

Brandteknisk riskanalys - indata, metodik och osäkerhetsanalys

***Marcus Andersson
Katarina Wadensten***

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

**Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5080, Lund 2002

**Brandteknisk riskanalys
- indata, metodik och osäkerhetsanalys**

**Marcus Andersson
Katarina Wadensten**

Lund 2002

Brandteknisk riskanalys – indata, metodik och osäkerhetsanalys

Marcus Andersson
Katarina Wadensten

Report 5080
ISSN: 1402-3504
ISRN: LUTVDG/TVBB--5080--SE

Number of pages: 214
Illustrations: Marcus Andersson, Katarina Wadensten

Författarna svarar för innehållet i rapporten.

Keywords

Risk analysis, fire, evacuation, failure rate, fire prevention systems, assembly hall, event tree, fault tree, uncertainty analysis, bayesian approach, Monte Carlo-simulation, STEPS, FAST, @RISK

Sökord

Riskanalys, brand, utrymning, funktionssannolikhet, brandtekniska system, samlingslokal, händelseträäd, felträäd, osäkerhetsanalys, bayesiansk uppdatering, Monte Carlo-simulering, STEPS, FAST, @RISK

Abstract

The aim of this report is to present a proposal of how to derive input parameters to risk analysis regarding fires in buildings, with consideration taken to uncertainty. A risk analysis method of how to calculate and present risk, also with consideration taken to the uncertainty, is presented. The method is also used in an example. (Swedish)

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2002.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

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

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

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

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

Sammanfattning

I många av de byggnader som projekteras idag är förenklad dimensionering av olika anledningar inte tillämpbar, utan det krävs att brandskyddet dimensioneras med hjälp av analytiska metoder. Till exempel kan riskbaserad dimensionering användas. Här tas hänsyn till att de brandtekniska systemen kan falla med viss sannolikhet, och konsekvensen av felfunktion undersöks.

Rapporten redovisar och exemplifierar ett antal metoder och beräkningsmodeller som kan användas vid riskbaserad dimensionering samt ger en diskussion runt dessa.

Rapporten syftar även till att noggrant utreda och ge förslag på värden på indata som är nödvändiga vid utförande av en brandteknisk riskanalys. En sammanställning av information från litteratur, statistik och beräkningsmodeller ges för att ge en samlad bild, dels av de vedertagna praxis som används världen över, dels av resultat av forskning som utförts på området. Resultatet av denna sammanställning ger ett bredare underlag för bedömning av indata till brandtekniska riskanalyser. Värden på indata anges i stor omfattning som sannolikhetsfördelningar för att ta hänsyn till ingående osäkerheter.

Nödvändig indata vid riskbaserad dimensionering består av olika typer av information. Dels behövs en bedömning av sannolikhet för felfunktion på ingående brandtekniska system, dels behövs en uppskattning av en mängd olika parametrar för undersökning av vilken konsekvensen kan bli vid en eventuell brand. De faktorer som avgör konsekvensen består både av parametrar som styr brandens egenskaper och parametrar som styr utrymningsförloppet.

I rapporten har en ingående studie av frekvens för brands uppkomst utförts, främst med hjälp av beräkningsmodeller men även till viss del med hjälp av befintlig statistik. Frekvens för brands uppkomst redovisas för olika typer av verksamheter, med en fördjupning i verksamhetstyperna samlingslokal och vårdavdelning.

Brands tillväxthastighet har studerats för allmänna byggnader. Tillväxthastigheten har uppskattats genom studie av tester och av statistik över startföremål vid brand från inrapporterade bränder.

Sannolikheten för felfunktion har utretts för bland annat följande system: Brand- och utrymningslarm, sprinklersystem samt utrymningsvägars tillgänglighet. Utredningen är i första hand gjord genom litteraturstudier.

