ska ses som en fysisk barriär som kapslar in den brandfarliga gasen eller vätskan samt skyddar den vid brand i närheten av lagringsplatsen. Om denna barriär är rätt utformad hindrar den även tekniska fel som till exempel kan leda till läckage.

Teknisk hantering

Den tekniska hanteringsbarriären avser att återställa systemet till ett säkert tillstånd om det av någon anledning skulle hamnat utanför, att innesluta och eliminera energin om den passerat de fysiska barriärerna och i vissa fall även vara en fysisk barriär mellan skyddsobjektet och riskkällan. Några exempel på krav från föreskrifterna som uppfyller dessa funktioner är; säkerhetsventil, påkörningsskydd, invallning, skydd mot spill och klassad utrustning så att ett eventuellt läckage inte antänder.

Här kan det förtydligas att ett av konstruktionsbarriärens syften är att delvis säkerställa att de tekniska åtgärderna är konstruerade och anpassade för hantering av brandfarlig vätska eller gas.

Organisatorisk hantering

Den organisatoriska hanteringsbarriären avser att skapa förståelse för risker inom verksamheten, säkerställa drift och underhållsrutiner för verksamheten och innebär att personal besitter nödvändig kunskap. Några exempel från föreskrifterna är kraven på handlingsprogram, på drift- och underhållsrutiner, på informations anslag och på kunskap om kemikalierna.

Avstånd

Avståndsbarriären kan dels ses som en fysisk barriär mellan en brand eller explosion och ett skyddsobjekt, dels som ett sätt att skapa möjligheter för personal och allmänheten att fly undan faran.

Nedan följer en sammanfattad lista över vilka skyddsfunktioner varje barriär uppfyller.

Konstruktion

- Vara fysiska barriärer mellan riskkällan (brandfarlig gas/vätska) och riskobjektet (människa, miljö, egendom).

Teknisk hantering

- Vara ett stöd för säker styrning/hantering av verksamheten.
- Vara fysiska barriärer mellan riskkällan (brandfarlig gas) och riskobjektet
- Att innesluta och eliminera energin om den passerat de fysiska barriärerna.
- Larm och varningssignaler.
- Återföra systemet i ett säkert tillstånd om det hamnat utanför en säker zon.

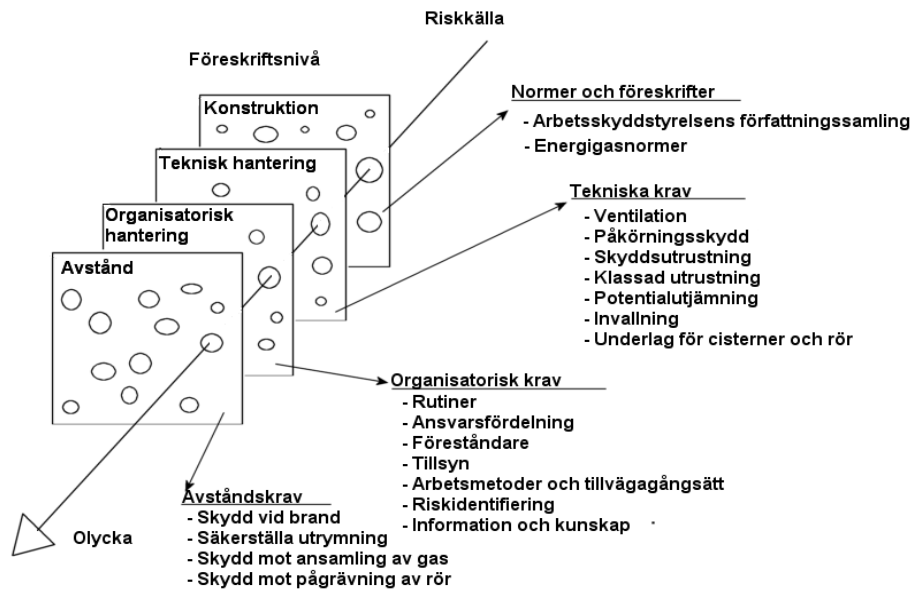
Organisatorisk hantering

- Öka personalens och omgivningens förståelse och medvetenheten för faror i verksamheten.
- Skapa möjligheter för personal och allmänhet att fly undan faran
- Återföra systemet i ett säkert tillstånd om det hamnat utanför en säker zon

Avstånd

- Skapa möjligheter för personal och allmänhet att fly undan faran
- Vara fysiska barriärer mellan riskkällan (brandfarlig gas) och riskobjektet(människa, miljö, egendom) om tillämpligt.
- Att innesluta och eliminera energin om den passerat de fysiska barriärerna.

I Figur 3 presenteras en utökad bild av Figur 2 där några av de krav och rekommendationerna som föreskrifterna ställer på barriärerna presenteras.



Figur 3. Exempel på föreskrifternas krav och rekommendationer på barriärerna

Den här modellen beskriver hur de olika delarna av föreskrifternas säkerhetskrav, barriärerna, samarbetar för att ge ett acceptabelt skydd mot brand och explosion. Varje enskild barriär erbjuder inte ett fullständigt skydd, utan det är barriärerna tillsammans som är det fullständigt skyddet mot brand och explosion.

Sammanfattningsvis kan sägas att föreskrifterna använder sig av begreppet betryggande för att säkerställa att en verksamhet utifrån konstruktion, hantering och avstånd vidtagit åtgärder i sådan omfattning att varje barriär anses bidra med tillräcklig säkerhet för att de tillsammans ska kunna reducera risknivån till en acceptabel nivå.

Det som presenterats i detta kapitel ger dock ingen kvantitativ tolkning av begreppet betryggande, men en god insikt i hur begreppet används i föreskrifterna och i vilka sammanhang. Med denna insikt är det också lättare att förstå i vilka sammanhang en kvantitativ tolkning av begreppet hade varit önskvärd. Om kraven som ställs på hantering, konstruktion och avstånd hade formulerats dels funktionsbaserat, dels kvantitativt hade det utifrån vedertagna riskanalysmetoder varit möjligt att verifiera ett betryggande avstånd. I nästföljande kapitel diskuteras hur ett betryggande avstånd ska formuleras kvantitativt och funktionsbaserat.

5 Ett betryggande avstånd

I kapitel 3 och 4 har begreppet betryggande diskuterats. Här har författaren försökt förmedla en bild av hur man i föreskrifterna använder sig av begreppet. Detta har gjorts för att få en bättre förståelse för hur skyddet mot brand och explosion är uppbyggt. Skyddet består av fyra barriärer; konstruktion, teknisk hantering, organisatorisk hantering och avstånd. För att veta om varje barriär uppnår en tillräcklig skyddsnivå används idag det kvalitativa måttet betryggande. Begreppet är svårt att verifiera i en riskutredning, men att kvantifiera begreppet för samtliga barriärer är ett för omfattande arbete för denna rapport. Istället har en av barriärerna valts ut och det är avståndsbarriären. I denna del av rapporten undersöks alltså närmre vad som är ett betryggande avstånd för att kunna svara på andra frågeställningen; *Hur kan ett kvantitativt funktionsbaserat svar på vad som är ett betryggande avstånd formuleras?*

För att besvara andra frågeställningen undersöks vilka krav som SÄIFS 2000:4 ställer på avståndet mellan gascistern och omgivande objekt. Föreskriften har redan kort presenterats i kapitel 3. Undersökningen syftar till att bestämma kvantitativa mått på vad som är ett betryggande avstånd. För att kunna bestämma detta kommer schablonavstånden (avstånden i tabell 5.1, se Figur 7) som finns i SÄIFS 2000:4 att undersökas närmare. Det som ska undersökas är hur MSB gjort när de bestämde dessa avstånd, vilka kriterier som användes och vilka konsekvenser man kan förvänta sig vid dessa schablonavstånd.

Nedan i Figur 4 presenteras de krav som föreskriften, SÄIFS 2000:4, ställer på avståndet. I Figur 5 presenteras delar av kravens tillhörande kommentarer (allmänna råd) och i Figur 6 presenteras tabell 5.1 som visar de schablonavstånd som MSB utan utredning anser är betryggande.

Kap. 5 Minsta tillåtna avstånd

5.1 Avstånden mellan cistern, gasklocka eller rörledning med brandfarlig gas och kringliggande objekt skall vara betryggande. Avstånden skall:

- begränsa risken för brand och explosion i anläggningen vid brand i omgivningen,
- begränsa risken för brandspridning i anläggningen,
- begränsa risken för brand i omgivningen vid brand i anläggningen,
- göra det möjligt att utrymma området kring anläggningen vid brand innan kritiska situationer uppstår,
- bidra till att risken för gasspridning till slutna utrymmen begränsas, och
- bidra till att risken för pågrävning av rörledningar i mark begränsas.

Figur 4. 5:e Kapitlet SÄIFS 2000:4 - Minska tillåtna avstånd

Kommentar till Kap. 5

Minsta tillåtna avstånd

Minsta tillåtna avstånd fastställs efter riskutredning enligt 9 § lagen (1988:868)¹ om brandfarliga och explosiva varor (LBE). Riskutredningen kan medföra både längre och kortare avstånd än de i tabell 5.1 angivna. Vid utredningen beaktas att Boverkets gräns för antändning av byggnader i trä är satt till 15 kW/m² under 30 min. För att få en likartad bedömning i hela landet är det viktigt att utredningarna vid tillståndsprovningen alltid remitteras till SÄI.

Avstånd enligt tabell 5.1 anses för en cistern vanligen betryggande utan särskild utredning. Avstånden har beräknats med stöd av ett dimensionerande skadefall där tankfordonets slang (DN 50) spricker med brandspridning som följd.

Figur 5. Kommentarer till 5:e Kapitlet SÄIFS 2000:4 - Minska tillåtna avstånd

Tabell 5.1 Avstånd

	Byggnad i allmänhet, antändbart material eller brandfarlig verksamhet		Material med stor brandbelastning		Utgång från svårutrymda lokaler	Pump, förångare, mätarskåp	Fordon	Tankfordonets slanganslutningspunkt
	Utom anläggning	Inom anläggning	Utom anläggning	Inom anläggning				
	meter	meter	meter	meter	meter	meter	meter	meter
Cistern 10 – 100 m ³	25*	12*	50*	25*	100*	3*	8*	12*
≤ 10 m ³	6*	6*	25*	12*	100*	3*	8*	12*
Tankfordonets slanganslutningspunkt	25*	12*	50*	25*	100*	3**		
Pump, förångare, mätarskåp		3**		12*		3**		3**
Torr gasklocka	50*	50**	100*	100**	100*			

* Med EI 60-avskiljning eller högre minskas avstånden till hälften.

** Med EI 60-avskiljning eller högre behövs inget avstånd.

Figur 6. Tabell 5.1 Kommentarer till 5:e kapitlet SÄIFS 2000:4

I Figur 4 presenterades föreskriftens krav på vad ett betryggande avstånd ska uppfylla. I kraven försöker man förtydliga vilken risknivå som är acceptabel för att säkerheten ska anses betryggande. Som författaren ser det, är problemet att man gör det kvalitativt, genom att skriva att *riskan ska begränsas*, se kraven i Figur 4. Att i riskutredning visa att risken är begränsad eller att säkerheten är betryggande anser författaren är likvärdigt svårt.

I Figur 5, kommentarerna till föreskriften, står det att SÄI har beaktat att Boverkets gräns för antändning av byggnader i trä är satt till 15 kW/m². Detta gränsvärde, som gäller för trä byggnader, hjälper dock inte när man ska bedöma risken för brand eller explosion i gasanläggningen, se kraven i Figur 4. Om Sprängämnesinspektionens avsikt varit att gränsvärdet ska vara 15 kW/m² även för gasanlägg-

¹Nuvarande 7 § lagen (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor (LBE)

ningen borde detta skrivits i klartext. Därför kvarstår problemet att bestämma en kvantitativ tolkning av ett betryggande avstånd som kan användas för att verifiera säkerheten även för gasanläggningen.

Även om kraven i Figur 4 inte formulerar några kvantitativa kriterier ger de en uppfattning om vad som är skyddsvärt, vilket är till stor hjälp för att kunna ta fram kvantitativa kriterier. För att få bättre förståelse för vad föreskriften ser som skyddsobjekt och hur kraven, som presenteras i Figur 4, ska tolkas kommer varje del av kravet att diskuteras nedan. Först presenteras kravet kursiverat och därefter följer en kort beskrivning av begreppen i kraven och vilken funktion avståndet ska ge. Efter att alla krav presenterats och beskrivits diskuteras vilka delar av kraven som är intressanta för att kunna kvantifiera begreppet betryggande. Notera att beskrivningen av kraven är baserad på hur författaren, efter lag- och litteraturstudie samt samtal med Lars Synnerholm, tjänsteman på MSB, har tolkat kraven.

5.1 Avstånden mellan cistern, gasklocka eller rörledning med brandfarlig gas och kringliggande objekt skall vara betryggande. Avstånden skall:

- *begränsa risken för brand och explosion i anläggningen vid brand i omgivningen,*

Med *anläggning* menar föreskriften cisternen med tillhörande utrustning och rörledningar. Utrustning kan vara flänsar, mätarskåp, ventiler, regulatorer, pumpar, slanganslutningar osv. Med *omgivning* avses alla objekt i omgivningen av anläggningen. Detta kan till exempel vara byggnader, brännbart material, en brandfarlig verksamhet, en annan anläggning och fordon (se kolumnerna i tabell 5.1, se Figur 6). Avståndets funktion ska enligt detta krav vara att skydda anläggningen så att en brand i omgivningen inte skadar anläggningen. Med skada menas framförallt en skada som kan leda till att det uppstår ett läckage av brandfarlig gas som i sin tur antänder och börjar brinna eller exploderar. Begreppen *anläggning* och *omgivning* har samma betydelse i alla kraven.

5.1 Avstånden mellan cistern, gasklocka eller rörledning med brandfarlig gas och kringliggande objekt skall vara betryggande. Avstånden skall:

- *begränsa risken för brandspridning i anläggningen,*

I det här kravet tittar man på avståndet mellan olika delar inom anläggningen. Skulle någon del börja läcka och läckaget antänder ska branden inte skada andra delar av anläggningen. Avsikten med kravet är att en mindre brand i anläggningen inte ska kunna leda till att mer gas börjar läcka. Ett exempel på brand i anläggningen är om packningen i en fläns spricker och det börjar läcka gas som antänder. I detta fall ska inte branden kunna skada till exempel gascisternen så att den briserar och det uppstår ett momentant utsläpp.

5.1 Avstånden mellan cistern, gasklocka eller rörledning med brandfarlig gas och kringliggande objekt skall vara betryggande. Avstånden skall:

- *begränsa risken för brand i omgivningen vid brand i anläggningen,*

Avsikten med det här kravet är att skydda omgivningen om en brand skulle uppstå i anläggningen. Anledningen till att detta krav ställs är att omgivande objekt inte ska skadas eller antända. Om ett objekt skulle antända skulle det kunna leda till en fortsatt

brandspridning och därmed skulle även andra delar av anläggningen kunna skadas. Hur långt avståndet ska vara beror därmed på hur allvarlig dominoeffekt (fortsatt brandspridning som skadar ett annat skyddsobjekt) som förväntas och på hur lätt skyddsobjektet skadas eller antänder vid brandpåverkan.

5.1 Avstånden mellan cistern, gasklocka eller rörledning med brandfarlig gas och kringliggande objekt skall vara betryggande. Avstånden skall:

- *göra det möjligt att utrymma området kring anläggningen vid brand innan kritiska situationer uppstår,*

Avståndets funktion är enligt detta krav att skydda allmänhet och personal om det skulle uppstå en brand i anläggningen. Här antas *kritiska situationer* ha samma betydelse som då Boverket i Boverkets byggregler använder sig av begreppet *kritiska förhållanden*. Denna tolkning är att temperaturen inte får vara för hög, siktbarheten inte för låg, värmestrålningens nivå inte för hög och att det inte uppstår för hög halt av giftiga brandgaser (BBR, 2008). Eftersom denna rapport endast undersöker gascisterner utomhus anser författaren att det främst är värmestrålningen som är intressant i detta fall. Utöver detta ska kravet även tolkas utifrån ett utrymningspsykologiskt perspektiv. Om det uppstår en brand i eller i närheten av en gascistern så ska avståndet säkerställa att människor i en närbelägen byggnad vågar utrymma trots att de ser branden i eller vid gascisternen.

5.1 Avstånden mellan cistern, gasklocka eller rörledning med brandfarlig gas och kringliggande objekt skall vara betryggande. Avstånden skall:

- *bidra till att risken för gasspridning till slutna utrymmen begränsas*

Avståndets funktion är enligt detta krav att ett läckage i anläggningen inte ska leda till att den läckande gasen ansamlas i ett slutet utrymme. Bakgrunden till detta är att om gasen ansamlas i stora mängder och därefter antänds skulle detta kunna innebära en så häftig avbrinring att det uppstår en tryckvåg, fenomenet kallas gasmolnsexplosion. Fenomenet skulle även kunna uppstå om gasen läcker ut i ett område med tät bebyggelse eller ett område med mycket hinder. Anledningen till att en gasmolnsexplosion även kan ske på dessa ställen är bland annat att gasen då kan ansamlas bakom eller mellan dessa hinder. För att en gasmolnsexplosion ska kunna uppstå krävs dock ett relativt kraftigt utsläpp. Gasmolnet måste dels vara väl omblandat med luft så att blandningen mellan gas och syre ligger inom explosionsgränserna och dels måste det vara minst ca 1000 kg gas i molnet². Det är viktigt att påpeka att oavsett storlek på gasmolnet är en ansamling av gas en stor säkerhetsrisk. Även om molnet inte exploderar kan det ske en väldigt kraftig avbränning som antänder objekten inom molnet, till exempel byggnader eller kläder på människor.

5.1 Avstånden mellan cistern, gasklocka eller rörledning med brandfarlig gas och kringliggande objekt skall vara betryggande. Avstånden skall:

²Berit Andersson, Avd. för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola (LTH)

- *bidra till att risken för pågrävning av rörledningar i mark begränsas.*

Avståndets funktion är att minska sannolikheten för att det uppstår ett läckage genom en pågrävning. Grävning pågår vanligen i närheten av byggnader eller blivande byggnader. För att avståndet då ska skydda mot pågrävning ska man utanför tätort hålla sig på avstånd från byggnader när man förlägger rörledningar. Inom tätort ska man förlägga rörledningar på ett förutsägbart avstånd från byggnader. Författaren har i denna rapport valt att avstå från att diskutera detta krav mer än vad som redan gjorts. Detta beror på att det främst är gascisterner ovan mark som är av intresse i denna rapport.

Utifrån beskrivningarna ovan drar författaren den generella slutsatsen är att avståndet ska skydda anläggningen vid brand i omgivningen samt omgivningen och människor vid brand i anläggningen. Utöver det ska avståndet skydda mot läckande gas som kan ansamlas i slutna utrymmen då detta kan leda till en gasolnsexplosion. Målet med den här delen av rapporten är att ge ett kvantitativt svar på vad som är ett betryggande avstånd. Det naturliga vore då att bestämma i meter hur långt det får vara mellan objekt i anläggningen och objekt i omgivningen. Detta är dock redan gjort i tabell 5.1, se Figur 6 där MSB utrett vad som är betryggande avstånd i meter. Det som eftersträvas i denna rapport är ett mer funktionsbaserat svar på vad som är ett betryggande avstånd. Ett exempel på hur ett funktionsbaserat krav skulle kunna lyda är: *Avståndet ska vara så stort mellan cistern och omgivning att cisternen aldrig utsätts för strålningsnivåer som överstiger $X \text{ kW/m}^2$.* Med ett funktionsbaserat krav som detta är det lättare att bestämma risknivån oavsett vilken anläggning man undersöker och oavsett hur den är utformad. Dessutom kan man lättare verifiera hur mycket en riskreducerande åtgärd faktiskt sänker risken.

När det gäller avståndets skydd mot brandpåverkan är den eftersträvade skyddsfunktionen att skyddsobjektet inte ska bli för varmt. Detta skulle som exemplet ovan visar kunna omsättas i en maximalt tillåten värmestrålning, eller maximalt tillåten temperatur hos skyddsobjektet.

När det gäller avståndets skydd mot ansamling av gas är det svårare. Kravet är att avståndet ska *"bidra till att risken för gasspridning till slutna utrymmen begränsas"*. I kommentarerna, de allmänna råden, till föreskriften kan man läsa att *"Gasspridningsrisken anses beaktad om öppningen till slutna utrymmen ligger utanför klassat område"*. Med klassat område menas explosionsklassat område. Kommentarerna till kravet ger inte ett kvantitativt svar på hur kravet kan uppfyllas. För att kunna göra det skulle ytterligare undersökningar av regelverket för explosionsklassning behövas, vilket författaren med hänsyn till studiens omfattning avstår ifrån. Då detta krav utesluts från undersökningarna är det alltså bara de krav där avståndet är tänkt att skydda mot brandpåverkan som är intressanta att undersöka vidare. Dessa är följande:

1. *begränsa risken för brand och explosion i anläggningen vid brand i omgivningen,*
2. *begränsa risken för brandspridning i anläggningen,*
3. *begränsa risken för brand i omgivningen vid brand i anläggningen,*
4. *göra det möjligt att utrymma området kring anläggningen vid brand innan kritiska situationer uppstår,*

Avsikten i följande avsnitt är att undersöka hur dessa krav kan formuleras kvantitativt. I nästa avsnitt undersöks hur MSB (SÄI) gjort när de dimensionerat de schablonavstånd som presenterats i Figur 6 ovan.

5.1 Schablonavstånd i tabell 5.1 i SÄIFS 2000:4

I SÄIFS 2000:4 ställer man krav på att avstånd mellan cistern och omkringliggande objekt ska vara betryggande och i föreskriftens kommentarer kan man hitta tabell 5.1, se Figur 6. För att få en tydligare bild av hur MSB resonerat när de beslutat om dessa avstånd kommer deras resonemang att redovisas och diskuteras. Nedanstående redogörelse av MSB:s resonemang bygger på samtal med Lars Synnerholm, tjänsteman på MSB.

I tabell 5.1 i SÄIFS 2000:4, redovisas avstånd som utan utredning anses uppfylla de krav som ställs på ett betryggande avstånd. Avstånden är baserade på beräkningar, tradition och erfarenhet. Det är viktigt att förstå att det inte är avstånden i sig som utgör det fulla skyddet för liv, hälsa, miljö och egendom. Det är det samlade regelverket för brandfarliga och explosiva ämnen som utgör det totala skyddet, vilket är något som modellen i kapitel 4 implicit visar. MSB beskriver även avstånden i tabell 5.1 som konservativa bedömningar av vad som avses med betryggande avstånd.

När man ber MSB beskriva begreppet betryggande beskrivs det som att det finns en teknisk eller organisatorisk lösning, för att skydda sig mot brand och explosion, som är tagen så långt som man rimligen kan kräva, så att det under normala och tänkbara påfrestningar inte finns någon orsak till oro för skada på liv, hälsa, miljö och egendom. Kopplat till tabell 5.1 innebär det en lösning i form av ett avstånd.

Nedan kommer tabellscenarierna (rutorna) i tabell 5.1, se Figur 7, att beskrivas. Därefter diskuteras riskkällor, skyddsobjekt, dimensionerande skadehändelser, skadekriterier och andra viktiga förutsättningar för hur avstånden dimensionerats.

Tabell 5.1 Avstånd

	Byggnad i allmänhet, antändbart material eller brandfarlig verksamhet		Material med stor brandbelastning		Utgång från svårutrymda lokaler	Pump, förångare, mätarskåp	Fordon	Tankfordonets slanganslutningspunkt
	Utom anläggning <i>meter</i>	Inom anläggning <i>meter</i>	Utom anläggning <i>meter</i>	Inom anläggning <i>meter</i>				
Cistern 10 – 100 m ³	1 25*	3 12*	5 50*	7 25*	9 100*	11 3*	13 8*	15 12*
≤ 10 m ³	2 6*	4 6*	6 25*	8 12*	10 100*	12 3*	14 8*	16 12*
Tankfordonets slanganslutningspunkt	17 25*	18 12*	19 50*	20 25*	21 100*	22 3**		
Pump, förångare, mätarskåp		23 3**		24 12*		25 3**		26 3**
Torr gasklocka								

* Med EI 60-avskiljning eller högre minskas avstånden till hälften.

** Med EI 60-avskiljning eller högre behövs inget avstånd.

Figur 7. Tabell 5.1 från SÄIFS 2000:4, där författaren har lagt till ett scenarionummer för varje ruta i tabellen.

5.1.1 Scenariobeskrivning

I Figur 7 ser man hur tabell 5.1 är uppbyggd med olika typer av objekt i ytterkanterna av både kolumnerna och raderna. Tyvärr kan man inte generalisera och säga att raderna utgör riskkällor och kolumnerna skyddsobjekt, eller vice versa. Detta beror på att objekten i raderna och kolumnerna är både skyddsobjekt och riskkällor. Förenklat kan man säga att avståndet ska skydda dem från varandra. I Figur 7 har varje ruta givits ett nummer. Numret kommer att användas för att enklare hitta vilket tabellscenario som diskuteras. Ett tabellscenario är en kombination av objekten i raderna och kolumnerna. Tabellscenario 1 innebär till exempel att avståndet ska skydda gascisternen vid brand i en byggnad i allmänhet, eller vice versa. Det som bestämmer hur långt avståndet blir beror på vilket av objekten, gascisternen eller byggnaden, som vid en brand skulle leda till kraftigast brandförlopp.

Objekten i raderna och kolumnerna är alltså både riskkälla och skyddsobjekt. Dock finns det undantag. Det är kolumn tre och fem. I dessa regleras avståndet mellan svårutrymd lokaler och övriga objekt samt avstånd mellan fordon och övriga objekt. Kolumn 3, svårutrymda lokaler, utgör endast ett skyddsobjekt och kolumn 5, fordon, utgör endast en riskkälla. Sista raden, torr gasklocka, är struken på grund av avgränsningar. Objektsbeskrivningen i kanten av raderna och kolumnerna, kan behöva förtydligas något därför ges nedan en kort beskrivning av några av de otydligare objekten.

- Material med stor brandbelastning är till exempel en brädgård, däckupplag eller cistern med brandfarlig vätska. Det kan också vara ett objekt där man kan förvänta sig ett fyra gånger intensivare brandförlopp än för byggnader i allmänhet, antändbart material eller brandfarlig verksamhet.
- Pumpar, förångare och mätarskåp har flänsar vars packning kan gå sönder och leda till läckage och brand.
- Med fordon avses normallastad buss eller lastbil som fattar eld, normallastad innebär inga brandfarliga eller explosiva varor.

Ovan nämndes att objekten i tabellen både är riskkällor och skyddsobjekt, detta innebär egentligen bara att om brand uppstår i det ena objektet så ska avståndet skydda andra objektet och vice versa.

5.1.2 Skadekriterier

Ett skadekriterium är det man i deterministisk riskvärdering använder för att besluta om en risk kan accepteras eller ej. De skadekriterier som MSB använt när avstånden i tabell 5.1, se Figur 7, bestämts har varit två kvalitativa och ett kvantitativt kriterium, se punktlista nedan. De kvalitativa skadekriterierna är följande två:

- avståndet ska vara dimensionerat så att en cistern inte ska förlora sin tryckbärande förmåga, och
- avståndet ska vara dimensionerat så att omgivning, människa och egendom, skyddas om en brand skulle uppstå i gasanläggningen.

Det kvantitativa kriteriet är följande

- MSB har beaktat att Boverket antar att en träbyggnad antänder efter 30 min vid 15 kW/m^2 .

5.1.3 Dimensionerande brandscenarier

I samtalen med MSB framkommer att avstånden i tabellen har baserats på fyra olika dimensionerande brandscenarier. Dessa scenarier har ansetts vara representativa för vad som är ett värsta troliga scenario. Viktigt att förstå är att det självklart kan uppstå andra skadehändelser än de som MSB valt. Skadehändelser som leder till avsevärt mycket större konsekvenser på gascisternens omgivning. Scenarier med sådana konsekvenser kallar man ofta worst case scenarier, alltså värsta tänkbara scenarier. Att dimensionera riskreducerande åtgärder utifrån worst case scenarier leder oftast till ett väldigt dyrt skydd i förhållande till dess nytta. Med tanke på detta bör då avstånden i tabell 5.1 vara en kostnadseffektiv riskreducerande åtgärd då det baseras på dimensionerande scenarier istället för "worst case"-scenarier.

Följande dimensionerande brandscenarier har använts:

- Brand i träbyggnad
- Trasig packning i en fläns med läckage och antändning som följd (Flänsbrand)
- Hål på slang mellan cisternen och tankfordonets anslutningspunkt (Slangbrott)
- Fordonsbrand (buss eller lastbil)

Brand i träbyggnad är dimensionerande för tabellscenario 1-8. Flänsbrandscenariot är dimensionerande för tabellscenario 11, 12, 22 -25. Slangbrottsscenario är dimensionerande för tabellscenario 15 -20. Fordonsbrandscenariot är dimensionerande för tabellscenario 13-14.

MSB har inte gjort beräkningar för samtliga av tabellscenarierna utan i flera fall är avståndet schablonmässigt framtaget. De dimensionerande brandscenarierna har använts för att beräkna ett acceptabelt avstånd för ett tabellscenario. Detta, beräknade, tabellscenario har sedan använts som mall. Baserat på erfarenhet och tradition har mallen sedan schablonmässigt ändrats för att passa andra tabellscenarier. Några exempel är att tabellscenario 1 ligger till grund för tabellscenario 2-8. Tabellscenario 17 ligger till grund för tabellscenario 18-20. För en mer ingående beskrivning av antaganden och förhållanden mellan tabellscenarierna hänvisas läsaren till Bilaga C.

En viktig detalj att ta upp är att när MSB värderat konsekvenserna av de dimensionerande scenarierna och bedömt vad som är ett betryggande avstånd till en gascistern har cisternen antagits utförd utan säkerhetsventil. Att gascisternen skulle sakna säkerhetsventil stämmer i de flesta fall inte överens med situationen i Sverige³. Detta antagande har dock gjorts för att säkerhetsventilen ska vara en säkerhetsmarginal utöver avståndet.

För samtliga scenarier accepteras en schablonhalvering eller fullständig reducering av avståndet om skyddsobjekt och riskkälla skiljs från varandra med en EI-60 avskiljning. Denna riskreducerande åtgärd är inte verifierad på annat sätt än med erfarenhet och tradition.

³ Lars Synnerholm, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

5.1.4 Slutsats

Slutsatsen är att konsekvenserna av de dimensionerande brandscenarierna utgör primär bedömningsgrund för de avstånd som presenteras i tabell 5.1. Risken har sedan värderats utifrån två kvalitativa och ett kvantitativt kriterium, se kap 5.1.3 ovan. Den metod som MSB använt sig av är väldigt lik deterministisk riskvärdering, då man använt sig av dimensionerande brandscenarier och skadekriterier för att värdera risken. Dock har vissa schablonmässiga antaganden gjorts som inte följer en strikt deterministisk riskanalysmetod. Dessa antaganden har MSB baserat på tradition och erfarenhet, vilka inte är konsekventa för varje tabellscenario. Detta får effekten att en tydlig och konsekvent metod för att bestämma avstånden i tabell 5.1 inte kunnat bestämmas.

I samtalen med MSB ombads de beskriva begreppet betryggande, detta beskrevs då som att det ska finnas en teknisk eller organisatorisk lösning, för att skydda sig mot brand och explosion, som är tagen så långt som man rimligen kan kräva, så att det under normala och tänkbara påfrestningar inte finns någon orsak till oro för skada på liv, hälsa, miljö och egendom. Denna definition ger upphov till fler frågor än den besvarar. Frågor av karaktären; *hur långt kan man kräva att avståndet ska vara? Vad innebär oro i detta sammanhang?* o.s.v. Definitionen ger inte mycket vägledning för att besvara hur ett kvantitativt krav på ett betryggande avstånd kan formuleras, men definitionen återkommer för diskussion i kapitel 8.

Författaren har utifrån MSB:s redogörelse valt att utgå ifrån de dimensionerande scenarier och skadekriterier som presenteras för att försöka ta fram kvantitativa krav på ett betryggande avstånd. I nästföljande kapitel, kapitel 6, omformuleras de kvalitativa skadekriterierna till kvantitativa genom en litteraturstudie. I kapitel 7 beräknas konsekvenserna för de dimensionerande scenarier som MSB använt. Detta görs med förhoppning om att kunna beräkna den konsekvensnivå som MSB accepterat i och med schablonavstånd som MSB idag anser är betryggande.

6 MSB:s skadekriterier

I detta kapitel presenteras en litteraturstudie med syfte att presentera och diskutera skadekriterier (temperatur- och värmestrålningskriterier) för en gascistern, människor och egendom. Målet är att formulera en kvantitativ tolkning på de krav som SÄIFS 2000:4 ställer på ett betryggande avstånd.

6.1 Cisternens tryckbärande förmåga vid brandpåverkan

Bakgrunden till att undersöka gascisternens tryckbärande förmåga vid brand är att MSB använde detta som skadekriterium när avstånden i tabell 5.1, se figur 7, bestämdes. Författaren har sedan dragit slutsatsen att om gascisternens tryckbärande förmåga säkerställs så uppfyller man följande två av föreskriftens krav på ett betryggande avstånd:

1. *begränsa risken för brand och explosion i anläggningen vid brand i omgivningen,*
2. *begränsa risken för brandspridning i anläggningen,*

Genom att bestämma temperatur- och värmestrålningskriterier för när gascisternens förväntas förlora sin tryckbärande förmåga erhålls en kvantitativ tolkning av kraven.

Om man utgår från en cistern som är avsedd för gasol, så är den dimensionerad för de ångtryck som gasol antar vid 45°C⁴. Cisternen tål dock rent praktiskt avsevärt mycket högre tryck⁵ vilket kommer väl till pass vid extrem påverkan som till exempel brand. Då kommer cisternen och gasen att tillföras värme så att de antar en mycket högre temperatur än 45°C. Detta leder dels till att gasen förångas och skapar ett högre tryck allt eftersom temperaturen stiger och dels sker det en strukturell förändring inne i stålet som gör att stålet tål lägre tryck. Om cisternen värmepåverkas kan det ske antingen genom en direkt flampåverkan eller genom värmestrålning. Den del av cisternen som främst hotas av att förlora sin tryckbärande förmåga är den del som inte täcks av vätska på insidan av cisternen. Detta beror på att stålet kyls ned när värmen leds från cisternens yta in till vätskan. Om cisternen är försedd med säkerhetsventil kommer den att öppna och släppa ut gas i takt med att värme leds in i vätskan och ångtrycket stiger över gascisternens konstruktionstryck. När säkerhetsventilen öppnar och släpper ut gas minskar vätskenivån i gascisternen, detta innebär att den yta av gascisternens mantel som på insidan täcks av vätska minskar. Den naturliga följderna är då att den yta som inte täcks av vätska ökar och därmed ökar även risken för att gascisternen förlorar sin tryckbärande förmåga. Även om mer av cisternens yta kommer in i riskzonen för att förlora sin tryckbärande förmåga minskar trycket i gascisternen och därmed den kraft som får stålet att gå sönder. Tryckavlastningen via säkerhetsventilen reducerar därmed totalt sett risken för att stålet ska förlora sin tryckbärande förmåga.

I denna rapport antas dock cisternen sakna säkerhetsventil och det som undersöks är hur värme påverkar cisternens stål och vid vilken temperatur eller värmestrålningsnivå som stålet förlorar sin tryckbärande förmåga.

I förra kapitlet har temperaturkriterier och värmestrålningskriterier diskuterats som mått på brandpåverkan. I detta kapitel diskuteras vilka nivåer på dessa som är rimliga för en gascistern. I Svensk

⁴Jan Mårtensson, Arbetsmiljöverket (AMV)

⁵ibid

Standard för Installation och utrustning för flytande naturgas (SS-EN 1473) rekommenderas 15 kW/m². Detta rekommenderas för att det är en gräns som cisternen bör klara under en längre tid. Denna gräns accepteras även av MSB⁶.

Gårsjö (2006), har i sin rapport gjort handberäkningar för att undersöka hur en cistern påverkas av en jetflamma från en närbelägen cisterns säkerhetsventil. I rapporten anses cisterner klara ca 600°C och slutsatsen är att strålningsnivåer under 43 kW/m² inte borde vara någon fara för cisternens tryckbärande förmåga. I Svensk standard för termisk påverkan på tryckkärlsstål kan man i tabell 4 utläsa att en vanligen använd stålqualität för tryckkärl⁷ förlorat ungefär 40 procent av sin tryckbärande förmåga vid 400°C. En lite mer omfattande utredning av termisk påverkan på cisterner görs av Raj (2005). Han gör en teoretisk undersökning om cisterner för kondenserad gas klarar strålningspåverkan från en pölbrand (infallande strålning från pölbranden var 40kW/m²). I Raj:s beräkningarna är hänsyn tagen till cisternens förmåga att avge värme, dels genom strålning dels genom konvektion. Hänsyn är även tagen till att cisternen är vitmålad och inte tar upp mer än 30 procent av strålningen från pölbranden. Avstånden mellan cistern och pölbrand är i undersökningen mellan 7,5 m och 22,5 m beroende på storlek på cisternen (ca 4m³ - 230m³). Genom beräkningar undersöker Raj (2005) om cisternen under 30 min brandpåverkan skulle kunna bli så varm att den förlora sin tryckbärande förmåga. Som kriterium utgår han ifrån att cisternen är gjord i konstruktionsstål och den maximalt får bli 538°C vid vilket konstruktionsstål förlorar halva sin tryckbärande förmåga (SFPE, 2002). Slutsatsen är att så länge cisternen hålls vit kommer inte temperaturen överstiga 538°C. Detta gäller även om cisternen skulle ta upp 60 procent av den inkommande strålningen istället för 30 procent.

Utifrån den ovanstående diskussionen är det rimligt att tänka sig att cisternen kan utsättas för ca 40kW/m² och klara temperaturer upp till maximalt 400 - 600°C. Viktigt att förstå är att man inte kan acceptera en strålning motsvarande 40 kW/m² utan att säkerställa att cisternens temperatur understiger 400 - 600°C. Hur skadekriterium väljs påverkar möjligheten att verifiera om kriteriet överskrids. Ett temperaturkriterium bör ses som det mest funktionsbaserade kriteriet, vilket lämnar stor frihet för utredaren att välja beräkningsmetoder. Att välja ett kriterium för strålning måste kompletteras med ett tillhörande tidskriterium. Ett värmestrålningskriterium kan därför väljas högt med ett lågt tidskriterium eller lågt med ett högt tidskriterium. MSB utger sig i SÄIFS 2000:4 ha beaktat boverkets gräns för antändning av trä, 15kW/m² under 30 min. Boverkets gräns kan ses som att skyddsobjektet ska skyddas från antändning i minst 30 min och därmed får det maximalt utsättas för en värmestrålningsnivå på 15kW/m². Då MSB påstår sig beaktat denna gräns utgår författaren från att MSB anser att ett tidskriterium på 30 min är rimligt för ett skyddsobjekt. Räddningstjänstens insatstid i tätort anses normalt vara 10 min. Detta ger tidsgränsen 30 min en marginal på 20 min för räddningstjänsten att agera. Självklart minskar marginalerna när insatstiden ökar och detta är något man bör ta hänsyn till när man använder de skadekriterier som diskuteras här. I denna rapport avgränsas diskussionen dock till att gascisternen är förlagd inom gränsen för 10 minuters insatstid.

Om temperaturkriteriet motsvarar den gräns då gascisternen fortfarande har halva sin tryckbärande förmåga, anser författaren att ett rimligt tidskriterium är 30 min. Detta bör då ge räddningstjänsten en marginal på 20 min för att släcka branden eller kyla cisternen innan cisternen når gränsen för halva sin tryckbärande förmåga. Därmed också en rimlig säkerhetsnivå.

⁶Lars Synnerholm, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

⁷Jan Mårtensson, Arbetsmiljöverket (AMV)

Ovan konstaterades att cisternen förlorar halva sin tryckbärande förmåga någonstans mellan 400 - 600°C, därmed anser författaren att 500°C är ett rimligt temperaturkriterium för en stålcistern. Baserat på detta kriterium kan man nu med enkla handberäkningar visa att en vitmålad cistern bör klara strålningsnivåer upp till 45 kW/m² i 30 min, se Bilaga F. Denna nivå kan tyckas hög, men då bör beaktas att den omfattar en säkerhetsmarginal, då ingen hänsyn är tagen till att cisternen också avger värme, vilket innebär att cisternen bör klara 45 kW/m² i mer än 30 min.

6.1.1 Slutsats

Slutsatsen är att ett betryggande avståndet för en gascistern kan verifieras genom att visa att cisternens temperatur understiger 500°C alternativt att värmestrålningen mot cisternen inte överstiger 45 kW/m² i 30 min.

6.2 Människor och byggnader

Vid brand kan människor och byggnader skadas så kraftigt att det leder till dödliga skador eller total förödelse av byggnaden. I denna rapport diskuteras endast värmepåverkan i form av värmestrålning från en brand. Om människor utsätts för värmepåverkan uppstår brännskador som om de är allvarliga kan leda till dödsfall. När en byggnad utsätts för värmepåverkan kommer den tillslut att antända eller förstöras. I början av kapitel 5 diskuteras vilka krav som är aktuella att undersöka i denna rapport. När det gäller skyddet för människor och byggnader är följande två krav aktuella:

1. *begränsa risken för brand i omgivningen vid brand i anläggningen,*
2. *göra det möjligt att utrymma området kring anläggningen vid brand innan kritiska situationer uppstår.*

Om avståndet ska skydda mot brandspridning innebär det ett sådant avstånd att värmestrålning inte antänder eller skadar människor och byggnader. Att skydda människor vid utrymning brukar inomhus vara att säkerställa att människor inte utsätts för kritiska nivåer av brandgaser, värmestrålning eller för höga temperaturer (BBR, 2008). Vid brand i en gasanläggning utomhus bör man kunna begränsa sig till att endast diskutera värmestrålning. Detta då temperaturen inte bör stiga långt över omgivningstemperatur och brandgaser i de flesta fall stiger och försvinna högt ovan huvudhöjd. Frågan är då vilka strålningsnivåer som är kritiska för människor och byggnader. MSB skriver i de allmänna råden till SÄIFS 2000:4 att avstånden i tabell 5.1 är dimensionerade utifrån Boverkets kriterier för när en träbyggnad antänder, 15 kW/m² under 30 min. Om detta används för byggnader i obrännbara material leder det till en hög skyddsnivå, i vissa sammanhang till en omotiverat hög skyddsnivå. MSB har valt ett tidskriterium på 30 min, författaren har tolkat detta som att det anses acceptabelt med brandpåverkan så länge branden inte leder till oacceptabel skada eller antändning av ett skyddsobjekt inom 30 min. Därmed bör ett avstånd mellan anläggning och ett objekt som inte är i trä verifieras mot en strålningsnivå som inte skadar eller antänder objektet inom 30 min. Viktigt att påtala är att om detta leder till att kortare avstånd än dem i tabell 5.1, får inte detta stå i konflikt med andra kriterier som avståndet ska uppfylla

MSB har inte redovisat något kvantitativt skadekriterium för människor, däremot har man sagt att alla människor ska skyddas till liv och hälsa⁸. När en människa utsätts för värmestrålning uppstår brännskador som brukar kategoriseras från 1:a till 3:e graden, beroende på hur allvarliga de är. Andra

⁸Lars Synnerholm, Myndigheten för Samhällsskydd och beredskap (MSB)

och tredje gradens brännskada måste behandlas på sjukhus och täcker skadan mer än 25 procent av kroppsytan kan den vara en dödlig (FOA, 1998). Nedan i Tabell 1 presenteras hur olika nivåer av strålning påverkar människan.

Tabell 1. Skadekriterier för värmestrålning mot människor, sannolikheten för skada är beräknad utifrån samband I FOA (1998) Figur 11.9.

2,5 kW/m ²	Acceptabel nivå för långvarig exponering vid utrymning (BBR, 2008). Efter 2,5 min uppstår i 10 % av fallen en andra gradens brännskada, och efter 4 min är den sannolikheten 50 % (FOA, 1998).
5 kW/m ²	Smärtgränsen för bar hud nås efter 20 – 30s (Mannan, S. & Lees, F.P., 2005). Efter 1 min uppstår i 10 % av fallen en andra gradens brännskada, och efter 2,5 min är den sannolikheten 50 % (FOA, 1998).
10 kW/m ²	Smärtgränsen för bar hud nås efter någon sekund (Mannan, S. & Lees, F.P., 2005; BBR, 2008) Efter 30 s uppstår i 10 % av fallen en andra gradens brännskada, och efter 40 s är den sannolikheten 50 % (FOA, 1998).
20 kW/m ²	Leder snabbt till brännskador och att kläder antänds och efter 10 s uppstår i 10 % av fallen en andra gradens brännskada, och efter 15 s är den sannolikheten 50 % (FOA, 1998).
30 kW/m ²	Leder snabbt till brännskador och dödsfall (Mannan, S. & Lees, F.P., 2005) och efter 6 s uppstår i 10 % av fallen en andra gradens brännskada, och efter 9 s är den sannolikheten 50 % (FOA, 1998).

Tabell 1 bygger på antagandet att det är bar hud som exponeras för värmestrålning. Vilket medför att riskvärdering baserat på dessa kriterier är konservativt, eftersom man större delen av året har både långärmade och långbenta kläder. Raj (2008) visar också i experiment där människor och provdockor utsätts för strålning från en LNG pölbrand att det räcker med endast ett tunt lagerkläder, skjorta och byxor, för att reducera den strålning som huden utsätts för med en faktor 2-3. Viktigt att påpeka är dock att en person som endast är iklädd t-shirt och shorts exponerar mer än 25 % av bar kroppsytan. Om denna person utsätts för kraftig värmestrålning kan han/hon få dödliga brännskador bara på de ytor som inte täcks av kläder. Vilka kriterier som ska väljas är en svår uppgift att ta ställning till. Eftersom MSB avser att skydda alla människor från skada och död är det rimligt att sätta gränsen där andra gradens brännskador uppstår, då dessa kan leda till dödliga skador. Detta innebär att gränsen för maximal värmestrålning bör sättas vid smärtgränsen, se tabell 1, eftersom sannolikheten då är väldigt lite att någon ska få andra gradens brännskador. Skyddsnivå bör med detta kriterium anses vara mycket god och allmänheten kommer med största sannolikhet att klara sig undan skador som måste vårdas på sjukhus. Författaren anser att 5 kW/m² inte är ett helt orimligt kriterium, då man på 20 – 30 s bör hinna sätta sig i säkerhet eller förflytta sig ifrån branden. En extra säkerhetsmarginal för

detta kriterium är att de flest människor större delen av året bär täckande kläder, vilket bör reducera den värmestrålning som huden utsätts för med en faktor 2-3.

6.2.1 Slutsats

Slutsatsen är att kraven på ett betryggande avstånd som gäller omgivning och utrymning kan verifieras genom att säkerställa att strålningsnivån mot objekt i anläggningens omgivning inte överstiger 15 kW/m² under 30 min alternativt den nivå där skyddsobjektet inte förväntas skada eller antända under 30 min. För att uppfylla andra kriteriet bör inte en brand i anläggningen kunna leda till strålningsnivåer över 5kW/m² vid utrymningsvägar.

7 Konsekvensberäkningar för MSB:s dimensionerande scenarier

MSB har valt att dimensionera avstånden i tabell 5.1, se Figur 8 nedan, utifrån fyra dimensionerande brandscenarier. Dock har inga beräkningar funnits tillgängliga som visar hur stora konsekvenser dessa scenarier ger upphov till.

Detta kapitel visar hur författaren försökt återskapa lämpliga konsekvensberäkningar i hopp om att ge begreppet *betryggande avstånd* en kvantitativ innebörd i form av värmestrålningskriterier. Konsekvensberäkningar för fem olika brandscenarier presenteras nedan. Resultatet av beräkningarna visar vilken värmestrålning som kan uppstå vid de avstånd som används i tabell 5.1.

MSB:s metodik för att ta fram avstånden i tabell 5.1 har dels baserats på beräkningar och dels på schablonantaganden. Beräkningar har gjorts för fyra brandscenarier; brand i träbyggnad, flänsbrand, slangbrott med antändning samt fordonsbrand. För att bestämma vilka konsekvenser som kan uppstå i de olika tabellscenarierna kommer dessa fyra brandscenarier att återskapas. Brandscenarierna är kopplade till tabellscenarierna på följande sätt:

- Brand i träbyggnad är dimensionerande för tabellscenarierna 1-8.
- Flänsbrandscenariot är dimensionerande för tabellscenarierna 11, 12, 22-25.
- Slangbrottsscenariot är dimensionerande för tabellscenarierna 15-20.
- Fordonsbrandscenariot är dimensionerande för tabellscenarierna 13-14.

Avståndet i tabellscenarierna 5-8 är en produkt av avståndet i tabellscenario 1 och en schablonfaktor som baserats på tradition och erfarenhet. Avståndet i tabellscenario 1 är i sin tur beräknat utifrån brandscenariot *brand i träbyggnad*. Därmed är avstånden i tabellscenarierna 5-8 baserade på konsekvenserna av en brand i träbyggnad. För att inte behöva ta hänsyn till MSB:s schablonantaganden diskuteras ett femte brandscenario, *brand i material med hög brandbelastning*, vilket kommer ligga till grund för konsekvensbedömningen för tabellscenarierna 5-8.

Tabell 5.1 Avstånd

	Byggnad i allmänhet, antändbart material eller brandfarlig verksamhet		Material med stor brandbelastning		Utgång från svårutrymda lokaler	Pump, förångare, mätarskåp	Fordon	Tankfordonets slanganslutningspunkt
	Utom anläggning	Inom anläggning	Utom anläggning	Inom anläggning				
	meter	meter	meter	meter				
Cistern 10 – 100 m ³	1 25*	3 12*	5 50*	7 25*	9 100*	11 3*	13 8*	15 12*
≤ 10 m ³	2 6*	4 6*	6 25*	8 12*	10 100*	12 3*	14 8*	16 12*
Tankfordonets slanganslutningspunkt	17 25*	18 12*	19 50*	20 25*	21 100*	22 3**		
Pump, förångare, mätarskåp		23 3**		24 12*		25 3**		26 3**
Torr gasklocka								

* Med EI 60-avskiljning eller högre minskas avstånden till hälften.
** Med EI 60-avskiljning eller högre behövs inget avstånd.

Figur 8. Tabell 5.1 från kommentarerna till SÄIFS 2000:4.

Kapitlets avsnitt kommer att presentera varsitt brandscenario. I respektive avsnitt presenteras endast en kort sammanfattning av antaganden, beräkningar och resultat. I slutsatserna till kapitlet presenteras vilka värmestrålningsnivåer som uppstår för respektive tabellscenario. För fullständiga beräkningarna se bilaga C, D, E och F.

7.1 Brand i träbyggnad

Ett av MSB:s dimensionerande brandscenarier är brand i träbyggnad. Utifrån detta scenario har MSB dragit slutsatsen att avståndet mellan cistern och byggnad får vara 6-25 m, se tabell 5.1 i Figur 8. Vid en eventuell brand i byggnaden är den skadeverkande mekanismen mot cisternen värmestrålning. MSB har inte specificerat scenariot mer än att det är en träbyggnad. Detta gör det svårt att återskapa beräkningar från vilka man kan dra slutsatser om acceptabla strålningsnivåer. Nedan diskuteras dock vad författaren anser vara ett rimligt scenario.

Vid brand i en byggnad anser författaren att det troligaste scenariot är att ett skyddsobjekt utsätts för värmestrålning från trasiga fönster. I det här fallet är fasaden i trä, därmed är det även troligt att fasadpartiet ovan fönstret antänder. Flammorna ovanför fönstret antar dock inte lika hög temperatur som inne i byggnaden. I beräkningarna antas temperaturen på flammor i fönstret vara 1000°C och flamtemperaturen från fasadpartiet ovan fönstret vara ca 800°C (Brandskyddshandboken, 2005). Då det inte finns några uppgifter om den dimensionerande byggnadens storlek och hur stor del av fasaden som täcks av fönster antas hela fasaden stråla med en strålningsintensitet motsvarande en yta som är 900°C. I Bilaga D finns fullständiga beräkningar tillgängliga och nedan presenteras resultaten.

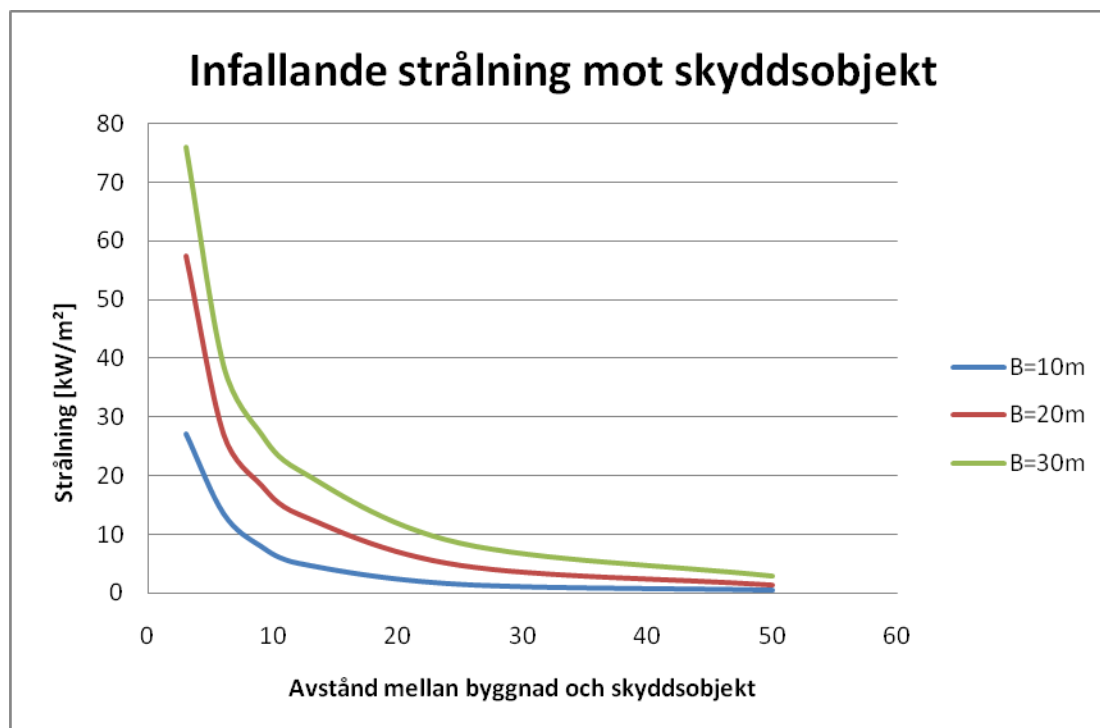
Strålningen från en brand mot ett skyddsobjekt är beroende av brandens hetta, emissionstal (ϵ), luftens transmission (τ) och synfaktorn mellan brand och skyddsobjekt, se Ekvation 1. I dessa beräkningar har emissionstal och transmissionstal satts till 1 och brandens strålningsintensitet har beräknats utifrån en 900°C varm yta. På stora avstånd är det väldigt konservativt att sätta transmissionsfaktorn till 1. För att få en uppfattning om transmissionskoefficientens storleksordning på de aktuella avstånden kan Figur 10 studeras.

Som nämnts ovan har inte MSB beskrivit några dimensioner för byggnaden och därmed är det svårt att bestämma synfaktorn. Nedan i Ekvation 1 har strålningen mot skyddsobjektet beräknats så långt som nu är möjligt. Synfaktorn, F_{1-2} , är fortfarande en obestämd variabel.

$$P_{1-2} = \epsilon * F_{1-2} * \tau_a * \sigma * T^4 = 1 * 1 * 1173K^4 * 5,67 * 10^{-8} * \frac{107,3kW}{m^2} * F_{1-2}$$

[Ekvation 1, (FOA, 1998)]

Synfaktorn är beroende av byggnadens höjd (h), bredd (b) samt avståndet (x) mellan byggnad och skyddsobjekt. Den beräknas genom att först bestämma förhållanden mellan byggnadens höjd och bredd ($h/b = H_r$) och förhållandet mellan byggnadens bredd och avståndet till skyddsobjektet ($x/b = X_r$). För att kunna få ett svar på vilka strålningsnivåer som uppstår vid en byggnadsbrand har författaren antagit att den brinnande byggnaden har ett $H_r = 0,5$, alltså att byggnaden är dubbelt så lång som den är hög. För att få ett intervall av tänkbara utfall har byggnadens bredd antagits vara mellan 10-30 m. Byggnadstypen anses av författaren kunna vara ett dimensionerande fall för till exempel ett industriområde. Beräkningarna har gjorts för avstånd mellan 3-50 m. I Figur 9 nedan är strålningsintensiteten plottade som funktion av avståndet.



Figur 9. Strålning som funktion av avstånd vid en byggnadsbrand

Strålningen vid en byggnadsbrand antas ligga mellan den blå linjen och den gröna linjen i Figur 9.

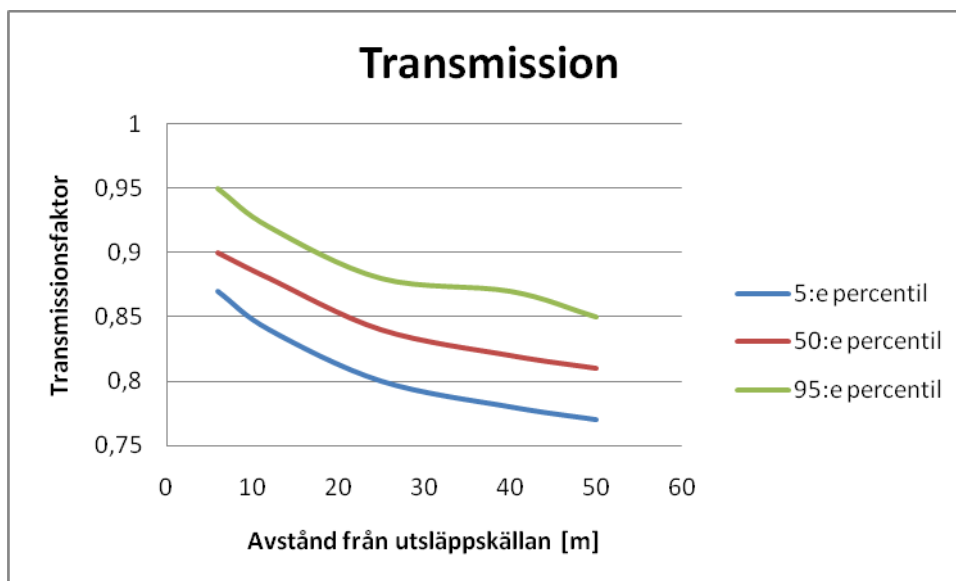
7.2 Slangbrott

Avståndet mellan tankfordonets slanganslutningspunkt och omgivande objekt är baserad på att tankfordonets slang spricker vid lossning (pumpning med 350 kg/min⁹) och läckaget antänder. Scenariot bygger på att sprickan motsvarar en tredjedel av slangens omkrets. Författaren har tolkat detta som att hålets höjd motsvarar en tredjedel av slangens omkrets och att hålet antar en elliptisk form där bredden motsvarar 60 procent av höjden. Värmestrålningarnivåerna har beräknats utifrån samma grundekvation, *Ekvation 1*, som används vid byggnadsbrandsscenario. I dessa beräkningar har dock transmissionskoefficienten inte satts till 1 utan istället beräknats utifrån väderförhållanden i Malmö och avståndet mellan jetflamma och skyddsobjekt. Anledningen till att den nu beräknas är att detta scenario innehåller färre osäkerheter i indata. Strålningsintensiteten $P_{jetflamma}$ motsvarar två gånger den som uppstår vid en pölbrand (D=1m) med ett icke sotande bränsle, i detta fall propan (FOA, 1998). Strålningsintensiteten har bestämts som en funktion av avståndet från källan och synfaktorn har beräknats utifrån jetflammans höjd och bredd samt avståndet mellan flamma och skyddsobjekt.

$$P_{1-2} = F_{1-2} * \tau_a * P_{jetflamma} = \frac{175kW}{m^2} * F_{1-2} \quad [Ekvation 4 (FOA, 1998)]$$

Då till exempel transmissionsfaktor och kontraktionsfaktor är stokastiska variabler har Monte Carlo simuleringar körts och strålningsintensiteterna presenteras därför som intervall. Fullständiga beräkningar presenteras i Bilaga C - Konsekvensberäkningar för jetflammar och nedan presenteras resultaten.