Vidare har en rad parametrar som påverkar utrymningsförloppet studerats ingående. Dessa parametrar är personfördelning i olika typer av lokaler, personflöden, gånghastigheter och val av utgång samt varseblivnings-, reaktions- och beslutstid. Analysen av dessa parametrar har till stor del utförts genom studier av resultat från försök och en sammanställning av dessa.

För att visa på en metod för utförande av riskanalys där hänsyn tas till osäkerheter i indata, genomförs ett exempel på en brandteknisk riskanalys för en fiktiv samlingslokal. Indata till händelsetråd och ingående parametrar i brand- och utrymningsmodeller väljs från värden framtagna i rapporten. En bedömning av riskens omfattning ges med riskprofil. Beräkning av förväntat antal besökare exponerade för kritiska och dödliga förhållanden genomförs. Olika brandtekniska systems inverkan på risknivån i det specifika fallet utreds.

Det genomförda exemplet ger resultat som visar på att en noggrann jämförelse mellan olika utformningars säkerhetsnivå kan göras med använd metod. Användandet av osäkerheter i analysförfarandet ger också möjlighet att studera osäkerheterna i beräknade resultat samt att studera vilka parametrar och osäkerheter som inverkar mest på resultaten.

Summary

In many buildings that are being designed today ordinary fire codes can not be used to verify sufficient fire safety. Instead, various analytical methods are being used. For example, risk based design can be used. Using risk based design, the performance of the buildings fire safety is evaluated also with regards to possible failure of various technical systems.

This report presents and exemplifies a number of methods and models that can be used in risk based design. A brief discussion concerning these is also presented.

The report also aims to thoroughly examine and give suggestions of input that are necessary when performing a risk analysis regarding fire in buildings. A résumé of information from various publications, statistics and models for performing calculations is presented in order to give a summary of established data and performed research. The result of this study is a broad base for determining values of input to risk analysis regarding fire. The suggested inputs are to a great extent given as probability distributions.

Necessary input when performing risk based design consist of various types of information. The probabilities of failure for various technical systems need to be determined. Also, different parameters that affect the consequences of an occurred fire must be estimated. These are parameters that affect both the behaviour of the fire and the evacuation process.

In this report a thorough study of fire frequencies is performed, mainly on basis of different calculations but also based on statistics. Fire frequencies for various types of buildings are suggested. A more detailed study is carried out for assembly halls and hospital wards.

The fire growth rate have been analysed for public buildings. This analysis is based on studies of full scale tests on various items and statistics regarding igniting objects in reported fires.

Failure rates have been analysed for among others the following systems: Fire and evacuation alarm, sprinkler systems and accessibility of evacuation routes. The study is mainly performed by studies of literature.

Also, a number of parameters influencing the evacuation process have been studied. These parameters are the distribution of people in various types of buildings, flow of people through exits during evacuation, walking speeds, choice of exit and premovement time. The analysis is mainly based on studies of results from various experiments.

To display a method for performing risk analysis where consideration is taken to uncertainties, an example of a presented model is carried out. The example is performed for an assembly hall. Input to the event tree and parameters affecting fire behaviour and evacuation process is based on values presented in this report. The magnitude of the risk is estimated using risk curves. The expected number of people exposed to untenable and lethal conditions is calculated. The effect of various technical systems on the level of risk is studied in the specific case.

The calculated example shows that it is possible to carry out a thorough comparison of different designs in regards to their safety level using this method. Also, the use of uncertainties in the analysis renders it possible to display and analyse uncertainties in the