⁹Tord Johansson, Statoil



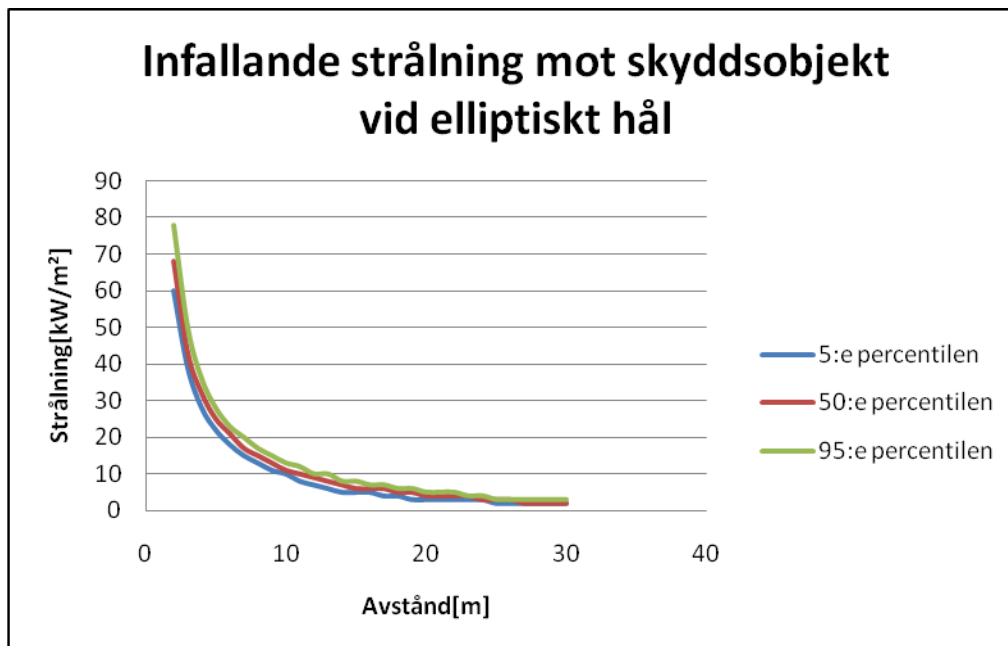
Figur 10. Transmissionsfaktor

I Figur 10 presenteras transmissionsfaktorn som funktion av avståndet, mellan den blå och den gröna kurvan sker 90 procent av alla utfall.

Värmestrålningsnivåerna har beräknats som en funktion av det vinkelräta avståndet från flammans centrum. Nedan i Tabell 2 presenteras strålningsnivåerna vid de avstånd som används i tabell 5.1 i SÄIFS 2000:4. Strålningsnivåerna presenteras som ett intervall mellan 5:e och 95:e percentilen.

Tabell 2. Strålningsnivåer vid olika avstånd från utsläppskällan

Avstånd	5:e percentilen	50:e percentilen	95:e percentilen
6 m	18 kW/m ²	21 kW/m ²	23 kW/m ²
12 m	7 kW/m ²	9 kW/m ²	10 kW/m ²
25 m	2 kW/m ²	3 kW/m ²	3 kW/m ²



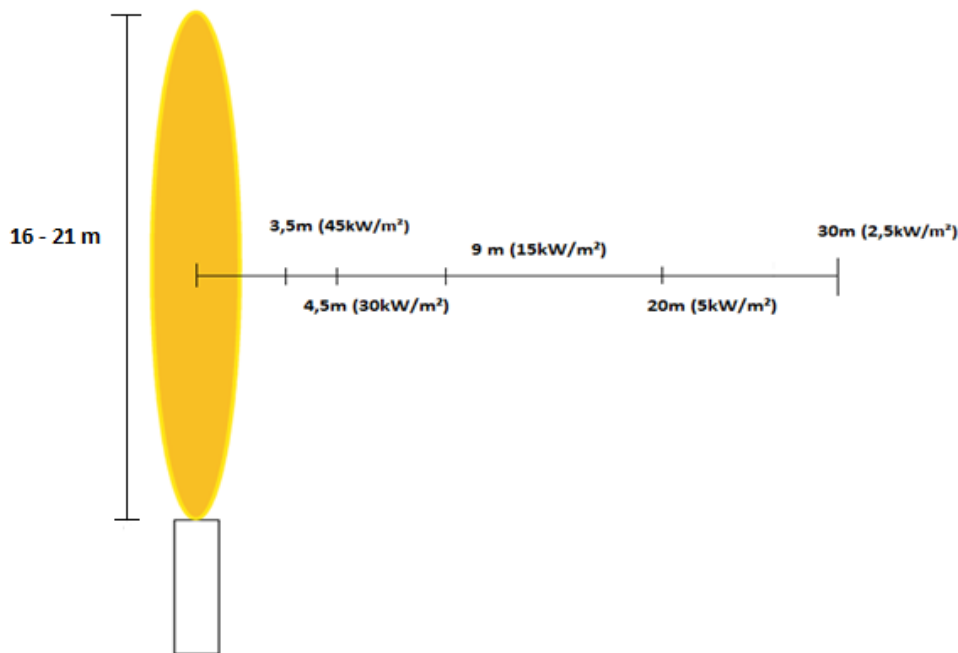
Figur 11. Strålningen som funktion av avståndet

I Figur 11 presenteras strålningen som funktion av avståndet mellan 2-30 meter.

Tabell 3. Avstånd till specifika strålningsnivåer

Strålningsnivåer	Avstånd (95:e percentilen)
45 kW/m ²	3,5m
30 kW/m ²	4,5m
15 kW/m ²	9 m
5 kW/m ²	20 m
2,5 kW/m ²	30 m

I Tabell 3 presenteras avståndet till strålningsnivåer som vanligen används som skadekriterier vid deterministisk riskvärdering. Tabellen visar de avstånd där man med 95 procents säkerhet kan säga att strålningsnivåerna understiger skadekriterierna.



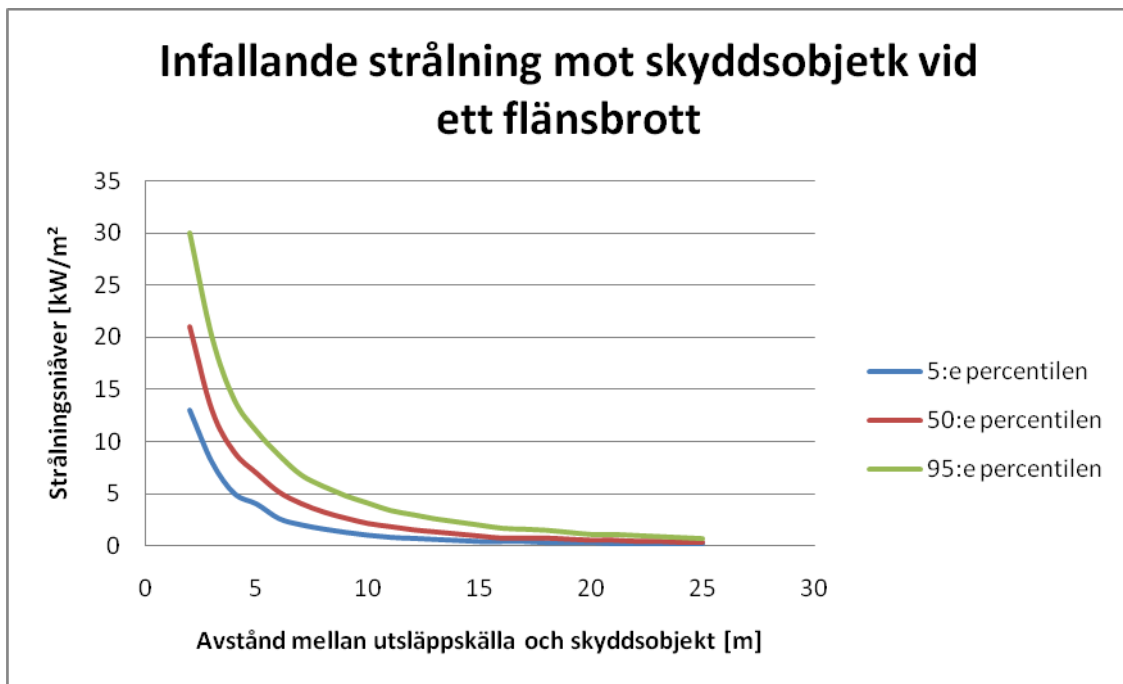
Figur 12. Bilden visualiserar Tabell 3

Figur 12 visualiserar Tabell 3 och visar jetflammans längd i 90 procent av utfallen. Variationen i längd beror främst på antaganden gjorda om kontraktionsfaktorn.

7.3 Flänsbrand

Det dimensionerande scenariot för avstånden mellan pumpar, förångare och mätarskåp och omkringliggande objekt är flänsbrand. Ett utsläpp av gas som förvaras under tryck kommer vid läckage att ge upphov till ett turbulent jetutsläpp och om utsläppet antänds uppstår en jetflamma. I dessa beräkningar kommer jetflammans längd och värmestrålning vinkelrätt ut från flammen att beräknas. Beräkningar sker på samma sätt som för slangbrottsscenarioet, en skillnad är dock att läckaget inte antas uppstå vid pumpning, utan det är gasens ångtryck som styr hur kraftigt läckageflödet blir.

MSB antar att packningen spricker mellan två bultar i flänsen. Hålets storlek styrs då av antalet bultar i flänsen och packningens bredd. Cox, m.fl. (1990) rekommenderar att ett stort hål vid flänsbrott beräknas utifrån en packningsbredd på 1 mm, men påpekar även att packningsbredden kan vara upp till 3 mm. Nedan beräknas hålarean för slangbrott och flänsbrott. För att hantera osäkerheter i indata har Monte Carlo simuleringar körts och resultaten presenteras i Figur 13 nedan. För fullständiga beräkningar se Bilaga C.



Figur 13. Strålningsnivåer vid flänsbrott

I Figur 13 presenteras strålningsnivåerna vinkelrätt från flammans som funktion av avståndet. Jämfört med slangbrottsscenarioet kan man se att det är större spridning på resultaten. Denna variation beror till stor del på antagande om gasolens temperatur. Detta påverkar i sin tur flödet och därmed jetflammans utseende och strålning mot skyddsobjektet.

Tabell 4. Strålningsnivåer vid avstånden som används i tabell 5.1 SÄIFS 2000:4

Avstånd	5:e percentilen	50:e percentilen	95:e percentilen
3 m	8 kW/m ²	13 kW/m ²	20 kW/m ²
6 m	2,6 kW/m ²	5,2 kW/m ²	8,7 kW/m ²
12 m	0,7 kW/m ²	1,6 kW/m ²	3 kW/m ²
25 m	0,2 kW/m ²	0,4 kW/m ²	0,7 kW/m ²

Tabell 5 ovan redovisar strålningsnivåer vid de avstånd som används i tabell 5.1 i SÄIFS 2000:4

Tabell 6. Avstånd till specifika strålningsnivåer vid flänsbrott

Strålningsnivåer	Avstånd (95:e percentilen)
30 kW/m ²	2 m
15 kW/m ²	4,5 m
5 kW/m ²	9 m
2,5 kW/m ²	13 m

I Tabell 6 presenteras avståndet till strålningsnivåer som vanligen används som skadekriterier vid deterministisk riskvärdering. Tabellen visar de avstånd där man med 95 procents säkerhet kan säga att strålningen understiger skadekriterierna. Jetflammans längd vid flänsbrottet är mellan 4-9 meter (5:e-95:e percentilen).

7.4 Fordonsbrand

För avstånd mellan fordon och gasanläggningen är det dimensionerande scenariot fordonsbrand i buss eller lastbil utan farligt gods. En tänkbar bakgrund till detta scenario är att det inte är ovanligt med fordonsgasanläggningar. Inne på dessa områden är hastigheten begränsad och därför är utgångspunkten för scenariot att branden uppstår på grund av ett tekniskt fel och inte efter en trafikolycka. Därmed antas branden endast ske i fasta material. Med tanke på att lastbilen kan frakta avsevärt mycket större mängder brännbart material skulle lastbilsbrand kunna leda till ett kraftigare brandförlopp än bussbranden. Denna rapport avgränsar sig till att endast beräkna strålningsnivåerna för en bussbrand, då detta är ett mer väldokumenterat scenario och därmed ger säkrare resultat.

Beräkningarna utgår från ett fullskaleförsök gjort på SP, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (Hammarström, m.fl., 2008). Vid försöken var temperaturen i bussen 600-900°C, försöken avbröts dock innan maxeffekt uppnått. Strålningsberäkningarna har utgått från att temperaturen vid ena långsidan av bussen och 1 m ovan bussen (flammar som slår upp ovan bussen) är 900°C. För att beräkna strålningen har, som i övriga beräkningar, Ekvation 1 (FOA, 1998) använts. Synfaktorn har beräknats för en yta motsvarande 13m×5m (bussens långsida och flammar ovan bussen) på ett avstånd på 8 m från ytan. Resultaten visar att strålningsnivåerna för en bussbrand mot ett skyddsobjekt är mellan 10 – 25 kW/m² efter 20 min brand. För fullständiga beräkningar se Bilaga E.

7.5 Brand i material med hög brandbelastning

I kommentarerna till 5:e kapitlet i SÄIFS 2000:4 preciseras några exempel på material med stor brandbelastning: cistern med brandfarlig vätska, pallager, däcklager. För att få en uppfattning om konsekvenserna av brand i material med hög brandbelastning beräknas strålningsnivåerna från en brand i brandfarlig vätska.

Beräkningarna utgår från ett kraftigt läckage från en cistern med 100 m³ heptan. Valet av bränsle för beräkningarna har liten verklighetsanknytning. Heptan har dock en högre massavbrinningshastighet än de mer vanligen förekommande bränslena vilket innebär att beräkningarna leder till en konservativ bedömning. Cisternen är invallad med en mur som är 1m hög, 10m bred och 10 m. Läckaget antänds och bildar en pölbrand innanför invallningen. Strålningsintensiteten har beräknats enligt be-

räkningsmetodik i FOA (1998). Fullständiga beräkningar finns tillgängliga i Bilaga F. Nedan presenteras resultaten.

Tabell 7. Strålningsnivåerna vid specifika avstånd från pölbranden.

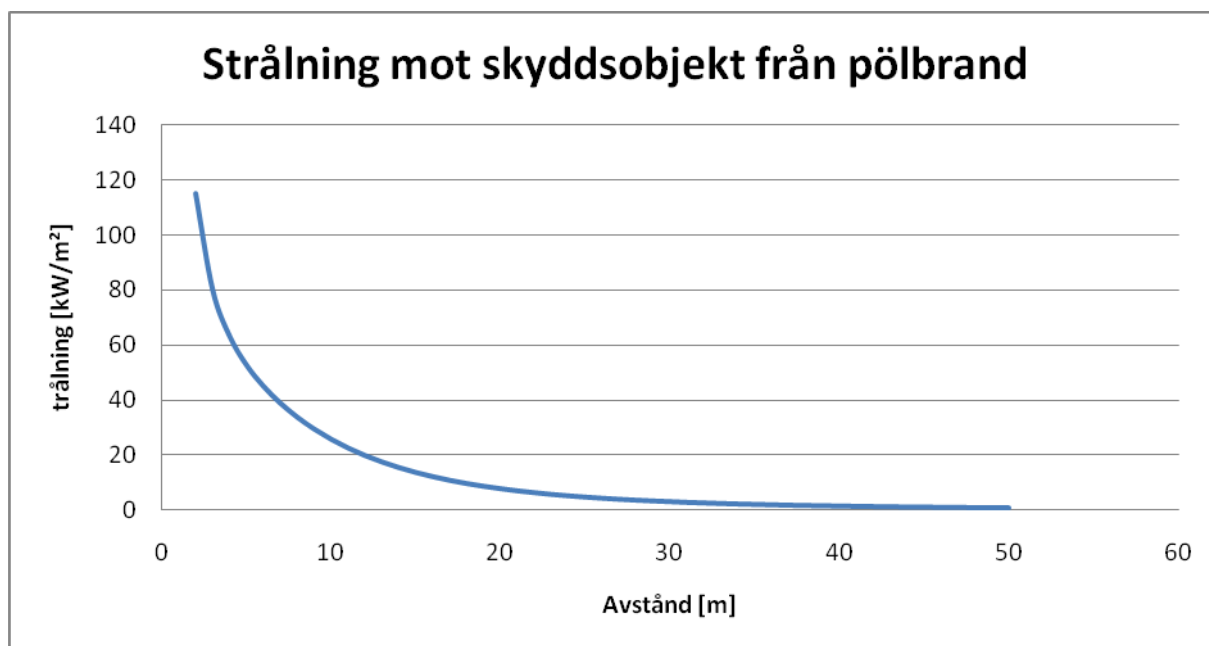
Avstånd	Värmestrålning
6 m	45 kW/m ²
12 m	20 kW/m ²
25 m	5 kW/m ²
50 m	0.86 kW/m ²

I Tabell 7 presenteras strålningsnivåer vid de avstånd som används i tabell 5.1 i SÄIFS 2000:4.

Tabell 8. Avstånd till specifika strålningsnivåer.

Maximal värmestrålningsnivå	Avstånd
45 kW/m ²	6m
30 kW/m ²	9m
15 kW/m ²	15m
5 kW/m ²	24m

I Tabell 8 presenteras avståndet till specifika strålningsnivåer. Nedan i Figur 14 är värmestrålningen plottad som funktion av avstånd från pölbranden.



Figur 14. Värmestrålning som funktion av avstånd för en pölbrand.

7.6 Slutsats

Nu har konsekvensberäkningar redovisats för samtliga av MSB dimensionerande scenarier. Nedan presenteras en sammanställd lista över vilka strålningsnivåer som kan förväntas för varje tabellscenari, se Tabell 9 nedan.

Skadekriterierna som bestämdes i kapitel 6 var:

- Cisternen får maximalt utsättas för 45 kW/m² i max 30 min
- Egendom max 15 kW/m² i 30 min.

Tabell 5.1 Avstånd

	Byggnad i allmänhet, antändbart material eller brandfarlig verksamhet		Material med stor brandbelastning		Utgång från svårutrymda lokaler	Pump, förångare, mätarskåp	Fordon	Tankfordonets slanganslutningspunkt
	Utom anläggning meter	Inom anläggning meter	Utom anläggning meter	Inom anläggning meter				
Cistern 10 – 100 m ³	1 25*	3 12*	5 50*	7 25*	9 100*	11 3*	13 8*	15 12*
≤ 10 m ³	2 6*	4 6*	6 25*	8 12*	10 100*	12 3*	14 8*	16 12*
Tankfordonets slanganslutningspunkt	17 25*	18 12*	19 50*	20 25*	21 100*	22 3**		
Pump, förångare, mätarskåp		23 3**		24 12*		25 3**		26 3**
Torr gasklocka								

* Med EI 60-avskiljning eller högre minskas avstånden till hälften.

** Med EI 60-avskiljning eller högre behövs inget avstånd.

Figur 15. Tabell 5.1 med numrerade tabellscenarier.

Tabell 9. Sammanställning av resultaten från konsekvensberäkningarna.

Tabellscenari	Beräknad strålningsnivå [kW/m ²]	Tabellscenari	Beräknad strålningsnivå [kW/m ²]
1	1.4-8.5	14	10.9-25.6
2	13.5-38.8	15	7.0-10.0
3	5.0-21	16	7.0-10.0
4	13.5-38.8	17	2.0-3.0
5	0.86	18	7.0-10.0
6	5	19	<2.0
7	5	20	2.0-3.0
8	20	21	-
9	-	22	8-20
10	-	23	18-23
11	8-20	24	18-23
12	8-20	25	18-23
13	10.9-25.5	26	39-50

Följande slutsatser kan dras från beräkningarna:

- Från tabellscenario 1-8 och 11-16 kan man se att cisternen maximalt utsätts för strålningsnivåer på ca 40 kW/m^2 ($38,8 \text{ kW/m}^2$).
- Från scenario 17-20, 23 och 24 kan man se att byggnader och material med hög brandbelastning inte utsätts för strålningsnivåer över 23 kW/m^2 .
- Den högsta beräknade strålningsnivån återfinns i tabellscenario 26, där pumpar, flänsar eller mätarskåp utsätts mellan $36-50 \text{ kW/m}^2$ vid ett slangbrott.
- Det är endast egendom som utsätts för högre strålning än de skadekriterier som presenterades i kapitel 6.
- I flera av tabellscenarierna understiger strålningsnivåerna de skadekriterier som presenteras i kapitel 6.
- En jetflamma från ett slangbrott kan bli mellan 16-21 m. Det kortaste avståndet i tabell 5.1 där slangbrott är det dimensionerande brandscenariot är 12 m. Detta innebär att flammen skulle kunna träffa skyddsobjektet.

Baserat på denna undersökning kan man säga att avstånden till tabell 5.1 bör anses säkra med avseende på de skadekriterier som författaren diskuterat i kapitel 6. Utöver det kan man säga att MSB accepterat strålningsnivåer upp till ca 40 kW/m^2 mot en gascistern och 23 kW/m^2 mot egendom.

7.7 Diskussion och analys

I detta kapitel har författaren återskapat de dimensionerande brandscenarierna som MSB använt sig av när de bestämde avstånden i Tabell 5.1, se Figur 15. De återskapade beräkningarna har använts för att bestämma vilka konsekvenser som kan förväntas om avstånden i Tabell 5.1 används, se Tabell 9. Förhoppningen med undersökningen var att resultaten skulle vara entydiga och visa vilken värme-strålningsnivå som MSB accepterat mot en gascistern eller byggnad när avstånden i Tabell 5.1 dimensionerades. Resultaten som presenterats i Tabell 9 är dock inte tillräckligt entydiga för att kunna dra sådana slutsatser. Alltså bidrar inte denna undersökning till att svara på frågeställning 2, hur kan ett kvantitativt funktionsbaserat svar på vad som är ett betryggande avstånd formuleras?

Resultaten blir inte mer precisa än de ingångsvärden som finns tillgängliga och för dessa beräkningar var ingångsvärden varit väldigt översiktliga. Detta kan vara en förklaring till att resultaten fått sådan spridning. En annan kan vara att avstånden i Tabell 5.1, är baserade både på beräkningar och på schablonmässiga antaganden. De schablonmässiga antagandena kan vara mer eller mindre konservativa och på så vis skapa olika skyddsnivå för olika tabellscenarier. Detta skulle då kunna leda till att resultaten får stor spridning. Även om det finns potentiella felkällor som skulle kunna förklara resultatens spridning till viss del, är spridningen så stor att MSB:s beräkningsmetodik måste ifrågasättas. Hur MSB gjort utreds inte vidare i denna rapport, men vid en revidering av föreskrifterna bör beräkningsmetodik och antagande tydligt dokumenteras.

Även om denna undersökning inte gav önskat resultat visar den vilka konsekvenser som kan förväntas om avstånden i Tabell 5.1 används. Jämförs konsekvenserna med de skadekriterier som presenterades i kapitel 6 visar det att en hög skyddsnivå uppnås om Tabell 5.1 används. Nivån är så väl tilltagen att man ur ett kostnad/nyttoperspektiv kan diskutera dess rimlighet. Beräkningarna visar också att det finns goda marginaler för att göra alternativa utformningar i en verksamhet, där till exempel kortare avstånd kan accepteras.

8 Slutsats och svar på frågeställningar

I kapitel 3 till 6 har nu begreppet betryggande diskuterats. Rapportens syfte var att undersöka hur man ska tolka begreppet *betryggande* i Sprängämnesinspektionens författningssamling samt hur ett betryggande avstånd kan verifieras vid en riskutredning. För att uppnå syftet valde författaren dessa två frågeställningar:

1. Hur används begreppet betryggande i Sprängämnesinspektionens författningssamling för att tillse att det finns ett acceptabelt skydd mot brand och explosion?
2. Hur kan ett kvantitativt funktionsbaserat svar på vad som är ett betryggande avstånd formuleras?

I det här kapitlet besvaras dessa frågeställningar. Respektive frågeställning kommer att tilldelas varsitt avsnitt i detta kapitel. På följande sätt kommer svaren att presenteras:

I *Avsnitt 8.1* besvaras hur begreppet betryggande används i Sprängämnesinspektionens författningssamling. Svaret kommer att utgå från de diskussioner som förts i kapitel 3 och 4 och delvis i kapitel 5.

I *Avsnitt 8.2* formuleras ett kvantitativt funktionsbaserat svar på vad som är ett betryggande avstånd. Svaret utgår från de diskussioner som förts i kapitel 5 och 6.

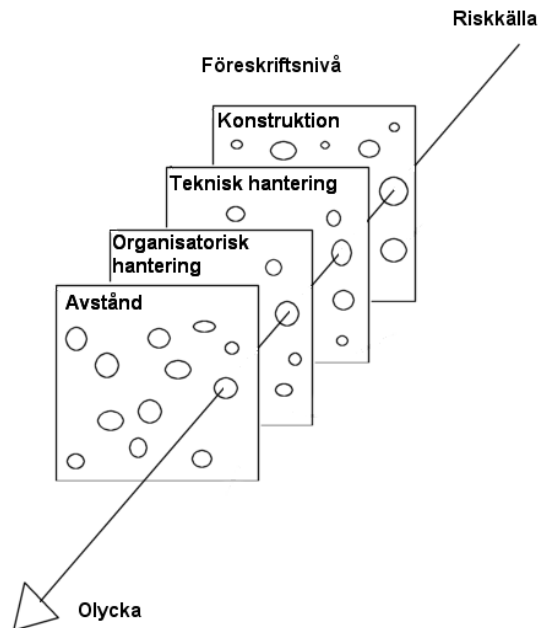
8.1 Begreppet betryggande

I kapitel 3 undersöktes Lagen om brandfarliga och explosiva varor samt föreskrifter för hantering av brandfarliga vätskor och gaser. Detta gjordes dels för att få en bättre förståelse för hur skyddet mot brand och explosion är uppbyggt och dels för att få förståelse för hur begreppet betryggande används i föreskrifterna.

Lagen om brandfarliga och explosiva varor ställer fem krav på den som hanterar brandfarliga vätskor och gaser. Kraven realiseras mer praktiskt i de föreskrifter som gäller för hantering av brandfarliga vätskor och gaser. När föreskrifterna sammanfattats visar det sig att en övervägande del av kraven i föreskrifterna var tekniska säkerhetskrav, till exempel ventilation, underlag för cisterner, material och konstruktion. De organisatoriska säkerhetskraven var färre och några exempel var krav på informationsanslag, kunskap om kemikalierna samt handlingsprogram och utredning av verksamhetens risker. Ur sammanfattningarna såg författaren också ett mönster i var krav på betryggande säkerhet ställdes. Detta gjordes för följande delar av verksamheten:

- *Hantering (Teknisk och Organisatorisk)*
- *Konstruktion*
- *Avstånd*

I kapitel 4 presenterades sedan Reasons (1997) Schweizerostmodell. Genom att tillämpa modellen och beskriva kraven på teknisk hantering, organisatorisk hantering, konstruktion och avstånd som skyddsbarriärer visualiserades hur föreskrifterna bygger upp skyddet mot brand och explosion, se Figur 16.



Figur 16. Schweizerostmodellen tillämpad på LBE och dess föreskrifter för brandfarliga vätskor och gaser.

I kapitel 4 presenterades även vilka skyddsfunktioner Reason (1997) anser att barriärerna ska uppfylla. Utifrån de krav som ställdes i föreskrifterna diskuterades då i kapitel 4 vilka av dessa skyddsfunktioner som barriärerna teknisk hantering, organisatorisk hantering, konstruktion och avstånd uppfyllde. Författaren konstaterade att dessa barriärer tillsammans uppfyller alla de skyddsfunktioner som, enligt Reason (1997), en verksamhet behöver. Nedan presenteras vilka skyddsfunktioner som respektive barriär uppfyller.

Konstruktion

- Utgöra fysisk barriär mellan riskkälla (brandfarlig gas/vätska) och riskobjekt (människa, miljö, egendom).

Teknisk hantering

- Utgöra ett stöd för säker styrning/hantering av verksamheten.
- Utgöra fysisk barriär mellan riskkällan (brandfarlig gas) och riskobjektet.
- Innesluta och eliminera energi som passerat de fysiska barriärerna.
- Larma vid hotande olycka.
- Återföra systemet till ett säkert tillstånd om det hamnat utanför en säker zon.

Organisatorisk hantering

- Öka personalens och omgivningens förståelse för och medvetenheten om faror i verksamheten.
- Skapa möjligheter för personal och allmänhet att fly undan fara.
- Återföra systemet i ett säkert tillstånd om det hamnat utanför en säker zon.

Avstånd

- Skapa möjligheter för personal och allmänhet att fly undan fara.
- Att innesluta och eliminera energin om den passerat de fysiska barriärerna.

I inledningen till detta kapitel beskrevs vilka avsnitt som svarar på respektive frågeställning. För att svara på frågeställningen som behandlas i detta avsnitt används kapitel 3, 4 och kapitel 5. De slutsatser som drogs i kapitel 3 och 4 har nu presenterats ovan. Från kapitel 5 presenteras nu den definition av begreppet betryggande som framkom under samtal med Lars Synnerholm på MSB. På frågan vad som avses med begreppet betryggande var svaret följande:

Begreppet betryggande innebär att man har en teknisk eller organisatorisk lösning för att skydda sig mot brand och explosion, som är tagen så långt som man rimligen kan kräva, så att det under normala och tänkbara påfrestningar inte finns någon orsak till oro för skada på liv, hälsa, miljö och egendom¹⁰.

Om definitionen delas upp i tre separata delar blir den lite mer översiktlig. Begreppet betryggande har följande innebörd:

1. Att det finns tekniska eller organisatoriska lösningar som skyddar mot brand och explosion.
2. Att lösningarna är tagna så långt som man rimligen kan kräva.
3. Att det totala skyddet är så bra att man under normala och tänkbara påfrestningar inte behöver oroa sig för skada på liv, hälsa, miljö och egendom.

Om punkt 1 – 3 kopplas till det som presenterades i kapitel 3, 4 och 5 kan följande förtydliganden göras:

- Punkt 1 innebär att det finns en konstruktions-, hanterings- och/eller avståndsbarriär.
- Punkt 2 innebär att barriärens skyddsfunktioner uppfyller de skydd som de är avsedda att göra. Se de skyddsfunktioner som presenterades på föregående sida.
- Punkt 3 innebär att barriären eller barriärerna tillsammans besitter de skyddsfunktioner som behövs med avseende på risken och skyddsobjektet. Risknivån kan bedömas utifrån ett värsta "troliga" scenario.

Sammanfattningsvis har författaren valt att kombinera slutsatserna från kapitel 3 och 4 med MSB:s definition på betryggande för att svara på första frågeställningen. Nedan presenteras först frågeställning och sedan ett svar.

Frågeställningen är:

- *Hur används begreppet betryggande i Sprängämnesinspektionens författningssamling för att tillse att det finns ett acceptabelt skydd mot brand och explosion?*

Svaret är att begreppet betryggande används i samband med krav på verksamhetens hantering av brandfarlig gas eller vätska, på konstruktioner för brandfarlig gas eller vätska och på avstånd mellan omgivande objekt och den hanterade gasen eller vätskan. Hantering, konstruktion och avstånd kan ses som verksamhetens skyddsbarriärer mot brand och explosion. Föreskrifterna ställer krav på att barriärerna var och en ska vara betryggande för att hela verksamheten ska anses ha ett acceptabelt skydd mot brand och explosion.

¹⁰Lars Synnerholm, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

Att en barriär anses betryggande innebär att det finns tekniska eller organisatoriska lösningar (skyddsåtgärder) som uppfyller de skyddsfunktioner de är avsedda för under normala och tänkbara påfrestningar. Utifrån samma påfrestningar ska barriärernas lösningar (skyddsåtgärder) tillsammans uppfylla en säkerhetsnivå som är så hög att man inte behöver oroa sig för skada på liv, hälsa, miljö och egendom.

8.2 Ett betryggande avstånd

Ett av rapportens syften är att diskutera hur man i en riskutredning ska kunna verifiera vad som är ett betryggande avstånd. För att uppnå syftet valdes följande frågeställning:

- Hur kan ett kvantitativt funktionsbaserat svar på vad som är ett betryggande avstånd formuleras?

För att ge ett svar på detta valde författaren att specifikt titta på vad som är ett betryggande avstånd vid hantering av brandfarlig gas. Regler för detta hittar man främst i SÄIFS 2000:4 om cisterner, berg-rum, gasklockor och rörledningar för brandfarlig gas. I 5:e kapitlet i rapporten undersöktes de krav som SÄIFS 2000:4 ställer på ett betryggande avstånd. Av sex krav avgränsades undersökning till följande fyra krav:

- *Avståndet ska begränsa risken för brand och explosion i anläggningen vid brand i omgivningen,*
- *Avståndet ska begränsa risken för brandspridning i anläggningen,*
- *Avståndet ska begränsa risken för brand i omgivningen vid brand i anläggningen,*
- *Avståndet ska göra det möjligt att utrymma området kring anläggningen vid brand innan kritiska situationer uppstår,*

Alla kraven handlar om att säkerställa att en brand inte skadar cisternen, egendom eller människor. Skadorna från brandpåverkan handlar i slutändan om hur mycket värmestrålning som träffar skyddsobjektet. Härifrån konstaterade författaren att svaret på frågeställningen borde kunna formuleras med ett temperatur- eller värmestrålningskriterium.

I kapitel 5 undersöktes även hur MSB gjort när de bestämde schablonavstånden i tabell 5.1 (SÄIFS 2000:4). Undersökningen utgick från samtal som författaren haft med en tjänsteman på MSB, Lars Synnerholm. Från undersökningen framkom information om att avstånden dimensionerats utifrån fyra brandscenarier och mot följande skadekriterier:

- *Cisternen får inte förlora sin tryckbärande förmåga vid en brand.*
- *Människor och egendom i anläggningens närhet får inte skadas vid en brand.*
- *MSB har beaktat att Boverket utgår från att trä antänder efter 30 min vid 15 kW/m².*

I kapitel 6 undersöktes hur första och andra skadekriteriet skulle omformuleras till ett kvantitativt krav. Undersökningen visade att manteln hos en gascistern i konstruktionsstål maximalt får bli 500°C. Genom relativt enkla handberäkningar visade författaren att cisternen då kunde utsättas för 45 kW/m² i max 30 min. Människor i en utrymningssituation får maximalt utsättas för 5 kW/m². Egendom får maximalt utsättas för 15 kW/m², alternativt en strålningsnivå som inte antänder eller leder till orimlig skada inom 30 min. Ett kvantitativt funktionsbaserat svar på vad som är ett betryggande avstånd kan därför uttryckas med följande två krav:

Avståndet ska vara så stort mellan cistern och omgivande objekt att brand i omgivningen inte leder till att cisternen utsätts för strålningsnivåer över 45 kW/m² i mer än 30 min och/eller cisternens manteltemperatur överstiger 500°C.

Avståndet ska vara så stort mellan cistern och omgivning att brand i anläggningen inte leder till strålningsnivåer mot människor och egendom över 5 respektive 15 kW/m², alternativt att utredning visar att högre strålningsnivåer kan accepteras.

9 Diskussion

I denna del kommer projektets arbetsprocess och rapportens frågeställning, metodval och slutsatser att diskuteras. Syftet är att diskutera vad som är bra och vad som kunde gjorts bättre.

Rapporten har diskuterat olika aspekter av begreppet betryggande. Ramböll AB har bidragit till frågeställningen genom att påtala att det finns ett behov av att förtydliga hur begreppet *betryggande avstånd*, i SÄIFS 2000:4 ska tolkas vid riskutredning. För att tillfredsställa behovet formulerade författaren frågeställningar som syftade till att i stort förtydliga begreppet *betryggande* samt mer specifikt svara på vad som är ett betryggande avstånd.

För att mer generellt kunna svara på vad begreppet betryggande innebär började författaren med en lag- och litteraturstudie. Samtidigt inleddes även samtal med Lars Synnerholm på MSB, som skrivit SÄIFS 2000:4, för att utreda hur de gjorde när de bestämde schablonavstånden i tabell 5.1, se Figur 4. De inledande undersökningarna var breda och omfattande. Författaren gick förutsättningslöst in för att ta fram ett praktiskt svar på frågeställningarna. Resultatet av undersökningarna var en relativt omfattande sammanfattning och analys av hur begreppet betryggande används i ett antal av SÄI:s föreskrifter. Utöver detta resulterade samtalen med Lars Synnerholm i en redogörelse för hur MSB dimensionerat schablonavstånden i tabell 5.1. Styrkan med dessa är att de gett en god grund till hur begreppet betryggande används i SÄI:s författningssamling och hur tabellen ska tolkas. Nackdelen är att de baseras uteslutande på fakta från MSB. Detta gör troligtvis författarens tolkning av begreppet mindre nyanserad.

Lag- och litteraturstudien samt samtalen med MSB utgör grundstommen till denna rapport. Förenklat kan man säga att det främst är lag- och litteraturstudien som ligger till grund för svaret på hur begreppet betryggande används och kan tolkas. Samtalen med Lars Synnerholm samt de undersökningar som följde av dem ligger istället till grund för svaren på vad som är ett betryggande avstånd. I efterhand anser författaren att lag- och litteraturstudien borde givits mindre utrymme. Istället borde undersökningen gjorts bredare men ytligare. Begreppet betryggande borde undersökt i en kvalitativ studie då det handlar om att tolka en formulering i en föreskrift. Tillexempel skulle intervjuer kunnat genomföras. Personer intressanta för dessa intervjuer hade varit tjänstemän på andra myndigheter än MSB, jurister och säkerhetsansvariga inom branschorganisationer som AGA och Energigas Sverige samt Räddningstjänsten. Att sammanställa hur begreppet tolkas av flera samhällsintressenter tänker sig författaren skulle ha kunnat ackumulera ett mer praktiskt tillämpbart svar. Hade det visat sig att så inte var fallet torde det ha visat att begreppet generellt är väldigt svårtillämpat och i behov av revidering.

Samtalen med Lars Synnerholm och undersökningen av hur schablonavstånden i tabell 5.1 dimensionerats anser författaren givit en god grund för att utreda vad som är ett betryggande avstånd. Det som skulle gjort denna undersökning mer vetenskaplig är om den genomförts som intervju, med ett tydligt underlag. Samtalet som förts med Lars Synnerholm har istället genomfört mer likt en iterativ process där Lars redogjort för olika delar av tabell 5.1. Författaren har sedan tolkat och dragit slutsatser av redogörelsen och på nytt kontaktat Lars då svårigheter dykt upp.

De två undersökningarna som beskrivits ovan, lag- och litteraturstudien samt undersökningen av schablonavstånden i tabell 5.1, grenade upp sig till två parallella spår. Det ena spåret besvarade den första frågeställningen genom att slutsatserna från lag- och litteraturstudien kombinerades med en teoretisk olycksmodell. Det andra spåret, redogörelsen av hur MSB dimensionerat avstånden i tabell

5.1 mynnade ut i två nya undersökningar. Den första av dessa var en litteraturstudie för att undersöka hur stora strålningsnivåer som en gascistern, en människa och egendom klarar. Den andra var att återskapa de dimensionerande brandscenarierna som MSB använt sig av för att bestämma avstånden i tabell 5.1. Båda dessa undersökningar gjordes för att besvara den andra frågeställningen i rapporten.

I det första spåret, den inledande lag- och litteraturstudien, användes Reasons (1997) schweizerostmodell för att beskriva hur begreppet betryggande används i SÄI:s författningssamling. Tillämpningen av modellen anser författaren ger ett tydligt och lättöverskådligt svar på första frågeställningen. Författaren kan nu i efterhand se att svaret fortfarande lämnar mycket utrymme för tolkning, mer än författaren tänkt sig när projektet startade. Även om svaret fortfarande kräver viss tolkning så är det ett förtydligande av begreppet jämfört med den information man kan hitta i föreskrifterna. Därmed är den också till värde för någon som är intresserad av hur begreppet används.

Det andra spåret, där ytterligare en litteraturstudie genomförts, anser författaren leder till det mest konkreta och greppbara svaret i denna rapport. Här erhålls nämligen svaret på hur man kan uttrycka ett betryggande avstånd på ett kvantitativt och funktionsbaserat sätt. Svaret är direkt tillämpbart vid en riskutredning för att värdera om riskerna kan anses acceptabla eller ej. Nackdelen med undersökningen är att svaret endast gäller för en gascistern i konstruktionsstål. Här hade det varit intressant att undersöka gascisterner i andra material, till exempel aluminium eller kompositmaterial. Ytterligare en intressant undersökning hade varit att genom beräkningar undersöka hur gascisternens tryckbärande förmåga påverkas vid brand. Istället har författaren, på grund av tidsbrist, förlitat sig på den litteratur och teori som finns inom ämnet. Detta spår mynnade också ut i beräkningar för att bestämma vilka konsekvenser som MSB ansett är acceptabla när de dimensionerade avståndet i tabell 5.1. Utifrån dessa hoppades författaren implicit kunna besvara vilka konsekvenser som kan accepteras vid ett betryggande avstånd. Av flera skäl blev inte utfallet det önskade. En orsak var att resultaten fick en väldigt stor spridning. Trots detta anser författaren att undersökningen har stort värde. Denna visar, givet MSB:s dimensionerande scenarier, att det finns marginaler och därmed möjlighet att genom riskutredning kunna bygga anläggningar med andra avstånd än dem som används i tabell 5.1.

I inledningsfasen till detta projekt var avsikten att endast undersöka vad som avsågs med ett betryggande avstånd i samband med hantering av brandfarlig gas. Frågeställningen vidgades sedan till att även omfatta en övergripande undersökning av begreppet betryggande. En avgränsning i syfte och mål hade troligtvis givit mer djupgående och praktiskt tillämpbara svar.

I denna rapport har författaren arbetat med SÄI:s författningar för brandfarlig gas eller vätska. I rapporten har SÄIFS 2000:4 granskats lite närmare än de andra. Under projektets gång har författaren fått uppfattningen att SÄIFS 2000:4 de senaste 10 åren varit ett väl fungerande regelverk. Rapporten visar också att de avstånd som är avsedda att skydd omgivning och allmänheten vid hantering av brandfarlig gas leder till en väldigt god säkerhetsnivå. På senare tid har det dock dykt upp incitament för att frångå dessa avstånd och utforma anläggningar på alternativa sätt. Det är vid dessa tillfällen som det visat sig att regelverket varit oflexibelt och svårtolkat. Det som behövs är acceptanskriterier som går att tillämpa med vedertagna riskanalysmetoder. Denna rapport har bidragit till att ta fram sådana kriterier genom att förtydliga hur begreppet används i föreskrifterna samt presentera vilka skyddsfunktioner som behövs i en verksamhet. Vidare har författaren visat att det går att ta fram funktionsbaserade kriterier som går att verifiera i riskutredning.

Författaren hoppas att läsaren och Ramböll AB nu fått en bättre förståelse för begreppet betryg-
gande samt att slutsatserna i denna rapport ska kunna komma till gagn för den som eventuellt ska
formulera mer funktionsbaserade regler för hantering av brandfarlig vätska och gas.

10 Referenser

- AFS 1994:4. Tryckbärande anordningar, Stockholm: Arbetsmiljöverkets författningssamling
- AFS 1994:53. Enkla tryckkärl, Stockholm: Arbetsmiljöverkets författningssamling
- AFS 1995:5. Utrustning i explosionsfarlig miljö, Stockholm: Arbetsmiljöverkets författningssamling
- Boverkets Byggregler (BBR). (2008). Karlstad: Boverket
- Bengtson, S., Jönsson, R. & Frantzich, H. (2005). Brandskyddshandboken: en handbok för projektering av brandskydd i byggnader. Lund: Lunds tekniska högskola, Lunds universitet
- Cox, A.W., Lees, F.P. & Ang, M.L. (1990). Classification of hazardous locations. Rugby: Institution of Chemical Engineers.
- Ejvegård, R. (2009). Vetenskaplig metod. Lund: Studentlitteratur.
- ELSÄKFS 2004:1. Elsäkerhetsverkets föreskrifter om hur elektriska starkströmsanläggningar skall vara utförda samt allmänna råd om tillämpningen av dessa föreskrifter. Elsäkerhetsverket, Stockholm.
- Fischer, S. (red.) (1998). Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor: metoder för bedömning av risker. Umeå: Försvarets forskningsanstalt (FOA).
- Gårsjö, D. (2006). Brandpåverkan på cistern från cistern. Enheten för brandfarliga och explosiva varor, Räddningsverket, Karlstad.
- Hammarström, R., Axelsson, J., Försth, M., Johansson, P., Sundström, B., (2008). *Bus Fire Safety* (SP Report 2008:41). Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
- Reason, J.T. (1997). Managing the risks of organizational accidents. Aldershot, Hants, Ashgate.
- Lag om brandfarliga och explosiva varor.* (1987). (Regeringens proposition (1987)/88:101). Stockholm: Försvarsdepartementet.
- Mannan, S. & Lees, F.P. (red.) (2005). Lees' loss prevention in the process industries: hazard identification, assessment and control. Vol. 1. (3. ed.) Amsterdam: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- MSB 1, (2009), Tillståndshantering, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (Elektronisk). Tillgänglig: <http://www.msb.se/Upload/Forebyggande/brandfarlig_explosiv/Tillstand_%20brandfarlig_vara.pdf>: Hämtad 2010-10-15
- Ny lag om brandfarliga och explosiva varor.* (2009). (Regeringens proposition 2009/10:203). Stockholm: Försvarsdepartementet.
- Raj, P.K. (2005). Exposure of liquefied gas container to an external fire. *Journal of Hazardous Material*, Vol. 122, 37 – 49.
- Raj, P.K. (2008). Field tests on human tolerance to (LNG) fire radiant heat exposure, and attenuation effects of the clothing and other objects. *Journal of Hazardous Material*, Vol. 157, p 247 – 259.

SFPE, 2002. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, The National Fire Protection Association, Quincy, MA, CY, 2002

SMHI (2008) Klimatdata – Malmö. Elektronisk: (Tillgänglig)

<<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/dataserier-for-observationsstationer-1961-2008-1.7375>> Hämtad 2010-12-15

SFS 1977:1160. Arbetsmiljölagen, Stockholm: Justitiedepartementet

SFS 2010:1011. Lagen om brandfarliga och explosiva varor, Stockholm: Justitiedepartementet

SFS 2010:1075. Förordning om brandfarliga och explosiva varor, Stockholm: Justitiedepartementet

Svenska elektriska kommissionen (2004). Klassning av explosionsfarliga områden: områden med explosiv gasatmosfär. Kista: Svenska elektriska kommissionen (SEK).

Svenska gasföreningen (1994). Energigasnormer: EGN 94. (Remissutg.) Stockholm: Svenska energigasföreningen.

Svenska Standard 421 08 22 och jordning görs enligt SS Åskskydd för byggnader.

Svensk Standard för Installation och utrustning för flytande naturgas (SS-EN 1473)

SÄIFS 1997:9. Cisterner, rörledningar mm för brandfarliga vätskor, Sprängämnesinspektionens författningssamling

SÄIFS 2000:2. Hantering av brandfarliga vätskor, Sprängämnesinspektionens författningssamling

SÄIFS 2000:4. Cisterner, gasklockor, bergtrum och rörledningar för brandfarlig gas, Sprängämnesinspektionens författningssamling

SÄIFS 1998:7. Brandfarlig gas i lös behållare, Sprängämnesinspektionens författningssamling

SÄIFS 1997:9. Öppna cisterner och rörledningar m.m. för brandfarliga vätskor, Sprängämnesinspektionens författningssamling

Muntliga källor

Tord Johansson (telefonsamtal 2010-11-20), Statoil

Lars Synnerholm (möte och telefonsamtal hösten 2010), Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

Jan Mårtensson (telefonsamtal 2010-11-14), Arbetsmiljöverket (AMV)

Berit Andersson (hösten 2010), Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet

Bilaga A - Bakomliggande regelverk

Bakgrunden till den problemformulering som denna rapport tar upp, ligger framförallt i SÄI:s föreskrifter om brandfarliga vätskor och gaser. Under Sprängämnesinspektionens tid som förvaltningsmyndighet för brandfarliga och explosiva varor skrevs flera föreskrifter där begreppet betryggande används som acceptanskriterium. För att få en heltäckande bild av begreppets användning och innebörd har flera av SÄI:s föreskrifter undersökts. Eftersom att dessa föreskrifter är skrivna med Lagen om brandfarliga och explosiva varor (LBE) som grund har även denna undersöks. Följande författningar har studerats:

- Lagen (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor.
- Förordning (2010:1075) om brandfarliga och explosiva varor.
- Cisterner, rörledningar mm för brandfarliga vätskor, SÄIFS 1997:9.
- Hantering av brandfarliga vätskor, SÄIFS 2000:2.
- Cisterner, gasklockor, bergrum och rörledningar för brandfarlig gas, SÄIFS 2000:4.
- Brandfarlig gas i lös behållare, SÄIFS 1998:7.
- Öppna cisterner och rörledningar m.m. för brandfarliga vätskor SÄIFS 1997:9

Urvalet har baserats på ett antal av de föreskrifter där begreppet betryggande används.

A.1 Lagen om brandfarliga och explosiva varor

Lagen (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor, LBE, är disponerad på följande sätt; första till och med femte paragraf beskriver tillämpningsområde, syfte, definitioner av brandfarliga och explosiva varor, hantering, import och överföring. Sjätte till och med femtonde paragrafen beskriver krav på den som hanterar, importerar eller överför brandfarliga eller explosiva varor. Därefter följer bestämmelser om tillstånd, tillsyn, kommunal organisation, avgifter, tystnadsplikt, ansvar och överklagande. Primära syftet här är att utreda och förtydliga vilka säkerhetskrav som ligger bakom begreppet *betryggande*. Därför kommer främst utvalda paragrafer mellan första och femtonde att vara av intresse.

Den första september 2010 trädde den nya lagen (SFS 2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor ikraft. I flera avseenden ska den nya lagen tolkas som den gamla och därför används även regeringens proposition till Lag (SFS 1987:868) om brandfarliga och explosiva varor (gamla LBE) för att tolka krav som nya LBE ställer.

A.1.1 Tillämpning, syfte och definition

Lagen tillämpas vid hantering, import och överföring av brandfarliga och explosiva varor. I denna rapport diskuteras främst hantering av brandfarliga varor, närmare bestämt vätskor och gaser. I övrigt tillämpas lagen på sådana förberedande åtgärder som behövs med avseende på brand och explosionsrisken eller konsekvenser av brand och explosion. Detta tolkas som att man med LBE som grund kan ställa krav på åtgärder som minskar sannolikheten för brand och explosion samt konsekvenser av brand och explosion (Prop. 2009/10:203).

Lagens syfte är att hindra, förebygga och begränsa olyckor och skador på liv, hälsa, miljö eller egendom som kan uppkomma genom brand eller explosion. Den är alltså både olycksförebyggande och skadeförebyggande (Prop. 1987/88:101).

I rapporten är det uteslutande hantering av brandfarliga vätskor och gaser som kommer att behandlas och med hantering avser LBE: *”tillverkning, bearbetning, behandling, förpackning, förvaring, transport, användning, omhändertagande, återvinning, destruktion, saluförande, underhåll, överlämning och därmed jämförliga förfaranden”*. (SFS 2010:1011)

A.1.2 Krav på den som hanterar brandfarliga och explosiva varor

Den som hanterar brandfarliga och explosiva varor är skyldig att uppfylla vissa krav med tanke på brand och explosionsrisken. I föreskrifter till denna lag används begreppet *betryggande* som ett säkerhetskriterium, begreppet antas i förlängningen vara ett samlingsbegrepp för de krav som ställs av LBE. Därför presenteras och förtydligas nedan LBE:s krav på en verksamhetsutövare, dock avser inte denna rapport att beröra verksamheter som saluför eller förpackar brandfarliga vätskor och gaser. Detta innebär att endast sjätte till och med tionde paragrafen diskuteras. Nedan följer de i turordning, först citeras kravet ifrån lagen sen diskuteras innebörden kort .

Aktsamhetskrav

6 § Den som hanterar, överför eller importerar brandfarliga eller explosiva varor ska vidta de åtgärder och de försiktighetsmått som behövs för att hindra, förebygga och begränsa olyckor och skador på liv, hälsa, miljö eller egendom som kan uppkomma genom brand eller explosion orsakad av varorna samt för att förebygga obehörigt förfarande med varorna. (SFS 2010:1011).

Aktsamhetskravet är LBE:s grundläggande säkerhetskrav och gäller alla som befattar sig med brandfarliga och explosiva varor. Med åtgärder och försiktighetsmått menas att följa resten av alla kraven i LBE och de föreskrifter som meddelas av MSB. Utöver detta innebär aktsamhetskravet att en verksamhetsutövare ska förebygga obehörigt förfarande som till exempel stöld och sabotage. I rapporten kommer dock stöld och sabotage att uteslutas ur diskussionerna. (Prop. 1987/88:101; Prop. 2009/10:203)

Utredningskravet

7 § Den som bedriver tillståndspliktig verksamhet enligt denna lag ska se till att det finns tillfredsställande utredning om riskerna för olyckor och skador på liv, hälsa, miljö eller egendom som kan uppkomma genom brand eller explosion orsakad av brandfarliga eller explosiva varor samt om konsekvenserna av sådana händelser. (SFS 2010:1011).

Utredningskravet syftar till att klargöra brand- och explosionsriskerna som är kopplade till en viss verksamhet. Medvetenhet om verksamhetens risker är en förutsättning för att skyddsåtgärder ska kunna vidtas. Utredningens omfattning beror av verksamhetens storlek och vilka ämnen som hanteras. En utredning kan till exempel omfatta beskrivning, bedömning, analys, värdering av risker och konsekvenser. Exempel på en utredning som i det flesta anses tillräcklig, är den enligt andra kapitlet 4§ lagen om skydd mot olyckor som preciseras i Räddningsverkets författningssamling 2004:8. (Prop. 1987/88:101; Prop. 2009/10:203)

Kompetenskrav

8 § Den som bedriver tillståndspliktig verksamhet enligt denna lag ska ha den kompetens eller tillgång till den kompetens som behövs med hänsyn till verksamhetens omfattning och varornas egenskaper. (SFS 2010:1011).

Med kompetenskravet avses att den som bedriver en tillståndspliktig verksamhet enligt LBE måste ha viss kompetens eller tillgång till kompetens med avseende på brand- och explosionsriskerna. Omfattningen av kompetensen är också direkt kopplade till hanterings omfattning. Exempel på kompetens är om varans egenskaper och hur den ska hanteras med avseende på brand och explosion. Att vara uppdaterad om forskning och teknisk utveckling som gäller för hanteringen av varan samt de nödvändiga skyddsåtgärder som är av betydelse för att skydda liv, hälsa, miljö och egendom. Med "tillgång till kompetens" menas till exempel att personal eller en föreståndare besitter nödvändig kompetens. (Prop. 1987/88:101; Prop. 2009/10:203)

Föreståndarkrav

9 § Den som bedriver tillståndspliktig verksamhet enligt denna lag ska utse en eller flera föreståndare för verksamheten. En föreståndare har till uppgift att verka för att verksamheten bedrivs enligt de aktsamhetskrav och med iakttagande av de övriga skyldigheter som följer av lagen eller föreskrifter som meddelats i anslutning till lagen. En tillståndshavare ska se till att en föreståndare ges de befohgheter och möjligheter i övrigt som behövs för att han eller hon ska kunna fullgöra sina uppgifter. (SFS 2010:1011).

Föreståndarkravet innebär att det ska finns någon som har tillräcklig sakkunskap i tekniska frågor och skyddsfrågor som är knutna till hanteringen. Föreståndarens uppgift är även att säkerställa att verksamheten följer LBE och regler som är skrivna med LBE som grund. Föreståndares utbildning, kompetens och praktiska erfarenheter ska vara lämpliga med avseende på hanteringen. (Prop. 1987/88:101; Prop. 2009/10:203)

Byggnads-, anläggnings- och anordningskrav

10 § Byggnader och andra anläggningar där brandfarliga eller explosiva varor hanteras samt anordningar för hantering av sådana varor ska vara inrättade på ett betryggande sätt med hänsyn till brand- och explosionsrisken samt konsekvenserna av en brand eller en explosion. De ska också vara placerade så att motsvarande krav uppfylls i förhållande till omgivningen. Detta gäller också områden med sådana byggnader, anläggningar och anordningar. (SFS 2010:1011).

Byggnads-, anläggnings- och anordningskravet innebär att verksamhetens byggnader, utrustning, maskiner, behållare och förvaringskärl ska vara inrättade så att de är betryggande med avseende på brand och explosion. Kravet innebär också att de geografiska förutsättningarna, till exempel höjdskillnader, ska bedömas med avseende på brand och explosionsrisker. Avståndet till omgivande bebyggelse, vägar eller andra anläggningar ska vara anpassat med hänsyn till hanterings innehåll eller omfattning. Detta innebär att placeringen av byggnader och anläggningar ska göras med både hänsyn till sannolikheten för brand och explosion samt med hänsyn till den bedömda konsekvensen av brand och explosion. Dessa krav kan begränsas av de säkerhetsåtgärder som MSB föreskriver, vilket innebär att MSB kan minska avstånden till omkringliggande bebyggelse om ett motsvarande skydd kan uppnås med andra skyddsåtgärder. (Prop. 1987/88:101; Prop. 2009/10:203)

A.2 Förordning om brandfarlig och explosiva varor

Här kommer enbart en förordning att diskuteras, förordningen (2010:1075) om brandfarliga och explosiva varor. Förordningen utser Myndigheten för samhällsskydd och beredskap till förvaltningsmyndighet över brandfarliga och explosiva varor. Myndigheten beslutar därmed i frågor som rör brandfarliga och explosiva varor. En förvaltningsmyndighet får även i uppdrag av regeringen att meddela föreskrifter, i MSB:s fall innebär det till exempel hur brandfarliga och explosiva varor ska klassificeras, hur LBE ska tolkas, om frågor som rör de krav som ställs på en tillståndspliktig verksamhetsutövare.

A.3 SÄIFS (2000:4) om cisterner, gasklockor, bergrum, motorgasanläggningar och rörledningar för brandfarlig gas

Föreskrifterna gäller för cisterner, gasklockor, bergrum, motorgasanläggningar och rörledningar med driftstryck under 4 bar. Det främsta tillämpningsområdet för föreskrifterna är dock cisterner. Därför kommer cistern att användas som exempel på tillämpningsområde i denna sammanfattning.

Föreskrifternas syfte är att skydda människa, hälsa, miljö eller egendom mot brand och explosion genom att ställa krav på cisternens konstruktion, hur den hanteras och avstånd till omkringliggande objekt.

A.3.1 Cisternens konstruktion

Med konstruktionskrav avses även cisternens material, utförande och tillhörande utrustning. Konstruktionskravet skall erbjuda ett betryggande skydd mot brand och explosion. För att tillgodose konstruktionskravet kan man till exempel använda Arbetarskyddsstyrelsens (ASS) föreskrifter AFS 1999:4 och AFS 1994:53 om tryckbärande anordningar. För bergrum, gasklockor, rörledningar och slangledningar gäller följande normer:

- *Bergrum*: Regler för bergrum finns i AFS 2003:2 om bergarbete.
- *Gasklockor*: Kraven för gasklockor anses uppfylla om ASS föreskrifter AFS 1994:4 och AFS 1994:53 uppfylls.
- *Rörledningar*: Kraven på rörledningar anses uppfylla om Svenska gasföreningens energigasnormer (EGN 94) är uppfyllda. Om rörledningar utformas och kontrolleras enligt AFS 1994:4 och AFS 1994:53 bör även detta ses som ett tillräckligt skydd mot brand och explosion.
- *Slangledningar*: Kraven på slangledningar anses uppfylla om dessa utformas och kontrolleras enligt AFS 1994:4 och AFS 1994:53.

ASS föreskrifter begränsas i detta sammanhang inte av att de endast gäller för arbetsplatser.

A.3.2 Hantering

De krav som ställs på hanteringen kan delas upp i drift-, underhåll- och anläggningskrav. Samtliga av dessa krav avser att skapa ett betryggande skydd mot brand och explosion.

För en säker drift av verksamhet med brandfarlig gas skall det finnas informations-, förbuds- och varningsanslag uppsatta i det utrymme/område där brandfarlig gas hanteras. Specifikt kan dessa anslag gälla förbud mot potentiella tändkällor, fyllning och tömning av gascisterner eller nödsituationsåtgärder. Utöver detta skall det även finnas instruktioner tillgängligt för drift och åtgärder i händelse av läckage eller brand. Bestämmelser om anslag vid hantering av brandfarliga varor kan återfinnas i SÄIFS 1996:3.

För att kunna bedriva underhåll av en cistern skall den vara placerads så den är tillgänglig ifrån alla håll samt att alla rörledningar är märkta enligt Sprängämnesinspektionens föreskrifter om märkning av rörledningar. Det skall även finnas tillgängliga instruktioner för hur skötseln skall bedrivas.

De anläggningskrav som finns gäller bland annat underlag för cisternen, rördragning till och från cistern, påkörningsskydd, ventilation, potentialutjämning av metallföremål, explosionsklassning av mekanisk och elektrisk utrustning, fyllningsplats, skyddsutrustning och åtkomlighet. Samtliga krav avser att säkerställa ett betryggande skydd mot brand och explosion. Till viss del förtydligas kraven i ytterligare följande föreskrifter:

- Underlag för cistern preciseras i Tryckkärlsstandardiseringens anvisningar för stationära lagercisterner för brandfarliga kondenserade gaser (CA III)
- Påkörningsskyddets kapacitet regleras i Vägverkets (numera Trafikverket) publikation om vägutformning (VU)
- Explosionsklassning kan utföras enligt Svenska elektriska kommissionens (SEK) handbok 426
- Explosionsklassning av mekanisk utrustning kan göras enligt AFS 1995:5 om utrustning i explosionsfarlig miljö.
- Explosionsklassning av elektrisk utrustning kan göras enligt ELSÄK-FS 2004:1
- Potentialutjämning kan göras enligt Svenska Standard 421 08 22 och jordning görs enligt SS Åtskydd för byggnader.

A.3.3 Avstånd till omkringliggande objekt

Avståndet mellan cistern och omkringliggande objekt skall vara betryggande med avseende på risken för brand och explosion. Avståndet skall:

- begränsa risken för brand och explosion i anläggningen vid brand i omgivningen,
- begränsa risken för brandspridning i anläggningen,
- begränsa risken för brand i omgivningen vid brand i anläggningen,
- göra det möjligt att utrymma området kring anläggningen vid brand innan kritiska situationer uppstår,
- bidra till att risken för gasspridning till slutna utrymmen begränsas och
- bidra till att risken för pågrävning av rörledningar i marken begränsas.

Avståndet skall bestämmas först efter riskutredning. I de allmänna råden finns dock en tabell, Tabell 5.1, som anger avstånd som anses betryggande utan vidare riskutredning.

A.3.4 Reflektion

Denna föreskrift är avsedd specifikt för cisterner med brandfarlig gas och inte för till exempel framställning av brandfarlig gas eller för processer där brandfarlig gas används. Föreskriften reglerar i stort bara de fysiska förutsättningarna i verksamheten. Detta görs genom att ställa krav på cisternens konstruktion, hanteringen av cisternen och avstånd till omkringliggande objekt.

Föreskriften uttrycker konkreta krav som om de uppfylls medför att den skyddsnivå som föreskriften eftersträvar uppnås. Ur ett riskhanteringsperspektiv efterlyser man dock alltid mer funktionsbaserade regler. Funktion kan i vissa fall läsas mellan raderna men det skulle kunna vara tydligare vad som är en acceptabel risknivå. Ett mer konkret exempel på denna typ av otydlighet är 5:e kapitlet i SÄIFS 2000:4 där avstånd mellan cistern och omgivande objekt regleras. I föreskriften står det bland annat att avståndet ska begränsa risken för brand och explosion i anläggningen vid brand i omgivningen. Vad innebär en begränsad risk? Att strålningen mot cisternen inte får överstiga $15\text{kW}/\text{m}^2$? Att material i anslutning till cisternen får ej antända på 15, 30 eller 60 min vid brandpåverkan? Att cisternen ska tåla tryck från explosion på 50, 100 eller 200kPa. Eller att cisternen får max förlora 25, 50 eller 75 procent av sin tryckbärande förmåga. Det finns fler exempel där SÄI föreskriver att risken ska "begränsas" och utelämnar vilken funktion man vill uppnå. Detta är ett typiskt exempel på fall där begreppet *betryggande* är svårt att verifiera på annat sätt än att slaviskt följa föreskrifterna.

A.4 SÄIFS (2000:2) om hantering av brandfarlig vätska

Föreskriften gäller för hantering av brandfarliga vätskor och syftar övergripande till att enskilda och verksamhetsutövare skall hantera brandfarliga vätskor på ett betryggande sätt. För att uppnå en betryggande säkerhetsnivå reglerar föreskriften:

1. anläggningens utformning
2. hur brandfarlig vätska förvaras
3. avstånd mellan lagringsplatser och kringliggande objekt
4. villkor för fyllning och tömning av cisterner
5. samt hur risker för brand och explosion ska utredas och dokumenteras

A.4.1 Anläggningens utformning

Anläggningen ska vara utformad för och lämplig för hantering av brandfarliga vätskor. Med detta menas bland annat att cisterner, rörledningar och maskiner som används inom verksamheten ska vara klassade för ändamålet. För maskiner förtydligas detta bland annat i AFS 1995:5, för cisterner och rörledningar i SÄIFS 1997:9. Vidare för hanteringen gäller att det finns skydd mot påkörning där brandfarliga vätskor hanteras. Att det går att ta hand om spill och läckage och att ventilationen är anpassad för hanteringen.

Anläggningen ska även planeras så att samförvaring av brandfarliga vätskor och gaser inte sker.

Vidare gäller att anläggningen ska vara planerad och konstruerad så att konsekvenserna av brand eller explosion begränsas. Med detta menas bland annat att personal har möjlighet att utrymma anläggningen. Att utrymmen inomhus där brandfarlig vätska hanteras ska vara brandtekniskt avskilda och att fyllning och tömning snabbt går att avbryta.

A.4.2 Förvaring

Förvaringen av brandfarlig vätska ska i stort vara anpassad så att inte brandfarlig vätska eller gas kan läcka och ge upphov till brand eller explosion. I stora drag ställs det krav på behållare för brandfarlig vätska och platsen där dessa förvaras. För cistern, eller behållare, gäller att material, konstruktion, utförande och tillhörande utrustning ska vara betryggande. För cisterner förtydligas detta i SÄIFS 1997:9. Platsen där förvaring sker ska vara utformad så att obehöriga inte får tillträde, så att spridning av brandfarlig vätska begränsas, så att släckningsarbete underlättas och så att konsekvenser av brand och explosion begränsas.

A.4.3 Avstånd till kringliggande objekt

Avståndet mellan kringliggande objekt och anläggning för brandfarliga vätskor skall erbjuda ett betryggande skydd och främst erbjuda skydd mot antändning av vätskan och brandspridning inom anläggningen. Avståndet avser även att säkerställa att räddningstjänsten har möjlighet att begränsa och bekämpa en eventuell brand.

A.4.4 Fyllning och tömning

Fyllning och tömning ska kunna ske på ett betryggande sätt. Det ska finnas skydd mot och möjlighet till att ta hand om läckage och spill, skydd mot överfyllnad och skydd mot förväxling vid tömning av olika cisterner.

A.4.5 Riskutredning och dokumentering

För tillståndspliktig hantering av brandfarliga vätskor skall en riskutredning utföras för att visa att dessa vätskor hanteras på ett betryggande sätt. Utredningen skall göras tillsammans med berörd personal och vara tydligt dokumenterad. Riskutredningen ligger sedan till grund för eventuella åtgärder för att begränsa skada på människa, hälsa, miljö eller egendom. Riskutredningens omfattning är direkt kopplad till omfattningen av hanteringen.

För tillståndspliktiga verksamheter gäller även att ett handlingsprogram för hantering av olyckor ska utarbetas och dokumenteras. Handlingsprogrammet kan liknas vid ett ledningssystem för säkerhetsarbete där man ur ett organisatoriskt perspektiv försöker förebygga skador och olyckor.

A.4.6 Reflektion

Föreskriften är avsedd för verksamheter där man hanterar brandfarlig vätska. Omfattningen av föreskriften är väldigt detaljrik. Precis som i SÄIFS 2000:4 är främst kraven i denna föreskrift riktad mot

de fysiska förutsättningarna i verksamheten, men genom handlingsprogrammet gör man en ansats till ett organisatoriskt skydd mot brand och explosion. Det framgår tydlig att man ska visa att hanteringen är betryggande, vilket innebär, om man utgår ifrån LBE:s definition av hantering, att alla delar av verksamheten ska vara betryggande. Konkret i föreskriften ställs dock krav på att anläggningen, förvaringen, avståndet till omkringliggande objekt, fyllningen och tömningen ska vara *betryggande*.

I de allmänna råden till denna föreskrift görs en större ansats än i SÄIFS 2000:4 att förklara vad som avses med begreppet *betryggande*. I tredje kapitlet § 3.1.1 står det *att den som yrkesmässigt (ska numera tolkas som tillståndspliktig(Prop. 2009/10:203)) hanterar brandfarliga vätskor ska se till att det finns en tillfredställande riskutredning som visar att vätskorna hanteras på ett betryggande sätt*. I kommentarer till 3.1.1 (Allmänna råden till SÄIFS 2002:2), hänvisar man till 7§ LBE vilket i och med nya lagen innebär 6 § aktsamhetskravet i LBE. Vidare står det i kommentaren att med en betryggande hantering menas *att vidta åtgärder och iaktta försiktighetsmått som är nödvändiga för att hindra att brand och explosion uppstår och för att motverka skada på människor, miljö och egendom*. Paragraf 3.1.1 i SÄIFS 2002:2 vill att verksamhetsutövaren i riskutredning ska visa att denne följer aktsamhetskravet. Detta preciserar inte begreppet *betryggande* mer än i den bemärkelsen att man ska följa MSB:s föreskrifter och vidta nödvändiga åtgärder och försiktighetsmått mot brand och explosion.

Även i denna föreskrift använder SÄI kriterier som att risker och konsekvenser ska "begränsas" utan att tydliggöra i vilken utsträckning de ska begränsas. Viktigt att påtala är att detta främst är ett bekymmer när man vill göra avsteg ifrån föreskriften och genom riskutredning påvisa att en betryggande säkerhetsnivå ändå uppnås.

A.5 SÄIFS 1998:7 om brandfarlig gas i lösa behållare

Föreskriften gäller för brandfarlig gas i lösa behållare och syftar till att säkerställa att konstruktion, hantering och placering av behållarna är betryggande ur brand- och explosionssynpunkt.

De allmänna konstruktionsbestämmelserna för lösa gasbehållare är att de ska med hänsyn till material, konstruktion, utförande och utrustning erbjuda betryggande skydd mot brand och explosion. Detta säkerställs genom krav på att lösa behållare uppfyller samma tekniska krav som föreskrivs i förordningen (1982:923) om transport av farligt gods. Precisering av de tekniska kraven för tryckbärande behållare kan återfinnas i 6:e kapitlet RID-S för transport av farligt gods på järnväg eller 6:e kapitlet ADR-S för transport av farligt gods på väg. I övrigt regleras, volym, märkning, krav på bakslagsventiler och konstruktionskontroll.

För hanteringen gäller att lösa behållare ska hanteras och vara placerade på ett från skyddssynpunkt lämpligt sätt. För att säkerställa detta ställer föreskriften krav på:

- kunskaper om gaserna och riskerna förknippade med gaserna,
- att behållare vid behov ska stå stadigt, vara fastsatta och skyddad mot obehöriga,
- att ingen brandbelastning och inga tändkällor finns i närheten till behållarna,
- att det finns skydd mot mekaniska skador,
- att utrymmen för lösa behållare är klassade,

- att ventilationen är anpassad för hanteringen, och
- att fyllning, förvaring och förbrukning är anpassad efter lokal och verksamhet.

Lösa behållare ska vara placerade så att avståndet till omkringliggande objekt är så stort att ett betryggande skydd erhålls. Avståndet skall:

- Begränsa risken för brand och explosion i anläggning vid brand i omgivningen
- begränsa risken för brandspridning inom anläggningen
- begränsa risken för brand i omgivningen vid brand i anläggningen, och
- göra det möjligt för att utrymma området kring anläggningen vid brand innan kritiska situationer uppstår.

Avståndet skall precis som i SÄIFS 2000:4 beslutas efter riskutredning men i de allmänna råden som följer föreskriften finns avstånd som utan utredning anses betryggande. I tabellen regleras avståndet mellan lös behållare och byggnad i allmänhet, antändbart material, brandfarlig verksamhet.

Med stor brandbelastning avses till exempel brädgård, bensinstation, däckupplag, cistern med brandfarlig vätska eller gas. Med svårutrymd lokal menas till exempel samlingslokal, sjukhus, skola eller daghem.

Dispens från reglerna i föreskriften får ges om en likvärdig skyddsnivå uppnås.

A.5.1 Reflektion

Precis som SÄIFS 2000:4 och 2000:2 är även denna föreskrift inriktad på de fysiska förutsättningarna för anläggningen. Ett annat mönster för SÄI:s föreskrifter är att reglerna är grupperade i form av konstruktionskrav på behållare och utrustning, säkerhetskrav på hur gas och vätska hanteras och krav på placering av anläggningar och anordningar för brandfarlig gas eller vätska.

Precis som i SÄIFS 2000:4 och 2002:2 vill man även i denna föreskrift säkerställa att behållare och utrustning för brandfarliga varor bidrar till att sänka både sannolikhet för och konsekvens av brand och explosion. Framst görs detta genom att föreskriva att behållare och utrustning ska med avseende på material, konstruktion och utförande vara betryggande mot brand och explosion. I praktiken uppfylls detta genom att följa andra föreskrifter och normer som är specifikt inriktade på tryckkärl, vätskecisterner och klassad utrustning.

I SÄIFS 2002:2 innebar en betryggande hantering att man vidtagit alla åtgärder och iakttagit alla försiktighetsmått som var nödvändiga med avseende på brand och explosion. I denna föreskrift är hantering främst kopplat till fysiska åtgärder som att:

- inget brandfarligt material får placeras där gas hanteras,
- att det finns påkörningsskydd,
- att avskiljande väggar tål mekaniska skador,
- att utrymmen vid behov är ventilerade och att utrymmen är klassade.

I föreskriften ställs även ett kompetenskrav för den som hanterar lösa behållare vilket bör ses som ett med organisatoriskt skydd mot brand och explosion.

Vad gäller placering är kraven i denna föreskrift nästintill identiska med de i SÄIFS 2000:4. För lösa behållare måste man dock beakta att dessa kan flyttas runt och de kan ramla och skadas vilket medför en extra risk jämför med cisterner som är stationära.

Det bör uppmärksammas att det finns en viss struktur i SÄI:s föreskrifter. Där regler och säkerhetskrav ställs utifrån konstruktion, hantering och placering. Denna struktur stämmer även väl in med områden i verksamheten som ska vara betryggande. Se några exempel på krav från föreskrifterna nedan.

”Hantering av brandfarliga vätskor skall ske med betryggande säkerhet” (Kap 4 SÄIFS 2000:2)

”Avstånden mellan lös behållare med brandfarlig gas och kringliggande objekt skall vara så stora att ett betryggande skydd erhålls”(Kap 5 SÄIFS 1998:7)

Cistern, gasklocka, bergrum, rörledning och slangledning med brandfarlig gas skall med hänsyn till material, konstruktion, utförande och utrustning erbjuda betryggande skydd mot brand och explosion.(Kap 3 SÄIFS 2000:4)

Slutsatsen dras att dessa tre områden samverkar för att verksamheten i sin helhet ska kunna anses betryggande.

A.6 SÄIFS (1997:9) Öppna cisterner och rörledningar m.m. för brandfarliga vätskor

Föreskriften reglerar tekniska krav, certifiering, kontroll och åtgärder efter kontroll för öppna cisterner rörledningar och slangledningar för brandfarlig vätska.

De allmänna tekniska kraven för öppna cisterner, rörledningar och slangledningar är att de ska vara tillverkade av material med kända och dokumenterade egenskaper. Utöver detta ska cisterner besitta betryggande mekaniska egenskaperna, tillfredställande skydd mot brand, nödvändigt skydd mot korrosion och egenskaper för att motstå förutsebara yttre påkänningar.

Öppna cisterner ska placeras på stadigt, jämnt bärande underlag av obrännbart material. Platsen bör även vara genomtänkt med avseende på sättningar, trafik, nedfallande föremål och övriga yttre faktorer.

För cistern är nödvändig utrustning:

- manhål, inspektionsöppning och annan nödvändig utrustning för kontroll, underhåll och fortlöpande tillsyn enligt denna föreskrift,
- fast anslutning för fyllning och om nödvändigt utrustning för att skydda mot elektrostatisk uppladdning,
- avluftning för att förebygga över- och undertryck,
- stängventiler för rör anslutna till cisternen,
- överfyllnadsskydd och
- nivåmätare för att på ett tillförlitligt sätt kunna fastställa nivån i cisternen.

För att säkerställa att man uppfyller de tekniska kraven och uppnår en *betryggande* säkerhetsnivå finns det dels förslag på tillämpliga branschnormer dels ställs krav på certifiering. Objekt som ska certifieras är cisterner, målnings-, behandlings- och inklädnadssystem, katodiskt skydd och överfyllnadsskydd.

Öppna cisterner och rörledningar ska genomgå en konstruktions- och tillverkningskontroll. Dessa ska följas av installations-, revisions och återkommande kontroller när rör och cisterner väl är anlagda.

Vid konstruktionskontrollen kontrolleras tillverkningsunderlag med avseende på material, konstruktion och utförande. Vid tillverkningskontroll kontrolleras att konstruktionskontrollen är genomförd, att cistern eller rör inte har värmepåverkats på ett felaktigt sätt och att cistern eller rör är betryggande med avseende på täthet och hållfasthet

Installationskontroll görs efter att installation av cistern eller rör är avslutad. Kontrollen ska tillse att:

- tillverkningsunderlaget har följts och att det inte finns fel som är av betydelse för säkerheten,
- att anordningen är tät,

- att säkerhetsutrustning finns och fungerar tillfredställande,
- att systemet i vilket cistern eller rör ingår är lämpligt ur skyddssynpunkt, och
- att cistern och rör följer föreskriften i övrigt

Revisionskontrollen omfattar de moment i tillverkningskontrollen och installationskontrollen som fodras för att bedöma om anordningen är betryggande.

Vid de återkommande kontrollerna kontrolleras om det finns defekter eller andra omständigheter som är av betydelse för säkerheten. I övrigt kontrolleras cistern och rörs täthet, tillhörande säkerhetsutrustning och säkerheten i systemet där cistern och rör ingår. De återkommande kontrollerna ser med 12 år mellanrum om cistern eller rör har ett bra korrosionsskydd och annars med 6 år mellanrum.

Efter kontroller skall resultatet, hösta och lägsta arbetstryck, temperatur och densitet hos vätska dokumenteras. Vid tillståndspliktig verksamhet skall kontrollrapporten även sändas till tillsynsmyndigheten, i detta fall MSB.

A.6.1 Reflektion

Föreskriften reglerar bara tekniska förutsättningar och kontroll av dem. Syftet är att säkerställa att de mekaniska egenskaperna hos cisterner och rörledningar är betryggande samt att de fortlöpande underhålls och kontrolleras för att säkerheten ska vara betryggande. I de allmänna råden till föreskrifterna konstateras att om en verksamhetsutövare vill få begrepp som *betryggande* konkretiserade så kan denna använda sig av certifierade objekt och system.

Bilaga B - Bakgrund till Tabell 5.1 i SÄIFS 2000:4

Denna redogörelse är baserad på samtal där Lars Synnerholm, tjänsteman på MSB, har blivit ombedd att beskriva resonemanget bakom avstånden i tabell 5.1. Författaren har sedan gjort en skriftlig tolkning som presenteras nedan. Tolkningen har granskats utan anmärkning av Lars Synnerholm.

Avstånden i tabell 5.1 är baserade på **beräkningar, tradition och erfarenhet**. Det är viktigt att förstå att det inte är avstånden i sig som utgör det fulla skyddet för allmänhetens liv, hälsa, miljö och egendom utan det samlade regelverket för brandfarliga och explosiva varor. Avstånden i tabell 5.1 utgör **konservativa** bedömningar av vad som utan vidare utredning kan anses uppfylla det krav som regelverket ställer på den som hanterar brandfarlig gas.

Begreppet betryggande innebär att man har en teknisk eller organisatorisk lösning, för att skydda mot brand och explosion, som är tagen så långt som man rimligen kan kräva. Kopplat till tabell 5.1 så innebär detta ett sådant avstånd att det under normala och tänkbara påfrestningar inte finns någon orsak till oro för skada på liv, hälsa, miljö och egendom.

Avstånden i tabellen är baserad på konsekvensen av några olika dimensionerande skadehändelser. I några av scenarierna kan dock avståndet även kopplas till ett kvalitativt resonemang kring sannolikheten för skadehändelsen. I samtliga fall där gasläckage uppstår antas gasen antända. Avståndet avser både att skydda cisternen ifrån sådan brandpåverkan att den **förlorar sin tryckbärande förmåga** och att skydda omgivningen vid brand i anläggningen. Detta gäller för alla scenarier med undantag då avståndet är till svårutrymda lokaler. Det primära skydds målet är då att säkerställa utrymning. Den gas som använts för beräkningarna är **gasol**. För de fall då omkringliggande byggnader utsätts för brandpåverkan antas det vara uppförda i trä och klara 15kW/m² i 30 minuter.

Dimensionerande skadehändelse:

1. En brand uppstår i ett trähus och antas påverka cisternen eller tillhörande objekt.
2. . Av erfarenhet vet man att packningarna kan gå sönder mellan två skruvar i flänsförbandet vilket resulterar i gasutströmning och antändning.
3. Slangen, DN50, mellan tankfordon och tankfordonets anslutningspunkt spricker. Hålet antas vara en tredjedel av slangens omkrets och läckaget antas antända.
4. Cistern brandpåverkas till följd av brand i buss eller lastbil som varken är lastad med brandfarliga eller explosiva varor.

I dagsläget finns ingen teknisk data tillgängligt för de olika händelserna utan endast en kortare beskrivning som följer nedan.

För alla scenarier tillåts att avståndet schablonmässigt halveras, en stjärna i tabellen, eller helt tas bort, två stjärnor i tabellen, i de fall då man skiljer branden och skyddsobjektet med en EI 60 – avskiljning. Detta **baseras på erfarenheter och inte beräkningar**.

B.1 Scenariobeskrivning

Nedan sker en mer detaljerad beskrivning av de olika scenarier som finns tabellerade i tabell 5.1 allmänna råd till SÄIFS 2000:4. Figur 1 är en justerad variant av tabell 5.1:s allmänna råd till SÄIFS 2000:4. Varje ruta som innehåller ett avstånd kommer att bli ett scenario och varje ruta har därför blivit numrerad för att den ska bli lättare att hitta och referera till. Scenarierna kommer att presenteras nedan tillsammans med ett resonemang kring valet av avstånd och vad det ska skydda emot. Avstånden i tabellen är densamma som i SÄIFS 2000:4. I denna rapport kommer inte torr gasklocka att diskuteras därför har dessa avstånd strukits ur tabellen, se Figur 17 nedan.

Tabell 5.1 Avstånd

	Byggnad i allmänhet, antändbart material eller brandfarlig verksamhet		Material med stor brandbelastning		Utgång från svårutrymda lokaler	Pump, förångare, mätarskåp	Fordon	Tankfordonets slanganslutningspunkt
	Utom anläggning meter	Inom anläggning meter	Utom anläggning meter	Inom anläggning meter				
Cistern 10 – 100 m ³	1 25*	3 12*	5 50*	7 25*	9 100*	11 3*	13 8*	15 12*
≤ 10 m ³	2 6*	4 6*	6 25*	8 12*	10 100*	12 3*	14 8*	16 12*
Tankfordonets slanganslutningspunkt	17 25*	18 12*	19 50*	20 25*	21 100*	22 3**		
Pump, förångare, mätarskåp		23 3**		24 12*		25 3**		26 3**
Torr gasklocka								

* Med EI 60-avskiljning eller högre minskas avstånden till hälften.

** Med EI 60-avskiljning eller högre behövs inget avstånd.

Figur 17. Tabell 5.1 från allmänna råd SÄIFS 2000:4, justerad för denna rapport.

Scenario 1. Avstånd mellan cistern 10 – 100 m³ och byggnad i allmänhet, utom anläggning

Tabellen begränsas till cisterner ≤ 100 m³ därför att för större cisterner användes grövre slang än DN50 för tankning. Detta skulle leda till att ytterligare ett dimensionerat scenario skulle behövas. För scenario 1 är det dimensionerade skadefallet **brand i byggnad**. Beräkningar har gjorts och avståndet är satt för att inte cisternen skall brandpåverkas så att den tryckbärande förmågan försvinner. Säkerhetsventiler på cisternen är inte med i scenariot.

Begreppet utom anläggning avser alla omkringliggande objekt som inte tillhör den verksamhet som hanterar brandfarlig gas. Att objekten ligger utanför anläggningen ändrar inte konsekvenserna av en eventuell brand, men det råder större osäkerheter kring sannolikheten för brand. Eftersom sannolikheten för brand utom anläggning inte kan påverkas av cisternens ägare är en konservativ bedömning att sannolikheten för brand är större utom anläggningen och därmed avstånden längre.

Scenario 2. Avstånd mellan cistern ≤ 10m³ och byggnad i allmänhet, utom anläggning

Det grundläggande resonemanget är att avståndet för detta scenario bör vara det samma som för scenario 1, men på grund av god erfarenhet, inga dokumenterade olyckor/tillbud

av tryckkärl $\leq 10\text{m}^3$ har man valt att sätta avståndet till 6m. Begreppet utom anläggning avser alla omkringliggande objekt som inte tillhör den som hanterar brandfarlig gas.

Scenario 3. Avstånd mellan cistern $10 - 100\text{m}^3$ och byggnad i allmänhet, inom anläggning

För scenario 3 gäller en schablonhalvering av scenario 1 på grund av att omkringliggande objekt är inom anläggningen, i övrigt gäller samma antagande som för scenario 1.

Scenario 4. Avstånd mellan cistern $\leq 10\text{m}^3$ och byggnad i allmänhet, inom anläggning

För scenario 4 gäller samma avstånd som för scenario 2. Dock bortser man ifrån schablonhalveringen som gjorts på grund av att omkringliggande objekt är inom anläggningen och för att avståndet redan är satt så lågt.

Scenario 5. Avstånd mellan cistern $10 - 100\text{m}^3$ och byggnad med stor brandbelastning utom anläggning

För scenario 5 antar man en fyra gånger intensivare brand än i scenario 1, därav en schablon-dubbling av första scenariots avstånd. I övrigt samma antagande som för scenario 1.

Scenario 6. Avstånd mellan cistern $\leq 10\text{m}^3$ och byggnad med stor brandbelastning, utom anläggning

Detta scenario anses jämförbart med scenario 1 och på grund av den höga hettan mot cisternen anses inte de goda erfarenheterna med små cisternen vara en faktor för att reducera avståndet.

Scenario 7. Avstånd mellan cistern $10 - 100\text{m}^3$ och byggnad med stor brandbelastning, inom anläggning

Avståndet är en schablonhalvering av scenario 5.

Scenario 8. Avstånd mellan cistern $\leq 10\text{m}^3$ och byggnad med stor brandbelastning, inom anläggning

Avståndet är en schablonhalvering av scenario 6.

Scenario 9. Avstånd mellan cistern $10 - 100\text{m}^3$ och utgång från svårutrymd lokal

Avståndet är i detta fall ett psykologiskt mått för att säkerställa att personer utrymmer trots att de brinner i eller i närheten av en cistern. Just det faktum att det brinner i eller nära en cistern kan göra människor extra oroliga och om avståndet är för kort kan det uppstå problem att utrymma hotade lokaler. Detta resonemang kommer efter rekommendationer från personal inom räddningstjänsten.

Scenario 10. Avstånd mellan cistern $\leq 10\text{m}^3$ och utgång från svårutrymd lokal

Samma resonemang som för scenario 9

Scenario 11. Avstånd mellan cistern $10 - 100\text{m}^3$ och pump, förångare, mätarskåp eller liknande

Dessa har flänsar med skruvförband där packningen kan blåsa och gas strömma ut. I händelse av antändning skall cisternen vara skyddad mot sådan brandpåverkan att den inte förlorar sina tryckbärande egenskaper.

Scenario 12. Avstånd mellan cistern $\leq 10m^3$ och pump, förångare, mätarskåp eller liknande

Samma resonemang som för scenario 11.

Scenario 13. Avstånd mellan cistern $10 - 100m^3$ och fordon

Avståndet skyddar cisternen i händelse av att ett fordon, i detta fall normallastad buss eller lastbil, fattar eld. Med normallast avses alltså inte brandfarliga eller explosiva varor.

Scenario 14. Avstånd mellan cistern $\leq 10m^3$ och fordon

Samma resonemang som scenario 13.

Scenario 15. Avstånd mellan cistern $10 - 100m^3$ och tankfordonets slanganslutning

Skadehändelse 3, läckage och antändning på slang mellan cistern och tankfordonets slanganslutningspunkt. Avståndet avser att skydda cisternen ifrån sådan brandpåverkan att den förlorar sin tryckbärande förmåga.

Scenario 16. Avstånd mellan cistern $\leq 10m^3$ och tankfordonets slanganslutning

Samma resonemang som i scenario 15.

Scenario 17. Avståndet mellan tankfordonets slanganslutningspunkt och byggnad i allmänhet, utom anläggning

Skadehändelse 3, läckage och antändning på slang mellan cistern och tankfordonets slanganslutningspunkt. Avståndet avser att skydda byggnader i omgivningen ifrån att antända.

Scenario 18. Avståndet mellan tankfordonets slanganslutningspunkt och byggnad och byggnad i allmänhet, inom anläggning

Schablonhalvering av scenario 17 på grund av att det är inom anläggning.

Scenario 19. Avståndet mellan tankfordonets slanganslutningspunkt och byggnad med stor brandbelastning, utom anläggningen

Schablondubblering av scenario 17.

Scenario 20. Avståndet mellan tankfordonets slanganslutningspunkt och byggnad med stor brandbelastning, inom anläggning

Schablonhalvering av scenario 19.

Scenario 21. Avståndet mellan tankfordonets slanganslutningspunkt och utgång från svårutrymd lokal

Samma resonemang som scenario 9 och 10

Scenario 22. Avståndet mellan tankfordonets slanganslutningspunkt och pump, förångare och mätarskåp

Samma resonemang som scenario 11 och 12. Dock anses en eventuell brand som så liten att avståndet kan tas bort helt med EI60 - avskiljning.

Scenario 23. Avståndet mellan pump, förångare, mätarskåp och byggnad i allmänhet, inom anläggning

Samma resonemang som i scenario 22.

Scenario 24. Avståndet mellan pump, förångare, mätarskåp och byggnad med stor brandbelastning, inom anläggning

Skadehändelse 4, läckage och antändning på grund av trasig packning i en fläns. Avståndet avser att skydda byggnad med stor brandbelastning ifrån att antända.

Scenario 25. Avståndet mellan pump, förångare, mätarskåp och annan pump, förångare eller mätarskåp

Samma resonemang som i scenario 22.

Scenario 26. Avståndet mellan pump, förångare, mätarskåp och tankfordonets slanganslutningspunkt

Samma resonemang som i scenario 22.

Tomma rutor i tabellen

De tomma rutorna i tabellen representerar scenarier där det inte är praktiskt möjligt att sätta bestämda avstånd. Om scenariot uppstår skall avstånd bestämmas efter riskutredning (Kap 5, Allmänna råd SÄIFS 2000:4)

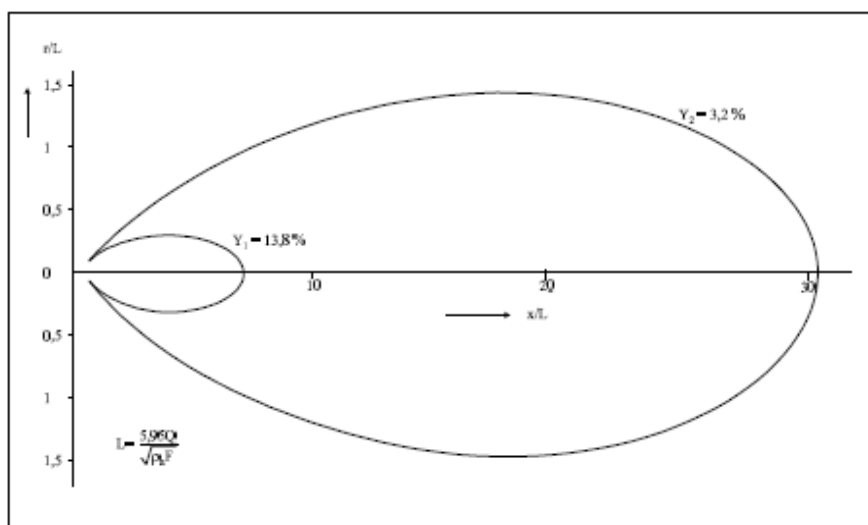
Bilaga C - Konsekvensberäkningar för jetflammar

En jetflamma kan uppstå vid antändning av ett kontinuerligt utsläpp av gas från ett tryckkärl. På grund av det förhöjda trycket sugas luft in i utsläppsstrålen och blandar sig turbulent med gasen och det uppstår ett gränsskikt i utsläppsplymen där stökiometrisk blandning mellan luft och bränsle uppstår. Den stökiometriska gränsen blir sedan flammans gränsskikt mot omgivningen.

Jetflamman kan precis som pölbranden ge upphov till termisk påverkan på objekt i omgivningen, för värmestrålningsberäkningar approximeras oftast jetflamman som en het cylinder som strålar mot omgivningen. För att bestämma den utstrålade effekten per kvadratmeter brukar man anta två gånger samma effekt som en pölbrand ($D=1\text{m}$) med en icke sotande flamma (FOA, 1997).

Direktpåverkan från en jetflamma leder till avsevärt mycket högre termisk påverkan än värmestrålning, då det även sker en konvektiv värmeöverföring. Vi fullskaliga försök har man mätt upp maxeffekter på 250 kW/m^2 - 300 kW/m^2 för gasol och naturgas. I försöken mättes även den genomsnittliga effekten som ett cylindriskt objekt utsattes för då den är helt omsluten av jetflamman. För naturgas uppgick effekten då till 200 kW/m^2 och för gasol till 150 kW/m^2 (SFPE, 2002).

Vid ett utsläpp av gas från en cistern, slang, rör eller fläns kommer det i utsläppets riktning uppstå ett område där luft och gas blandats till en brännbar blandning, se Figur 18. Utsläppsplym vid läckage av gas. (FOA, 1998)nedan. Om utsläppet antänds direkt uppstår en jetflamma, vars längd och bredd kommer motsvara den gräns där stökiometrisk blandning uppstår. För att kunna göra strålningsberäkningar och avgöra om jetflamman träffar skyddsobjektet är det intressant att bestämma avståndet i gasmolnet, till det stökiometriska gränsskiktet. Om det däremot inte finns några tändkällor i direkt anslutning till utsläppet så är det intressant att bestämma hur långt ifrån utsläppskällan som gasmolnet kan antändas. Den gränsen går vid den nedre brännbarhetsgränsen.



Figur 18. Utsläppsplym vid läckage av gas. (FOA, 1998)

Tabell 5.1 är dimensionerad utifrån flera olika scenarier. För två av dessa, slang- och flänsbrott, bör det för en tryckkomprimerad gas, som gasol, antas att en jetflamma uppstår. Nedan görs generella

beräkningar för att uppskatta hur lång flamman blir, hur långt avståndet är till nedre brännbarhetsgränsen och vilka strålningsnivåer man kan förvänta sig vinkelrätt från flamman. Först diskuteras vilka faktorer som styr jetflammans egenskaper.

Det som framförallt styr jetflammans skadeverkande egenskaper är läckagets storlek och med vilket tryck som gasen trycks ut ur hålet. Utöver dessa kommer även gasens fysikaliska egenskaper och omgivningsförhållanden att påverka jetflammans egenskaper. Nedan diskuteras hur de olika faktorerna påverkar jetflamman. Eftersom de variabler som påverkar flamman kan variera i sig själva kommer flera av dessa att representeras av sannolikhetsfördelningar. Beräkningarna görs sedan i @Risk där man genom Monte Carlo simuleringar gör tusentals beräkningar och sammanställer resultaten i fördelning av tänkbara utfall. Fördelen med denna beräkningsmetod är att man kan presentera resultatet i form av ett intervall av troliga konsekvenser, istället för ett värde med många osäkerheter.

C.1 Läckaget

En gasanläggning med utrustning har en lång rad med komponenter som kan felfungera eller slitas ut med tiden. En brist i någon av gasanläggningens komponenter eller komponenternas material kan leda till läckage och därmed också en brand eller explosion. Nedan finns en lista över utrustning som kan felfungera och därmed ge upphov till ett läckage.

- Cistern
- Rör/slang/ledning
- Flänsar (trasig packning)
- Överfyllnadsskydd
- Kompressorer
- Förångare (värmeväxlare)
- Inspektionsluckor
- Mätarskåp
- Ventiler
- Regulatorer
- Reglerstationer
- Kondensavtappning
- Kompressorer
- Pumpar
- Provtagningsställen
- Sprängbleck
- Slanganslutningar

MSB har valt två av de ovanstående som dimensionerande scenarier för de avstånd som är ansatta i tabell 5.1, slangbrott vid pumpning av gas till cisternen och flänsbrott. Därför diskuteras endast läckage från dessa. Först diskuteras vad som är en trolig läckagearea.

För slangbrott antar MSB att slangen spricker med en tredjedel av slangens omkrets. Eftersom att omkretsen är diametern multiplicerat med pi skulle man kunna tolka en MSB:s antagande som att det menar ett fullständigt slangbrott. Författaren uppfattar dock detta som överkonservativt och hänvisar till att MSB tidigare accepterat att ett elliptiskt hål där höjden motsvara en tredjedel av slangens omkrets och bredden 60 procent av höjden¹¹.

För flänsbrott antar MSB att packningen spricker mellan två bultar i flänsen. Hålets storlek styrs då av antalet bultar i flänsen och packningens bredd. Cox, m.fl. (1990) rekommenderar att ett stort hål vid flänsbrott beräknas utifrån en packningsbredd på 1 mm, men påpekar även att packningsbredden kan vara upp till 3 mm. Då författaren inte är bekant med vilken typ av packning som är vanligast för gasolanläggningar används därför packningsbredden 3mm. Nedan beräknas hålarea för slangbrott och flänsbrott.

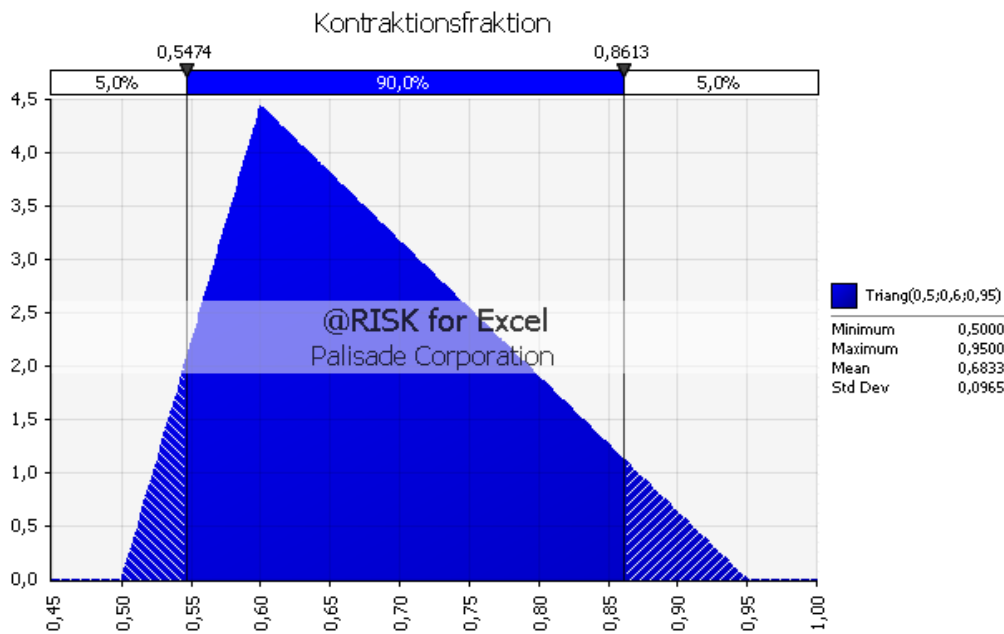
$$\begin{aligned} Area_{slangbrott} &= \left(\frac{1}{2}\right) * Höjden * \left(\frac{1}{2}\right) * bredden * \pi = \\ &= \left(0,5 * \frac{1}{3(0,05 * \pi)} * 0,6\right) * \left(0,5 * \frac{1}{3(0,05 * \pi)}\right) * \pi = 0,0129 \end{aligned}$$

$$Area_{flänsbrott} = 0,003 * (0,05 * \pi) * 0,25 = 1,178 * 10^{-4}$$

C.1.1 Kontraktionsfaktor

Beroende på hur hålet ser ut kommer kanterna att begränsa utflödet ur röret. Vid konsekvensberäkningar kompenseras men för denna förlust genom en kontraktionsfaktor (Cd). Denna varierar mellan 0,5 och 0,95 (FOA, 1998), där 0,5 motsvarar utifrån intryckta hål och 0,95 är rundade kanter. Eftersom hålets karaktär i dessa generella beräkningar är okänt och påverkar massflödet mycket, kommer kontraktionsfaktorn att representeras av en triangelfördelning. Denna har ett intervall mellan 0,5 och 0,95 där det mest troliga värdet på 0,6 motsvarar skarpkantade hål. Fördelning redovisar i Figur 19 nedan.

¹¹Lars Synnerholm, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)



Figur 19. Triangelfördelad kontraktionsfaktor

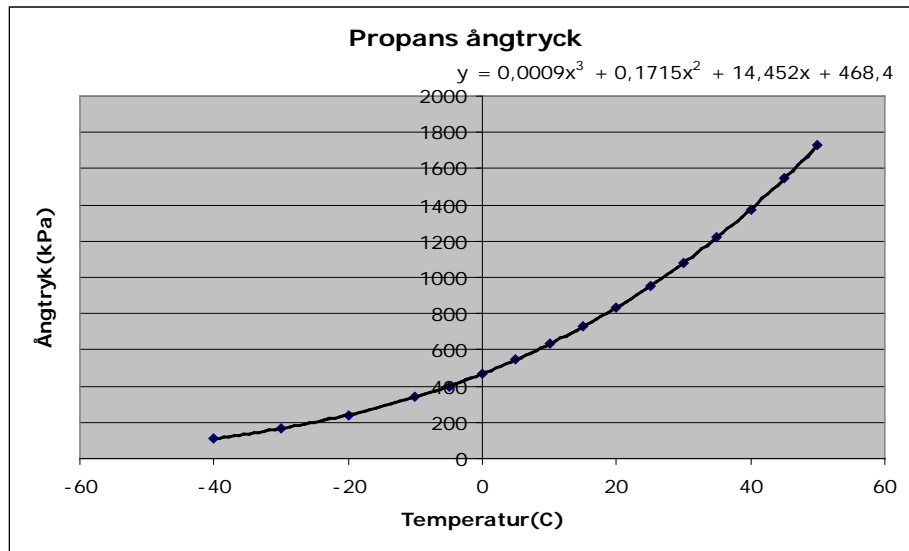
C.1.2 Tryck och flöde

Ytterligare en faktor som påverkar läckageflödet är vätskans ångtryck. Vid lossning och lastning är istället det relevanta trycket det som pumpas åstadkommer. I dessa beräkningar antas slangbrott ske vid lossning från en tankbil och därmed antas att gasen då pumpas mellan tankbil och cistern. Det dimensionerande trycket i systemet är beroende av hur kraftiga pumpar man använder vid lossning. För små anläggningar är det vanligt med 200 kg/min och för större anläggningar använder man pumpar med en kapacitet på 300 till 350 kg/min¹².

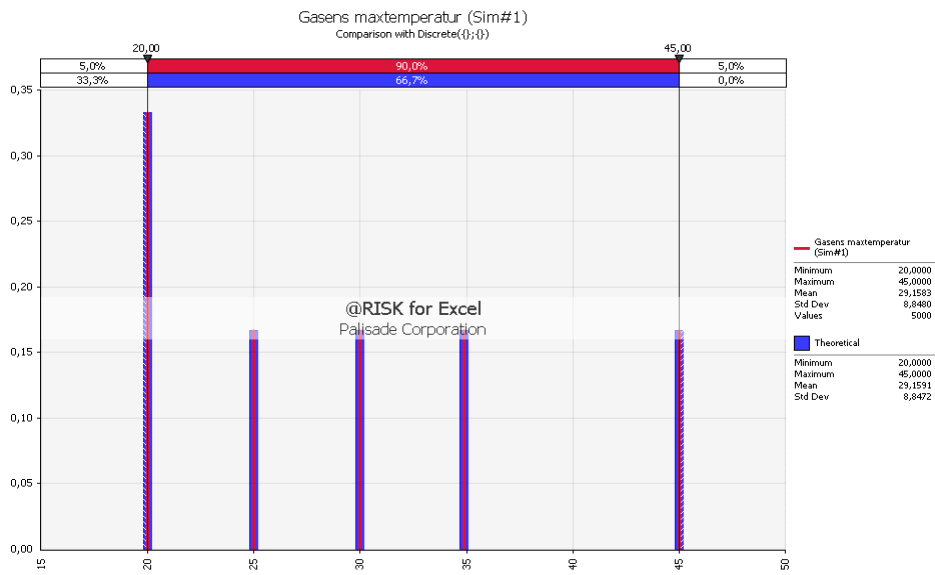
Vid flänsbrottsscenario antas inte gasen pumpas runt i dess system. Dimensionerande för dessa scenarier är istället gasens ångtryck. Eftersom detta kraftigt beror av gasens temperatur har ett ångtryck - temperaturförhållande anpassats utifrån data från RIB, se Figur 20 nedan. Då gasens temperatur varierar under året har denna beskrivits med en diskret fördelning där temperaturen antas ha ett maximum vid en temperatur på 45°C och ett minimum på 20°C. Figur 21 för fördelning och

¹²Samtal med Tord Johansson på Statoil

Tabell 10 för bakomliggande antagande.



Figur 20. Propans ångtryck som funktion av gasens temperatur (RIB, Räddningsverket)



Figur 21. Diskret temperaturfördelning av gasens maxtemperatur

Tabell 10. Grundläggande antaganden om gasens maxtemperatur

Månad	Maximal gastemperatur
Jan	20°C
Feb	20°C
Mar	25°C
Apr	30°C
Maj	30°C
Jun	35°C
Jul	45°C
Aug	45°C
Sep	35°C
Okt	25°C
Nov	20°C
Dec	20°C

Gas i en cistern och dess rörledningar antas under året maximalt kunna anta temperaturerna Tabell 10. Uppskattningen bygger på en gasanläggning utomhus, utan solskydd. Under höst och vinter är det troligare att gasen har en lägre temperatur än vad som antas i tabellen ovan, men att anta att alla temperaturer överstiger 20°C gör konsekvensberäkningarna konservativ. Under sommaren då cisternen kan utsättas för stark solstrålning är det fullt rimligt med temperaturer upp mot 45°C. Dessa tillfällen är med största sannolikhet färre än vad som antagits i där dessa för tillfället utgör en sjätte-del av alla tänkbara temperaturutfall. Temperaturfördelningen i Tabell 10 och Figur 21. Diskret temperaturfördelning av gasens maxtemperatur är inte en bra representation av gasens verkliga temperatur, men för dessa beräkningar bidrar fördelningen till en konservativ bedömning av tänkbara utfall vid läckage.

Temperaturfördelningen är konservativ i den bemärkelsen att läckageflödet förmodligen kommer överskattas i förhållande till ett verkligt utsläpp. Att bedömningen är konservativ är positivt då den fångar upp andra tänkbara scenarier, som till exempel att gasen skulle pumpas runt i systemet vid ett flänsbrott. Att pumpa gasen, 350 kg/min, skulle vid 20°C leda till kraftigare utsläpp än om det endast var ångtrycket som pressar ut gasen. Dock är förhållandet det omvända vid 45°C då ångtrycket skulle leda till kraftigare utsläpp.

Värt att nämna är att om en cistern står utomhus under solskydd skulle en annan approximation av gastemperaturen kunna vara omgivningstemperaturen. Eftersom att SMHI ständigt mäter tempera-

turer skulle dessa data vara lättåtkomlig. Detta skulle kunna bli en rimligare approximation, men det kommer inte att utvärderas i denna rapport.

C.1.3 Massflöde och kraft

Läckagets area, kontraktionsfaktor och pumptryck respektive ångtryck har bestämts. Dessa variabler utgör nu ingångsvärden för att kunna bestämma läckagets massflöde (Q) och kraft (F). Detta görs utifrån FOA (1998) och ekvationer redovisas nedan.

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2(P_0 - P_a)}{v_f}} \quad [5:12 \text{ (FOA, 1998)}]$$

$$F = \frac{Q^2 v_f}{C_d A} \quad [5:13 \text{ (FOA, 1998)}]$$

där $Q = \text{massflöde från läckaget} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$

$F = \text{rörelsemängden från läckaget} [\text{N}]$

$C_d = \text{kontraktionsfaktor} [-]$

$P_0 = \text{gasens ångtryck} [\text{Pa}]$

$P_a = \text{omgivningstryck} [\text{Pa}]$

$v_f = \text{Specifik volym i vätskefas} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$

C.2 Omgivningsförhållanden

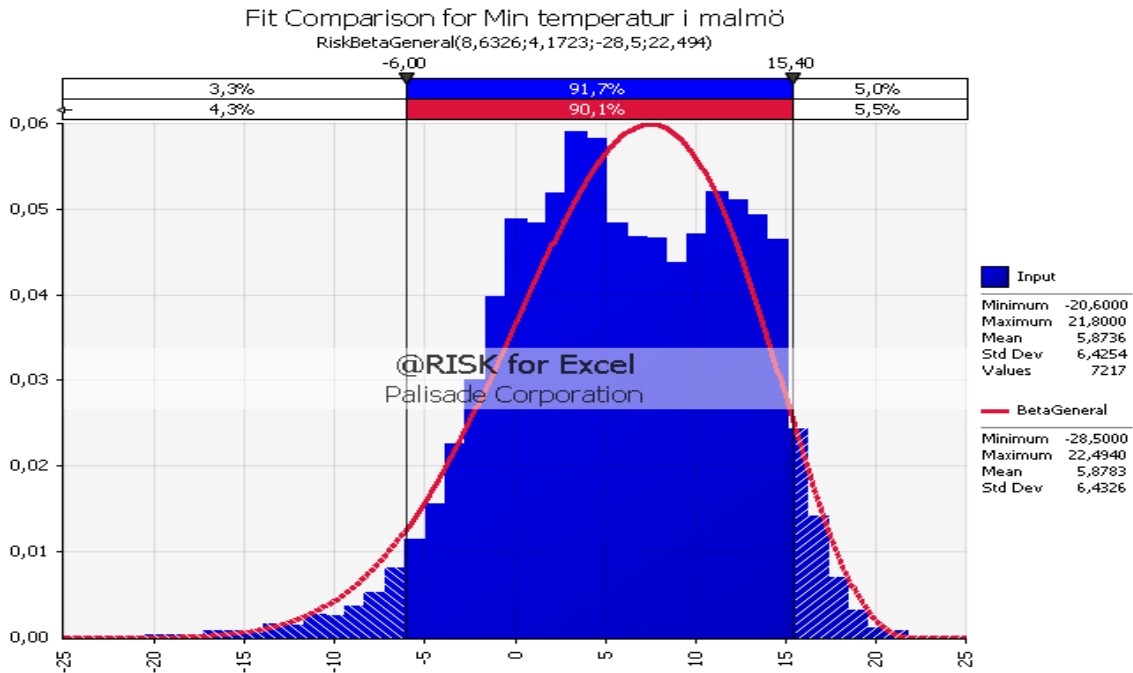
Omgivningsförhållanden som temperatur, vind och luftfuktighet kommer att påverka storleken på jetflaman och hur kraftigt den påverkar omgivningen. Ett utsläpp i medvind hjälper till exempel gasen att transporteras längre och därmed kan en fördröjd antändning ske längre ifrån utsläppet. Temperaturen och luftfuktigheten kommer att få en avgörande inverkan på hur mycket värmestrålning som absorberas av luften. Hur detta beaktats i beräkningarna redovisas nedan, först beskrivs hur luftens absorptionsförmåga (transmissionskoefficient) uppskattas.

C.2.1 Transmissionsförmåga

Den atmosfäriska transmissionsförmågan beror av avståndet mellan flamma och skyddsobjekt samt hur mycket vattenånga och koldioxid det är i luften. I dessa beräkningar bortses från koldioxidens absorptionsförmåga då denna är väldigt låg i jämförelse med vattenångans absorptionsförmåga, se figur 11.2 (FOA, 1998). Eftersom fuktigheten i luften varierar med temperatur och plats så görs

Monte Carlo simuleringar för att fånga upp tänkbara utfall. Mätdata för beräkningarna är från Malmö och utgår från lägsta dygnstemperaturer för Malmö (SMHI, 2008). Lägsta temperatur har valts då detta medför lägre luft fuktighet, därmed lägre dämpning och högre strålningsnivåer, alltså ett konservativt val.

Mätdata för lägsta dygnstemperatur från 1968 till 2008 har analyserats i @Risk och en betafördelning har sedan valts att representera temperaturvariationen i Malmö, se Figur 22.

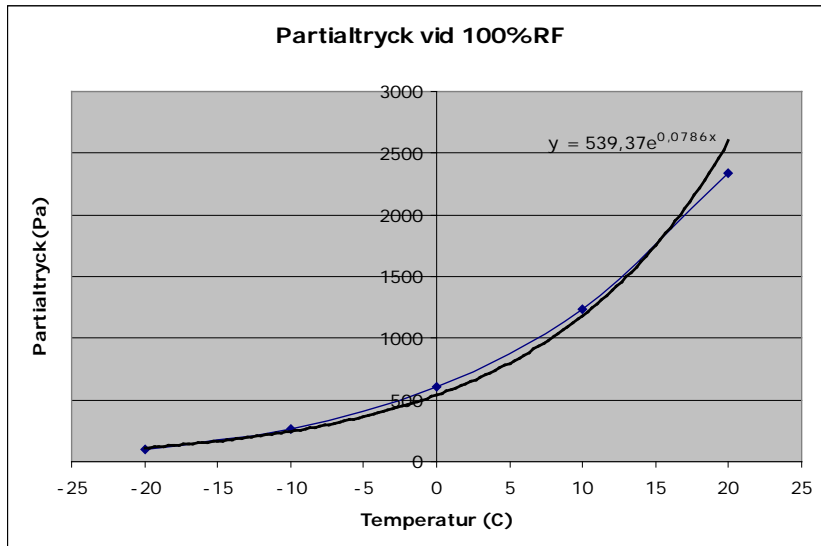


Figur 22. Genomsnittlig minimitemperatur i Malmö (SMHI, 200X)

Vattenångans absorptionsförmåga bero av partialtrycket vatten i luften, i Tabell 11 finns tabellerade värden för högsta partialtryck, vid 100% RF, vid olika temperaturer. I Figur 23 har sedan en ekvation anpassats utifrån dessa värden.

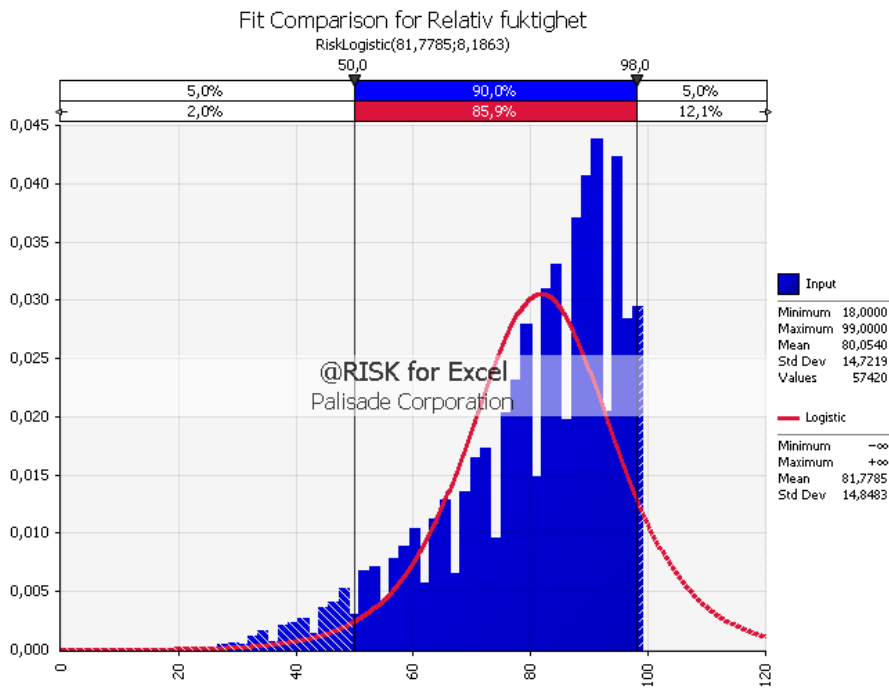
Tabell 11. Maximalt ångtryck (FOA, 1998)

Temperatur (°C)	Ångtryck (Pa)
-20	100
-10	260
0	610
10	1230
20	2340

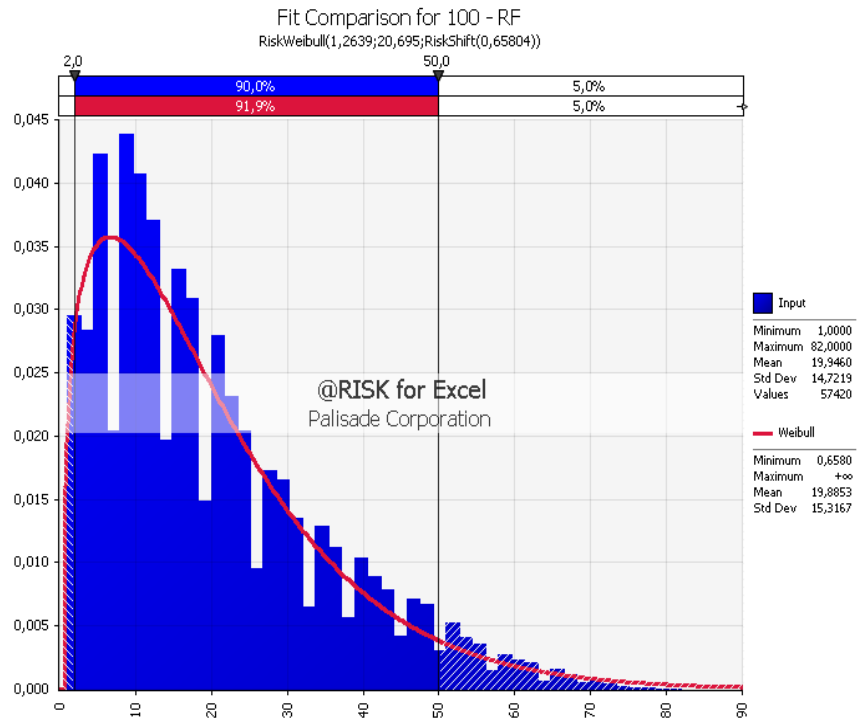


Figur 23. Vattenångans partialtryck som funktion av lufttemperatur vid 100 % RF

SMHI:s mätstationer mäter även den relativa fuktigheten och i Figur 24 har dessa mätdata analyserats för att hitta en passande fördelning. Då ingen av de föreslagna fördelningarna passade, skapades en ny dataserie där varje datapunkt subtraherades från 100. Detta skapade en ny dataserie som var lättare att hitta en representativ fördelning till. En Weibullfördelning har därmed valts att representera den nya dataserien, se Figur 25. När fördelningen sedan användes i simuleringarna räknades de slumpade värdena ur fördelningen om till den relativa fuktigheten genom att återigen subtrahera de slumpade värdet från 100.

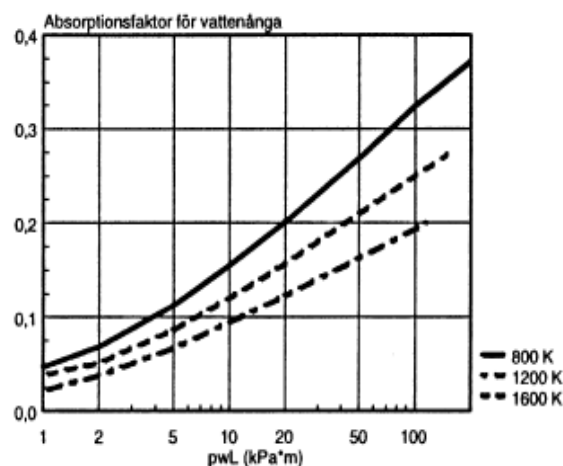


Figur 24. @Risk försöker anpassa en fördelning till den relativ fuktigheten.

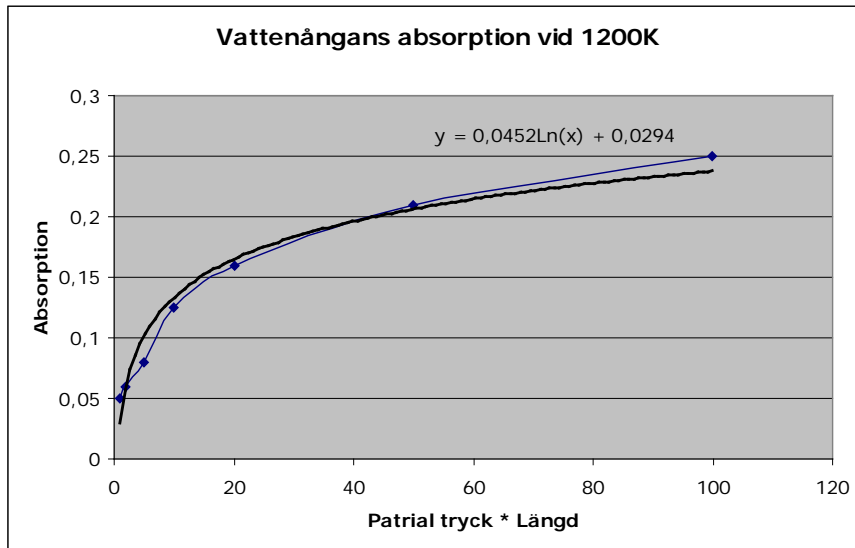


Figur 25. @Risk anpassar fördelning till 100 % minus den relativa fuktigheten.

Nu har vattenångans partialtryck bestämt, nu ska vattenångans absorption bestämmas. Detta görs genom att använda figur 11.2 (FOA, 1998), se Figur 26 nedan. I denna beräknas absorptionen genom att först välja vilken temperatur på flammen som är aktuell, för en propanjetflamma har 1600K valts. För att kunna göra simuleringar har diagrammet i Figur 26 plottats i Excel där en trendlinje har beräknats, se Figur 27. Denna trendlinje kommer att representera vattenångans absorption som funktion av dess partialtryck i luften och avståndet mellan flamma och skyddsobjekt.



Figur 26 Vattenångans absorptionsförmåga som funktion av vattenångans partialtryck och avståndet mellan flamma och skyddsobjekt



Figur 27. Anpassad funktion för vattenångans absorptionsförmåga

När sedan absorptionen tagits fram beräknas transmissionskoefficienten enligt nedanstående ekvation.

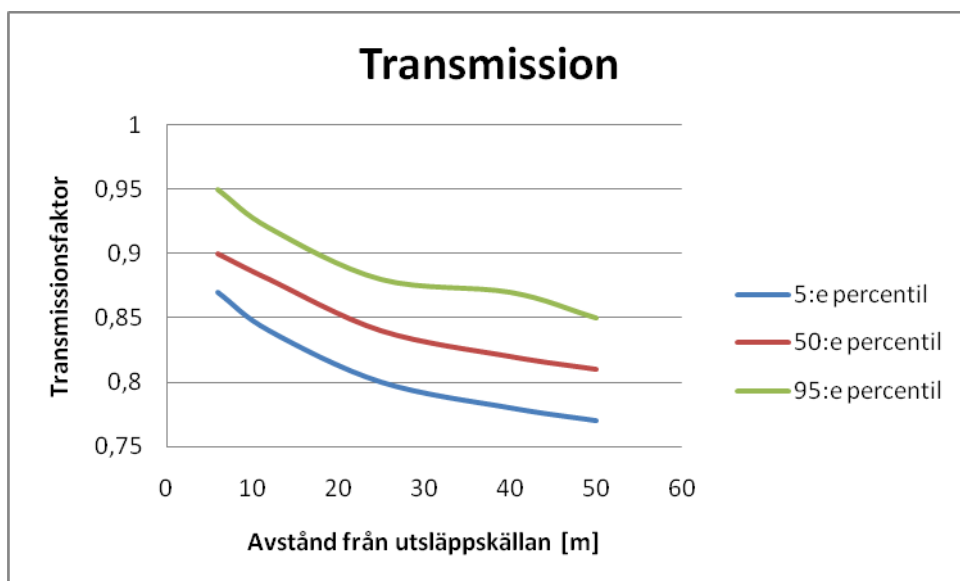
$$\tau_{\alpha} = 1 - \alpha_w - \alpha_c$$

[11:13 (FOA, 1998)]

där $\alpha_w =$ absorptionsförmågan hos vattenånga

$\alpha_c =$ absorptionsförmågan hos koldioxid

Resultatet för 6 till 50 meter från utsläppskällan redovisas nedan i Figur 28.

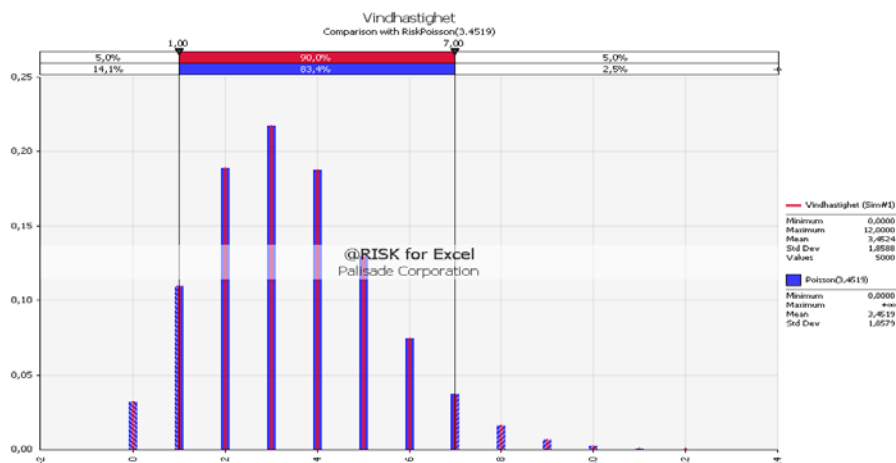


Figur 28. Transmissionsfaktor

C.2.2 Vind

Vindens hastighet och i vilken riktning det blåser får en avgörande betydelse vid utsläpp av giftiga gaser då gasmolnet kan driva in över befolkade områden och skada människor. Brännbara gaser är självklart giftiga för människor i höga koncentrationer men det primära är att bedöma om brännbara koncentrationer uppstår, inte dess giftighet. Om gasen antänds direkt vid utsläpp inverkar vinden inte i någon större utsträckning på jetflamman, men vid fördröjd antändning och vid beräkningar av avståndet till nedre brännbarhetsgränsen uppstår högre koncentrationer gas längre från utsläpps källan i vindens riktning.

I denna rapport diskuteras inte vindens riktning utan alla utsläpp med fördröjd antändning antas ske i vindens riktning vilket ger större områden med brännbara koncentrationer. Vindens hastighet representeras av en fördelning baserad på mätdata från Malmö (SMHI, 2008). Data är insamlad var tredje timme och en diskret fördelning är anpassad med hjälp av @Risk, i Figur 29 redovisas fördelningen.



Figur 29. Data över vindhastighet som diskret poissonfördelning (SMHI)

C.3 Gasens fysikaliska egenskaper

Strålningen från jetflamman beror även av gasens (gasol) egenskaper, i Tabell 12 presenteras nödvändiga uppgifter för att kunna beräkna strålningen. Vanligen utgår man från att jetflamman antar två gånger högre strålning per kvadratmeter än en icke sotande pölbrand med diametern en meter (FOA, 1998).

Tabell 12. Propans fysikaliska egenskaper (FOA, 1998)

Pölbrand (propan)		
Förbränningshastighet	0,13	[kg/m ² s]
d _f	1	[m]
Δh _c	4,65E+07	[J/kg]

$$h_f = 42d_p \left[\frac{b^*}{\rho_a \sqrt{gd_p}} \right]^{0,61} \quad [11:4 (FOA, 1998)]$$

$$P_{pöl} = \frac{0,35 * b^* * h_c}{1 + \frac{4h_f}{d_f}} \quad [11:7 (FOA, 1998)]$$

där $h_f = \text{flamhöjd [m]}$

$P_{pöl} = \text{strålning ifrån pölbranden } \left[\frac{W}{m^2} \right]$

$b^* = \text{massavbrinningshastighet } \left[\frac{kg}{m^2s} \right]$

$d_p = d_f = \text{pöl och flamdiameter [m]}$

$\rho_a = \text{luftens densitet } \left[\frac{kg}{m^3} \right]$

$g = \text{gravitationskonstanten } \left[\frac{m}{s^2} \right]$

Dessa beräkningar leder till en flamhöjd på ca 5m och en effekt på ca 84kW/m². När sedan jetflammas dimensioner bestäms antas denna stråla med två gånger den beräknade strålningen, alltså 168kW/m².

C.4 Jetflammans dimensioner och avstånd till nedre brännbarhetsgräns

Vid strålningsberäkningar approximeras jetflamma med en cylinder med höjden motsvarande avståndet till stökiometrisk koncentration i gasplymen och diametern med 0,15 gånger längden (FOA,

1998). För att beräkna jetflammans dimensioner, används ekvationerna för turbulent jet i stagnant medium (FOA, 1998), se ekvationer nedan.

$$x = \frac{5,95Q}{\sqrt{\rho_a F}} * \frac{1}{Y_{stök}} \quad [6:12 (FOA, 1998)]$$

där $Q = \text{massflöde från läckaget} \left[\frac{kg}{s} \right]$

$F = \text{rörelsemängden från läckaget} [N]$

$\rho_a = \text{luftens densitet} \left[\frac{kr}{m^3} \right]$

$x = \text{avstånd till stökiometrisk koncentration}$

$Y_{stök} = \text{stökiometrisk koncentration [mass - \%]}$

$L_f = x \quad [11:8 (FOA, 1998)]$

$d_f = 0,15L_f \quad [11:9 (FOA, 1998)]$

där $L_f = \text{flammlängden} [m]$

$d_f = \text{flammans approximerade diameter} [m]$

$x = \text{avståndet till stökiometerisk koncentration} [m]$

C.5 Strålning mot skyddsobjekt

Nu har strålningen per kvadratmeter och jetflammans dimensioner bestämts, för att kunna bestämma vilka strålningsnivåer som träffar skyddsobjektet måste nu vinkelkoefficienten bestämmas. Detta är ett enhetslöst mått på den andel av strålningen ifrån en yta som träffar en annan. För att beräkna jetflammans vinkelkoefficient antas den motsvara en stående cylinder och beräkningsformler för detta återfinns i FOA (1998). När sedan den maximala vinkelkoefficienten är bestämd beräknas strålningen från jetflamman mot skyddsobjektet.

C.5.1 Vinkelkoefficient

Nedan presenteras hur den maximala vinkelkoefficienten från en stående cylinder mot en yta bestäms.

$$F_{1-2(max)} = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} \quad [11:20 (FOA, 1998)]$$

där $F_h =$ vinkelkoefficient mot horisontell motagare

$F_v =$ vinkelkoefficient mot vertikal motagare

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left[\tan^{-1} \left(\frac{x_r + 1}{\sqrt{x_r^2 - 1}} \right) - \left(\frac{x_r^2 - 1 + h_r^2}{\sqrt{AB}} \right) \tan^{-1} \left(\frac{(x_r - 1)A}{\sqrt{(x_r + 1)B}} \right) \right] \quad [11:14 (FOA, 1998)]$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left[\left(\frac{1}{x_r} \right) \tan^{-1} \left(\frac{h_r}{\sqrt{x_r^2 - 1}} \right) + \left(\frac{h_r(A - 2x_r)}{x_r \sqrt{AB}} \right) \tan^{-1} \left(\frac{(x_r - 1)A}{\sqrt{(x_r + 1)B}} \right) - \left(\frac{h_r}{x_r} \right) \tan^{-1} \left(\frac{x_r - 1}{\sqrt{x_r + 1}} \right) \right] \quad [11:15 (FOA, 1998)]$$

där $A = (x_r + 1)^2 + h_r^2 \quad [11:16 (FOA, 1998)]$

$B = (x_r - 1)^2 + h_r^2 \quad [11:17 (FOA, 1998)]$

$h_r = \frac{h}{r} \quad [11:18 (FOA, 1998)]$

$x_r = \frac{x}{r} \quad [11:19 (FOA, 1998)]$

där $h =$ cylinderns höjd

$r =$ cylinderns radie

$x =$ avstånd mellan cylinderns centrum och skyddsobjektet

C.5.2 Strålning mot skyddsobjekt

Strålningen som träffar skyddsobjektet beror av utsänd strålning, vinkelkoefficient och transmissionskoefficient och beräknas enligt nedan.

$$P_{1-2} = F_{1-2(max)} * \tau_\alpha * P_{pöl} \quad [11:3 (FOA, 1998)]$$

där $P_{1-2} =$ Infallande strålning från yta 1 till yta 2 $\left[\frac{W}{m^2} \right]$

$F_{1-2} =$ Vinkelkoefficient för cylinder 1 mot yta 2 [-]

$\tau_\alpha =$ Transmissionskoefficient (sätts till 1) [-]

$P_{pöl} =$ Strålningseffekten ifrån pölbranden

C.6 Resultat

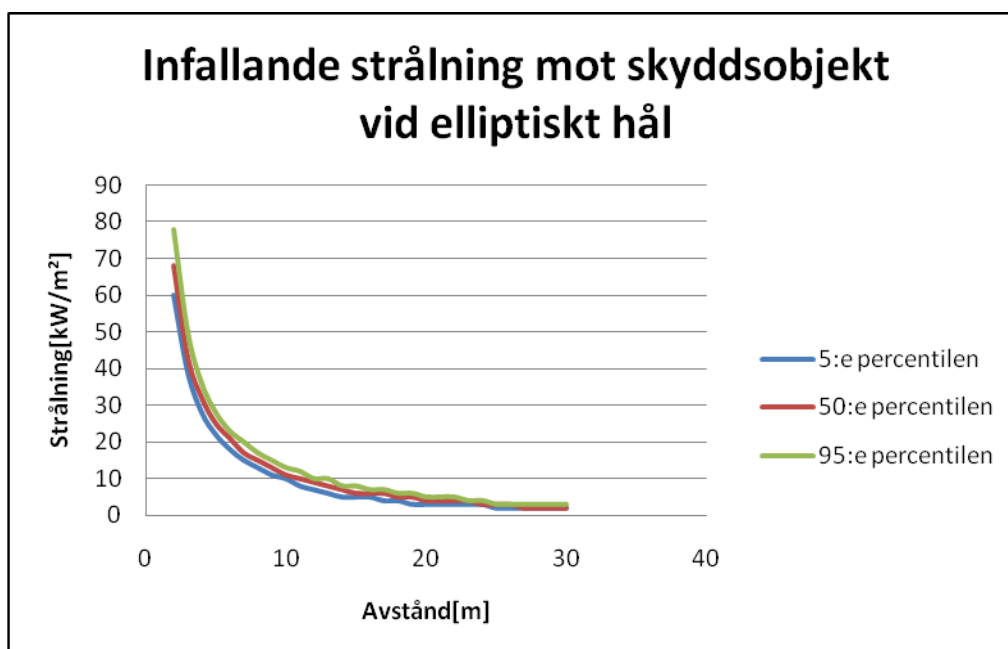
Utifrån de ovan givna förutsättningar har nu strålningsnivåer och jetflammans längd beräknats för två scenarier, slangbrott och flänsbrott. Resultaten presenteras nedan

C.6.1 Slangbrott

Slangbrottet är det dimensionerande skadefallet för flera av avstånden i tabell 5.1. Scenariot bygger på att slangens spricker och hålet motsvarar en tredjedel av slangens omkrets. Författaren har tolkat detta som att hålets höjd motsvarar en tredjedel av slangens omkrets sedan antagit ett elliptiskt hål där bredden motsvarar 60 procent av höjden. Värmestrålningsnivåerna har beräknats som en funktion av det vinkelräta avståndet från flammans centrum. Nedan i Tabell 13 presenteras strålningsnivåerna vid de avstånd som används i tabell 5.1 i SÄIFS 2000:4. Strålningsnivåerna presenteras som ett intervall mellan 5:e till 95:e percentilen.

Tabell 13. Strålningsnivåer vid olika avstånd från utsläppskällan

Avstånd	5:e percentilen	50:e percentilen	95:e percentilen
6 m	18 kW/m ²	21 kW/m ²	23 kW/m ²
12 m	7 kW/m ²	9 kW/m ²	10 kW/m ²
25 m	2 kW/m ²	3 kW/m ²	3 kW/m ²



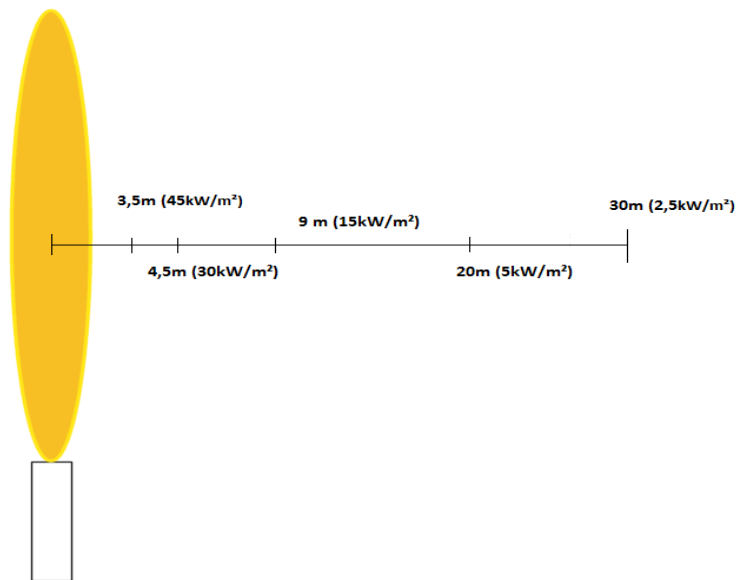
Figur 30. Strålningen som funktion av avståndet

I Figur 30 presenteras strålningen som funktion av avståndet mellan 2-30 meter. I diagrammet kan man se att det är en liten spridning på resultaten.

Tabell 14. Avstånd till specifika strålningsnivåer

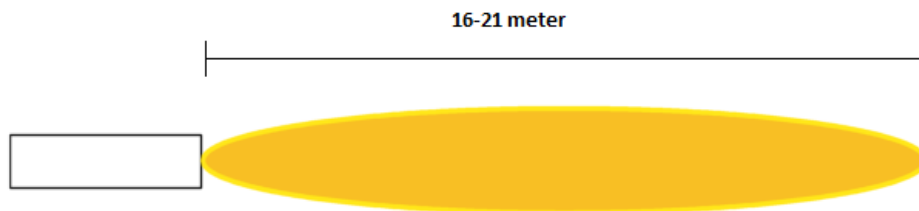
Strålningsnivåer	Avstånd (95:e percentilen)
45 kW/m ²	3,5m
30 kW/m ²	4,5m
15 kW/m ²	9 m
5 kW/m ²	20 m
2,5 kW/m ²	30 m

I Tabell 14 presenteras avståndet till strålningsnivåer som vanligen använd som skadekriterier vid deterministisk riskvärdering. Tabellen visar de avstånd där man med 95 procents säkerhet kan säga att man understiger de givna strålningsnivåerna.



Figur 31. Bilden visualiserar Tabell 14

Figur 31 visualiserar Tabell 14 och Figur 32 visar hur lång flammen blir i 90 procent av fallen.



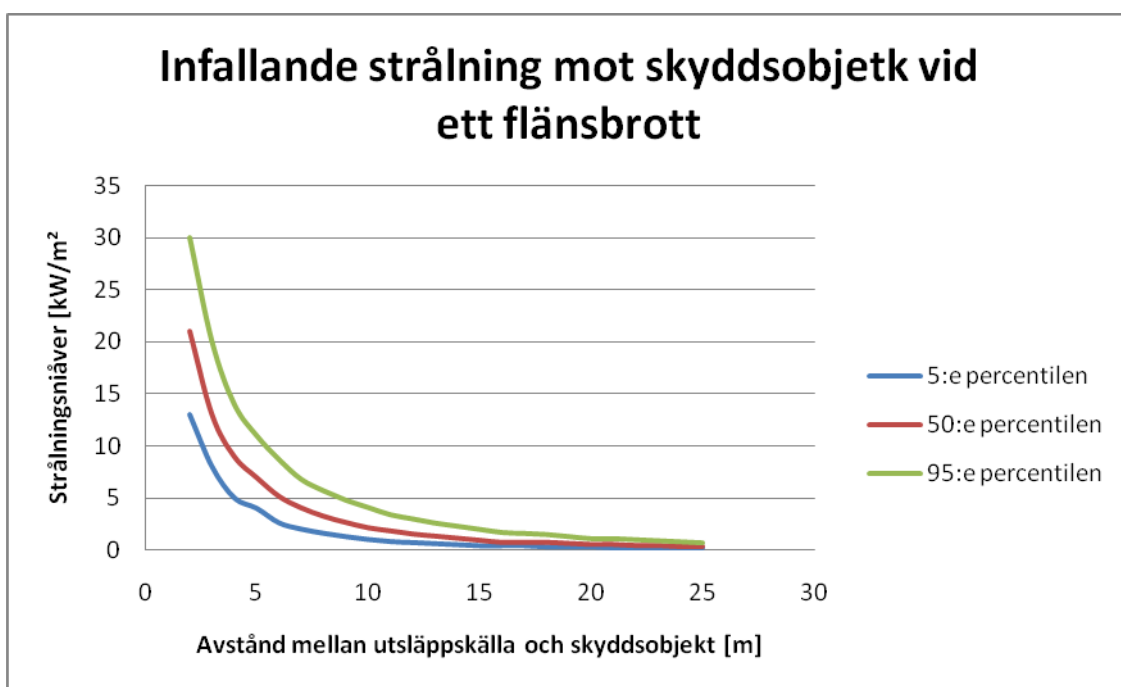
Figur 32. Flamlängd (avstånd till stökiometriskt gränsskikt)

C.6.2 Flänsbrott

I tabell 5.1 dimensioneras avståndet mellan pumpar, förångare samt mätskåp och omkringliggande objekt utifrån flänsbrott. För att kunna uppskatta konsekvenser av skadehändelsen har strålningsnivåer vinkelrätt från flammen beräknats samt jetflammans längd. Beräkningarna bygger på ett hål mellan två bultar i flänsen och packningsbredden har av författaren antagit vara 3mm. I Tabell 15 presenteras beräknade strålningsnivåer.

Tabell 15. Strålningsnivåer vid avstånden som används i tabell 5.1 SÄIFS 2000:4

Avstånd	5:e percentilen	50:e percentilen	95:e percentilen
3 m	8 kW/m ²	13 kW/m ²	20 kW/m ²
6 m	2,6 kW/m ²	5,2 kW/m ²	8,7 kW/m ²
12 m	0,7 kW/m ²	1,6 kW/m ²	3 kW/m ²
25 m	0,2 kW/m ²	0,4 kW/m ²	0,7 kW/m ²



Figur 33. Strålningsnivåer vid flänsbrott

I Figur 33 presenteras strålningsnivåerna som en kontinuerlig funktion av avståndet. Jämfört med slangbrottsscenarioet kan man se att det är större spridning på resultaten. Denna variation beror till stor del antagande som gasolens temperatur och därmed gasens ångtryck.

Tabell 16. Avstånd till specifika strålningsnivåer vid flänsbrott

Strålningsnivåer	Avstånd (95:e percentilen)
30 kW/m ²	2 m
15 kW/m ²	4,5 m
5 kW/m ²	9 m
2,5 kW/m ²	13 m

I Tabell 16 presenteras avståndet till strålningsnivåer som vanligen använd som skadekriterier vid deterministisk riskvärdering. Tabellen visar de avstånd där man med 95 procents säkerhet kan säga att man understiger de givna strålningsnivåerna. Jetflammans längd vid flänsbrottet är mellan 4 (5:e percentilen) och 9m (95:e percentilen). En brist i beräkningarna som kan kommenteras är att transmissionskoefficienten, som bygger på en temperaturfördelning, inte är korrelerad mot gasens maxtemperatur. Detta innebär att i några av beräkningarna kan alltså transmissionskoefficienten varit väldigt låg (stor absorption, vilket endast sker vid högt RF vilket i sin tur endast sker vid hög temperatur) medan gasens maxtemperatur varit väldigt låg. Rimligt vore att korrelera dessa variabler så att låg transmissionskoefficient endast uppstår samtidigt som en hög gastemperatur uppstår.

Bilaga D - Brand i träbyggnad

Ett av MSB:s dimensionerande skadefall är brand i träbyggnad. Utifrån detta scenario har MSB dragit slutsatsen att avståndet mellan cistern och byggnad får vara mellan 6-25 m, beroende på cisternens storlek, skyddsåtgärder och om cistern och byggnad ligger inom samma verksamhetsområde. Vid en eventuell brand i byggnaden är den skadeverkande mekanismen mot cisternen värmestrålning. MSB har inte specificerat scenariot mer än att det är en träbyggnad. Detta gör det svårt att återskapa beräkningar från vilka man kan dra slutsatser om acceptabla strålningsnivåer. Nedan förs dock ett resonemang om tänkbara strålningsnivåer.

Vid brand i en byggnad anser författaren att det troligaste scenariot är att ett skyddsobjekt utsätts för strålning från trasiga fönster. I det här fallet är fasaden i trä därmed kan man även tänka sig att fasadpartiet ovan fönstret antänder, men flammorna antar inte lika hög temperatur som i inne i byggnaden. I beräkningarna antas det att flamtemperaturen från flammor i fönstret är 1000°C och att flammorna från fasadpartiet ovan fönstret är ca 800°C (Brandskyddshandboken, 2005). Då det inte finns några uppgifter om den dimensionerande byggandens dimensioner och hur stor del av fasaden som täcks av fönster så antas hela fasaden stråla med en strålningsintensitet motsvarande 900°C. Nedan redovisas beräkningsgången.

$$P_{1-2} = \epsilon * F_{1-2} * \tau_{\alpha} * \sigma * T^4 \quad [11:1, 2 \text{ och } 3 \text{ (FOA, 1998)}]$$

där $P_{1-2} = \text{Infallande strålning från yta 1 till yta 2} \left[\frac{W}{m^2} \right]$

$$\epsilon = \text{Emissionsfaktor (sätts till 1)} [-]$$

$$F_{1-2} = \text{Vinkelkoefficient för yta 1 mot yta 2} [-]$$

$$\tau_{\alpha} = \text{Transmissionskoefficient (sätts till 1)} [-]$$

$$\sigma = 5,67 * 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]$$

$$T = \text{ytans temperatur [K]}$$

För dessa beräkningar antas emissions- och transmissionsfaktorn vara 1 av konservativa skäl.

$$P_{1-2} = \epsilon * F_{1-2} * \tau_{\alpha} * \sigma * T^4 = 1 * F_{1-2} * 1 * 5,67 * 10^{-8} * 1173^4 = \frac{107,3 kW}{m^2} * F_{1-2}$$

Nedan redovisas beräkningsgången för synfaktorn för en yta mot en punkt

$$F_{1-2(max)} = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} \quad [11:27 \text{ (FOA, 1998)}]$$

där $F_h = \text{vinkelkoefficient mot horisontell motagare}$

$$F_v = \text{vinkelkoefficient mot vertikal motagare}$$

$$F_h = \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1} \left(\frac{1}{x_r} \right) - A x_r \tan^{-1} A \right] \quad [11:21 \text{ (FOA, 1998)}]$$

$$F_v = \frac{1}{2\pi} \left[h_r A \tan^{-1} A + \left(\frac{B}{h_r} \right) \tan^{-1} B \right] \quad [11:22 \text{ (FOA, 1998)}]$$

där $A = \frac{1}{\sqrt{h_r^2 + x_r^2}} \quad [11:25 \text{ (FOA, 1998)}]$

$$B = \frac{h_r}{\sqrt{10x_r^2}} \quad [11:26 \text{ (FOA, 1998)}]$$

$$h_r = \frac{h}{b} \quad [11:23 \text{ (FOA, 1998)}]$$

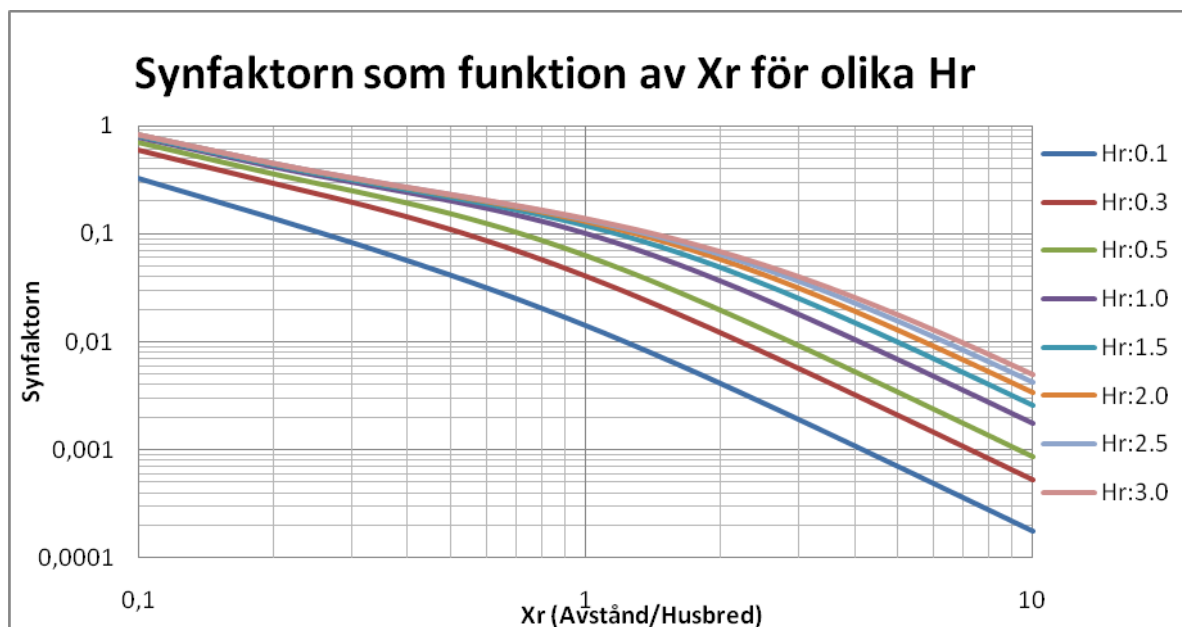
$$x_r = \frac{x}{b} \quad [11:24 \text{ (FOA, 1998)}]$$

där $h = \text{planets höjd}$

$b = \text{planets bredd}$

$x = \text{avstånd mellan planet och skyddsobjektet}$

Synfaktorn varierar med kvoten mellan byggnadens höjd och bredd (H_r) samt mellan avstånd mellan byggnadens bredd och avståndet till skyddsobjektet (X_r). Nedan i Figur 34 kan man se hur synfaktorn varierar X_r för olika H_r .



Figur 34. Synfaktorn som funktion av X_r och H_r

Då MSB inte beskrivit någon dimensionerande byggnad kan inte något exakt svar på synfaktorn ges. Däremot kan man ta reda X_r för olika byggnadstyper och olika strålningsnivåer. Syftet är att kunna ge

svar på vad som är ett säkert förhållande mellan byggnadens bredd och avståndet till skyddsobjektet. Följande är känt:

$$P_{1-2} = \frac{107,3kW}{m^2} * F_{1-2}$$

MSB säger att de verifierat deras beräkningar mot 15kW/m² när avstånden i tabell 5.1 bestämdes. Författaren väljer att undersöka även högre strålningsnivåer som 30 kW/m² och 45kW/m². Frågan är då hur hög får synfaktorn maximalt vara för att inte strålningen mot skyddsobjektet inte ska överstiga 15, 30 eller 45kW/m². Nedan beräknas maximal synfaktor för att inte överstiga 15kW/m²

$$\frac{15kW}{m^2} = \frac{107,3kW}{m^2} * F_{1-2} \rightarrow$$

$$\rightarrow F_{1-2} = \frac{\frac{15kW}{m^2}}{\frac{107,3kW}{m^2}} = 0,14$$

Tabell 17 beskriver sedan hur X_r varierar för olika byggnadstyper för att strålningsnivåerna ska understiga 15, 30 eller 45kW/m². Tabellen ska tolkas som att om man har en byggnad där höjden delat på bredden är 0,5 (H_r = 0,5) så kan man ställa ett skyddsobjekt på 0,25 × byggnadsbredden utan att riskera att strålningsnivåerna överstiger 30 kW/m².

Tabell 17.X_r för olika strålningsnivåer och byggnadstyper.

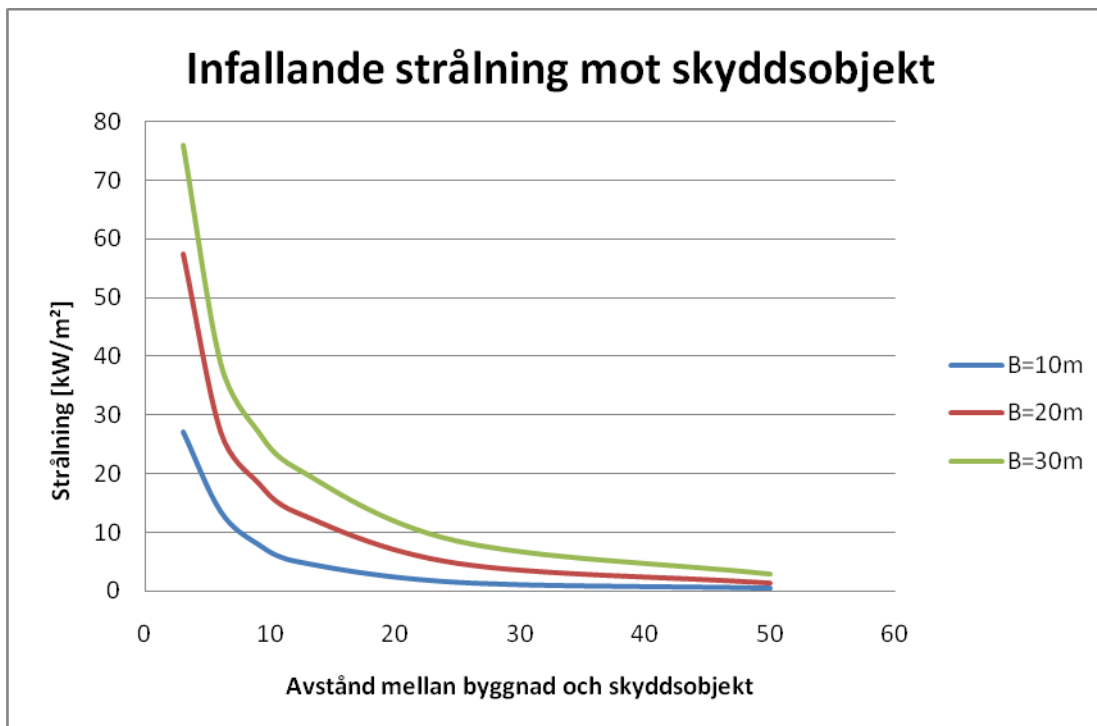
Maximal synfaktor [-]	Hr: 0.1	Hr: 0.3	Hr: 0.5	Hr: 1	Hr: 1.5	Hr: 2.0
F=0.14 (15kW/m ²)	0.2	0.4	0.55	0.75	0.85	0.9
F=0.28 (30kW/m ²)	0.15	0.2	0.25	0.35	0.35	0.35
F=0.42 (45kW/m ²)	0.1	0.15	0.2	0.2	0.2	0.25

För att få en uppfattning om vad som kan vara tänkbara strålningsnivåer, beräknas nedan strålningsnivåerna som funktion av avståndet från en byggnad med H_r =0,5 och är mellan 10 - 30m bred. Byggnaderna anses av författaren representativa för tänkbara byggnader i ett industriområde. De beräknade strålningsnivåerna presenteras i Tabell 18 och plottade i Figur 35.

Tabell 18. Strålningsnivåer mot skyddsobjektet vid byggnadsbrand

Avstånd	Hr = 0,5 : B=10m	Hr = 0,5 B=20m	Hr = 0,5 B=30m
3	27,1 kW/m ²	57,5 kW/m ²	76 kW/m ²
6	13,5 kW/m ²	27,1 kW/m ²	38,8 kW/m ²
9	7,9 kW/m ²	18,5 kW/m ²	27,2 kW/m ²
12	5 kW/m ²	13,5 kW/m ²	21 kW/m ²
25	1,4 kW/m ²	4,75 kW/m ²	8,5 kW/m ²
50	0,4 kW/m ²	1,4 kW/m ²	2,9 kW/m ²

Om ett skyddsobjekt stod ca 2-5m från byggnaden skulle en brand kunna leda till att strålningsnivån överstiger 45kW/m², mellan 5 -15m skulle strålningsnivån överstiga 15kW/m² och mellan 30 -35m skulle strålningsnivån kunna överstiga 5kW/m².



Figur 35. Strålning som funktion av avstånd

Strålningsnivåerna som presenteras i Figur 35 anses vara konservativa då flera konservativa antaganden gjorts i beräkningarna. Emissions- och transmissionskoefficienterna har satts till 1, hela byggnadens fasad antas stråla som om den vore 900°C när de endast bära vara fönster och partier ovan fönster som brinner samt att det är stora byggnader som brinner.

Bilaga E - Fordonsbrand

Normallastad buss eller lastbil utan farligt gods, brand antas uppstå till följd av felfunktion eller överhettning ej på grund av olycka.

SP, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut har gjort fullskaligförsök med bussbränder (Hammarström, m.fl., 2008). Vid försöken mättes bland annat effektutveckling och temperatur i bussen. Försöket avbröts innan bussen var helt övertänd, den maximala effekt som mättes innan försöket avslutade, efter 20min, var ca 13MW. Temperaturen i bussen var då mellan 600C° och 900C°. I rapporten resonerar man sig fram till att om bussen fått fortsätta att brinna fritt skulle fler fönster gå sönder och skapa mer ventilation och därmed effekten öka till uppskattningsvis 25MW (Hammarström, m.fl., 2008). Beräkningarna kommer att utgå från maxtemperaturen i bussen.

Det är svårt att dra några säkra slutsatser om vilken maxtemperaturen i bussen skulle vara om hela bussen blev övertänd. Temperaturen i bussen varierar mellan 600C° och 900C°, därmed antas hela bussen vara 900C° i beräkningarna.

För strålningsberäkningarna antas bussen vara en plan yta som strålar, samma beräkningsmetod som i scenario 1. Bilder i rapporten visar att flammor slår upp 2 meter över bussen vilket gör att det approximerade planet bör vara högre än bussen. Dock är temperaturerna i flammorna ovan bussen inte lika hög som inne i bussen vilket gör temperaturuppskattningen, 900 C°, ytterligare konservativ. Vid experiment med fritt brinnande föremål har man mätt flamtemperaturen till ca 700 C° - 1200 C° i centrum och 500 C° - 600 C° i toppen på flammorna (Brandskyddshandboken, 2005). Flamtemperaturen sjunker alltså ganska drastiskt mot toppen av flammen. Eftersom hela det approximerade planet antas till 900 C° kommer endas planets höjd höjas med 1m på grund av de flammor som slår upp över bussen. Mellan fönstren och hjulhusen finns bara karossen som antas obrännbar och denna yta, ca ¼ av bussens sidoyta, bör därmed rimligen uteslutas från det approximerade planet. I beräkningar kommer dock ytan att inkluderas för att täcka upp för osäkerheter, vilket gör beräkningarna ytterligare konservativa. För dessa beräkningar antas bussen ha samma dimensioner som i SP:s fullskaligförsök, 13m lång och 4m hög (5m i dessa beräkningar p.g.a. flammor ut ur bussen). Strålningen beräknas på 8 m avstånd från bussen enligt scenario 13 och 14, se Bilaga B. Baserat på alla de konservativa antaganden som beskrivits ovan, anses beräkningarna konservativa. Dock kvarstår en osäkerhet och det är temperaturen i bussen om den skulle få brinna fritt och nå 25MW. De maximalt uppmätta temperaturerna vid brand i fasta material är 700-1200C°. Då det inte är fri tillgång till syre runt hela branden antas temperaturen inte riktigt kunna nå 1200C°, men för att täcka upp för eventuella osäkerhet beräknas vilka strålningsnivåer som skulle kunna träffa ett skyddsobjekt om bussen var 1100 C°. Först beräknas vinkelkoefficienten (synfaktorn) för en het yta på 8 m avstånd, därefter beräknas strålningen.

E.1.1 Synfaktorn

Vinkelkoefficienten är den andel av strålningen ifrån en yta som träffar en annan, faktorn är rent geometrisk. Nedan beräknas den maximala vinkelkoefficienten för en plan yta motsvarande ena av bussens långsidor. Resultaten presenteras i Tabell 19.

$$F_{1-2(max)} = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} \quad [11:27 (FOA, 1998)]$$

där $F_h =$ vinkelkoefficient mot horisontell motagare

$F_v =$ vinkelkoefficient mot vertikal motagare

$$F_h = \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1} \left(\frac{1}{x_r} \right) - Ax_r \tan^{-1} A \right] \quad [11:21 (FOA, 1998)]$$

$$F_v = \frac{1}{2\pi} \left[h_r A \tan^{-1} A + \left(\frac{B}{h_r} \right) \tan^{-1} B \right] \quad [11:22 (FOA, 1998)]$$

där $A = \frac{1}{\sqrt{h_r^2 + x_r^2}} \quad [11:25 (FOA, 1998)]$

$$B = \frac{h_r}{\sqrt{10x_r^2}} \quad [11:26 (FOA, 1998)]$$

$$h_r = \frac{h}{b} \quad [11:23 (FOA, 1998)]$$

$$x_r = \frac{x}{b} \quad [11:24 (FOA, 1998)]$$

där $h =$ planets höjd

$b =$ planets bredd

$x =$ avstånd mellan planet och skyddsobjektet

Tabell 19. Resultat från beräkningar av vinkelkoefficienten

Vinkelkoefficient	
Bredd(b):	13
Höjd(h):	5
Avstånd(x):	8
Xr	0,615
hr	0,385
A	1,378
B	0,198
Fh	0,0345
Fv	0,0943
F	0.1017

E.1.2 Strålning

Strålningen bestäms först genom att beräkna den maximala strålningen för en yta som är 900°C, enligt 11.1 nedan. Sedan beräknas hur stor del av strålningen som träffas skyddsobjektet, genom att ta hänsyn till transmission, emission och vinkelkoefficient.

$$P_1 = \sigma \times T^4 \quad [11:1 (FOA, 1998)]$$

där $P_1 = \text{Utstrålad effekt} \left[\frac{W}{m^2} \right]$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]$$

$$T = \text{Temperatur}[K]$$

$$P_{1-2} = F_{1-2(max)} * \tau_{\alpha} * P_{buss} \quad [11:3 (FOA, 1998)]$$

där $P_{1-2} = \text{Infallande strålning från yta 1 till yta 2} \left[\frac{W}{m^2} \right]$

$$F_{1-2} = \text{Vinkelkoefficient för cylinder 1 mot yta 2} [-]$$

$$\tau_{\alpha} = \text{Transmissionskoefficient(sätts till 1)}[-]$$

$$P_{buss} = \text{Strålningseffekten buss}$$

Nedan beräknas strålningsnivåerna för bussbranden, där transmissionskoefficienten har satts till 1.

$$P_{1-2} = F_{1-2(\max)} \cdot \tau_{\alpha} \cdot \sigma \cdot T^4 = 0,102 \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1173^4 = \frac{10,9kW}{m^2}$$

Resultatet är en strålningsnivå på ca 10,9 kW/m² vid 8m avstånd om bussen är 900°C.

$$P_{1-2} = F_{1-2(\max)} \cdot \tau_{\alpha} \cdot \sigma \cdot T^4 = 0,102 \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1373^4 = \frac{25,5kW}{m^2}$$

Resultatet är en strålningsnivå på ca 25,5 kW/m² vid 8m avstånd om bussen är 1100°C.

E.2 Slutsats

Strålningsnivåerna för en bussbrand mot ett skyddsobjekt kan konservativt antas vara mellan 10 - 25kW/m² efter 20min brand.

Bilaga F - Brand i material med stor brandbelastning

Avståndet i tabell 5.1 mellan material med stor brandbelastning och gasanläggningen avser dels att skydda cisternen dels att skydda materialet vid brand i gasanläggningen. I SÄIFS 2000:4 preciseras några exempel på material med stor brandbelastning: cistern med brandfarlig vätska, pallager, däcklager. För att få en uppfattning om konsekvenserna av ett brand i material med hög brandbelastning beräknas strålningsnivåerna från en brand i brandfarlig vätska.

Nedan beräknas vilka strålningsnivåer mot ett avlagset skyddsobjekt som är tänkbara för dessa tre scenarier.

F.1 Cistern med brandfarlig vätska

En större cistern med brandfarlig vätska är alltid invallad för att inte ett läckage ska kunna sprida sig och börja brinna på något annat ställe. Vid konsekvensberäkningar för en pölbrand antar man vanligen att brandens area motsvarar invallningens area. I detta exempel antas läckage uppstå på en cistern med 20m³ heptan. Cisternens är cylindrisk med en diameter på 2m och en längd på 7m, invallningen runt cisternen är 1m hög 3m bred och 8 m lång. Nedan beräknas vilka strålningsnivåer man kan vänta sig från en sådan brand.

Heptan brinner kraftigt och har en förbränningshastighet på 0,1kg/m²s, ett energivärde på 44,6Mj/kg och pölen är rektangulär med area på 24m². Först beräknas flammans höjd sedan vilken strålningsintensitet som flammorna har. Ekvationen för flammhöjden är avsedd för cirkulära pölbränder. I detta då pölen är en rektangulär och sidoförhållandena är större än 2 beräknas höjden för halva pölen, sedan antas pölen stråla som om den vore ett plan istället för en cylinder(FOA, 1998).

$$Area = 24m^2$$

$$Ekvivalent diameter för halva pölen = 4 * \frac{4m * 3m}{2 * 3m + 2 * 4m} = 3,4m \quad [11:5 (FOA, 1998)]$$

$$h_f = 42d_p \left[\frac{b'}{\rho_a \sqrt{gd_p}} \right]^{0,61} \quad [11:4 (FOA, 1998)]$$

$$h_f = 10,75$$

$$P_{pöl} = \frac{0,35 * b' * h_c}{1 + \frac{4h_f}{d_f}} \quad [11:7 (FOA, 1998)]$$

$$P_{pöl} = 114383W/m^2$$

där $h_f = \text{flamhöjd}[m]$

$$P_{pöl} = \text{strålning ifrån pölbranden} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$$b' = \text{massavbrinningshastighet} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}} \right]$$

$$d_p = d_f = \text{pöl och flamdiameter} [\text{m}]$$

$$\rho_\alpha = \text{luftens densitet} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$g = \text{gravitationskonstanten} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

Strålningen från branden mot skyddsobjektet beräknas nu med nedanstående ekvation. Där

$$P_{1-2} = \epsilon * F_{1-2} * \tau_\alpha * P_{pöl} \quad [11:1, 2 \text{ och } 3 \text{ (FOA, 1998)}]$$

där $P_{1-2} = \text{Infallande strålning från yta 1 till yta 2} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$

$$\epsilon = \text{Emissionsfaktor (sätts till 1)} [-]$$

$$F_{1-2} = \text{Vinkelkoefficient för yta 1 mot yta 2} [-]$$

$$\tau_\alpha = \text{Transmissionskoefficient (sätts till 1)} [-]$$

$$\sigma = 5,67 * 10^{-8} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \right]$$

$$T = \text{ytans temperatur} [\text{K}]$$

För dessa beräkningar antas emissions- och transmissionsfaktorn vara 1 av konservativa skäl.

$$P_{1-2} = \epsilon * F_{1-2} * \tau_\alpha * P_{pöl} = \frac{114,3 \text{ kW}}{\text{m}^2} * F_{1-2}$$

Nedan redovisas beräkningsgången för synfaktorn för en yta mot en punkt

$$F_{1-2(\text{max})} = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} \quad [11:27 \text{ (FOA, 1998)}]$$

där $F_h = \text{vinkelkoefficient mot horisontell motagare}$

$$F_v = \text{vinkelkoefficient mot vertikal motagare}$$

$$F_h = \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1} \left(\frac{1}{x_r} \right) - A x_r \tan^{-1} A \right] \quad [11:21 \text{ (FOA, 1998)}]$$

$$F_v = \frac{1}{2\pi} \left[h_r A \tan^{-1} A + \left(\frac{B}{h_r} \right) \tan^{-1} B \right] \quad [11:22 \text{ (FOA, 1998)}]$$

där $A = \frac{1}{\sqrt{h_r^2 + x_r^2}} \quad [11:25 \text{ (FOA, 1998)}]$

$$B = \frac{h_r}{\sqrt{10x_r^2}} \quad [11:26 \text{ (FOA, 1998)}]$$

$$h_r = \frac{h}{b} \quad [11:23 \text{ (FOA, 1998)}]$$

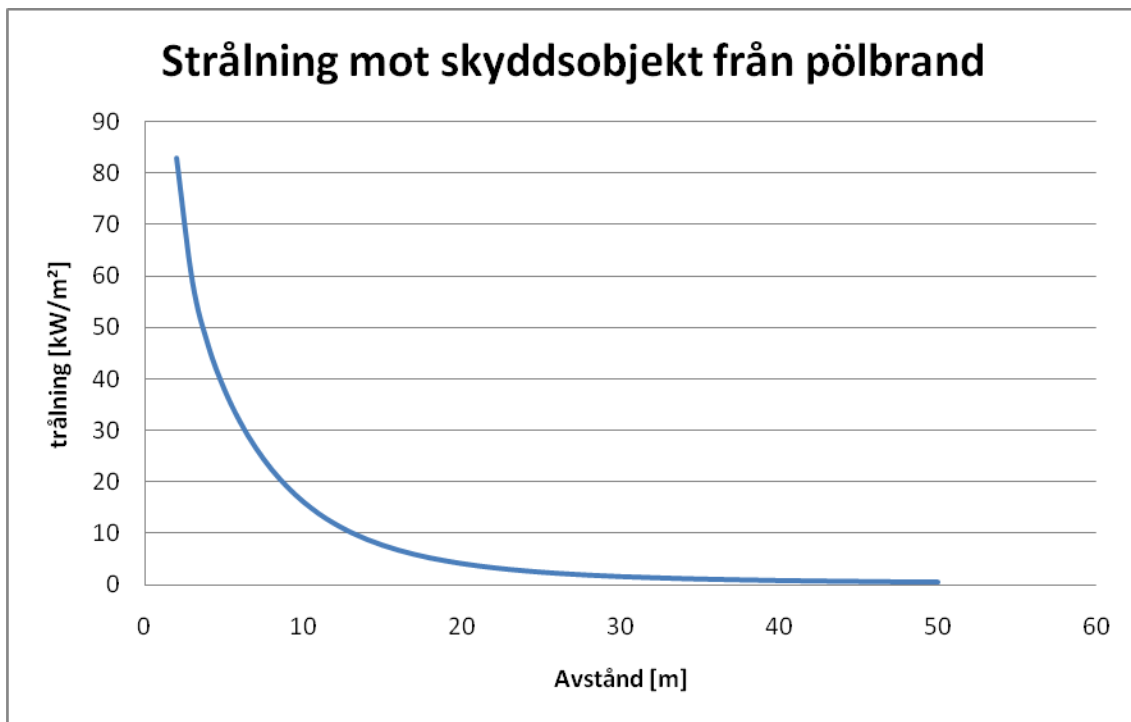
$$x_r = \frac{x}{b} \quad [11:24 \text{ (FOA, 1998)}]$$

där h = planets höjd

b = planets bredd

x = avstånd mellan planet och skyddsobjektet

Synfaktorn beräknas på en plan yta med dimensionerna 8m×9,75m (10,75m minus 1m vall) för olika avstånd från pölbranden. Nedan redovisas strålningen som funktion av avståndet från kanten på invallningen.



Figur 36. Strålning mot skyddsobjekt från pölbrand

Tabell 20. Avståndet till specifika konsekvenser

Maximal strålning	Avstånd
45kW/m ²	4m
30kW/m ²	6.5m
15kW/m ²	10.5m
5kW/m ²	18m

Tabell 21. Konsekvenser vid specifika avstånd.

Avstånd	Strålning
6m	32kW/m ²
12m	12kW/m ²
25m	2kW/m ²
50m	0.4kW/m ²

Bilaga G - Temperaturökning i stål vid strålning

För att få en uppfattning om hur länge en cistern måste vara brandpåverkad för att förlora sin tryckbärande förmåga görs här några enkla handberäkningar. Utgångspunkten är en 1m² och 16mm tjock stålskiva som utsätts för värmestrålning. Cisternen antas vara vitmålad och därmed ha en absorptionskoefficient på 0,3 (Raj, 2005). Ledning och konvektiv värmetransport från cisternen till omgivning antas vara noll i dessa beräkningar, vilket är ett konservativt antagande.

Termiska data för stål	
Densitet	7800kg/m ³
Specifik värmekapacitet	460J/kg°C

Beräkningsgång för att bestämma tid tills stålskivan antar en given temperatur

$$\text{Stålskivans massa} = 1\text{m} \times 1\text{m} \times 0,016\text{m} \times \frac{7800\text{kg}}{\text{m}^3} = 124,8\text{kg}$$

$$\text{Energinmängd för att höja skivans temp en grad} = 124,8 * \frac{460\text{J}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} = 57408\text{J}/^\circ\text{C}$$

$$\text{Tid till } 500^\circ\text{C vid } 7,5\text{kW}/\text{m}^2 = \frac{(500^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) * 57408\text{J} / ^\circ\text{C}}{(0,3 * 7,5\text{kW}/\text{m}^2)} = 12250\text{s} \approx 204\text{min}$$

Tabell 22. Tid till kritiska temperaturer

Stålskiva 1m × 1m × 0,016m (T ₀ = 20°C)				
Tid till (min)	300°C	400°C	500°C	600°C
Strålningsnivåer				
7.5 kW/m ²	119	162	204	247
15 kW/m ²	60	81	102	123
30 kW/m ²	30	40	51	62
45 kW/m ²	20	27	34	41
60 kW/m ²	15	20	26	31