calculated results. It also makes it possible to point out which parameters and uncertainties have the greatest impact on calculated results.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	I
SUMMARY	III
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	V
1 INLEDNING.....	11
1.1 BAKGRUND.....	11
1.2 SYFTE	11
1.3 METOD OCH DISPOSITION	12
1.4 AVGRÄNSNINGAR.....	13
1.5 OSÄKERHETER OCH RISKHANTERING FÖR ANDRA OMRÅDEN ÄN BRAND	14
1.6 ERKÄNNANDEN	14
2 RISKANALYMETODIK.....	15
2.1 ALLMÄNT	15
2.2 VIKTIGA PARAMETRAR.....	15
2.2.1 Allmänt.....	15
2.2.2 Brandens egenskaper	16
2.2.3 Utrymningsförlopp	16
2.2.4 Brandtekniska system.....	17
2.2.5 Organisatoriskt brandskydd i riskhanteringsprocessen	18
2.3 HÄNDELSETRÄDSUPPBYGGNAD.....	19
2.4 SANNOLIKHETS- OCH FREKVENSPANALYS	20
2.4.1 Allmänt.....	20
2.4.2 Frekvens för brands uppkomst	21
2.4.3 Sannolikheter för olika scenarier i händelseträdet	21
2.4.4 Fortplantning av osäkerheter i händelseträdet	22
2.5 KONSEKVENSPANALYS.....	26
2.5.1 Allmänt.....	26
2.5.2 Kriterier.....	26
2.5.3 Simulering av brandförlopp	27
2.5.4 Simulering av utrymningsförlopp.....	27
2.5.5 Beräkning av konsekvens.....	28
2.6 PRESENTATION AV RISK.....	29
2.6.1 Allmänt	29
2.6.2 Beräkning av medelrisk.....	29
2.6.3 Riskprofil.....	30
2.6.4 Beslutskriterier.....	31
2.6.5 Hänsyn till osäkerheter	32
2.7 OSÄKERHETER I PARAMETRAR	33
2.7.1 Allmänt.....	33
2.7.2 Kunskapsosäkerheter	34
2.7.3 Stokastiska osäkerheter.....	34
2.7.4 6 nivåer för hantering av osäkerhet i riskanalyser.....	35
2.7.5 Korrelation mellan parametrar.....	35
2.8 OSÄKERHETER I MODELLER.....	35
3 FREKVENNS FÖR BRANDS UPPKOMST.....	39
3.1 ALLMÄNT	39
3.2 METODER FÖR BERÄKNING AV FREKVENNS FÖR BRANDS UPPKOMST.....	39
3.3 FREKVENNS FÖR BRANDS UPPKOMST I SAMLINGSLOKAL	42
3.3.1 Rutsteins metod	42
3.3.2 VTT.....	43
3.3.3 Övriga metoder för bestämning av frekvens för brands uppkomst.....	43
3.4 FRAMTAGANDE AV FÖRDELNING FÖR SAMLINGSLOKAL	43
3.5 FREKVENNS FÖR BRANDS UPPKOMST PÅ VÅRDAVDELNING.....	44
3.5.1 Rutsteins metod	44
3.5.2 VTT.....	44

3.5.3	Övriga metoder för bestämning av frekvens för brands uppkomst.....	44
3.5.4	Studier av befintlig statistik.....	45
3.6	FRAMTAGANDE AV FÖRDELNING FÖR VÅRDAVDELNING	45
3.6.1	Allmänt.....	45
3.6.2	Apriorifördelning	45
3.6.3	Posteriorifördelning.....	46
3.7	FÖRSLAG TILL GENERELL APRIORIFÖRDELNING FÖR VÅRDAVDELNING	49
3.8	ANDEL BRÄNDER SOM EJ UTVECKLAS.....	50
3.9	RESULTAT	52
3.9.1	Allmänt.....	52
3.9.2	Frekvens för brands uppkomst	52
3.9.3	Andel bränder som ej utvecklas.....	52
3.10	DISKUSSION	52
4	BRANDS TILLVÄXTHASTIGHET.....	55
4.1	ALLMÄNT	55
4.2	METODER	55
4.3	GRUPPERING AV STARTFÖREMÅL	56
4.3.1	Allmänt.....	56
4.3.2	Metod	56
4.3.3	Indelning i grupper.....	57
4.4	ALLMÄN BYGGNAD	60
4.5	RESULTAT	62
4.5.1	Allmänt.....	62
4.5.2	Brands tillväxthastighet.....	62
4.6	DISKUSSION.....	63
5	BRANDTEKNISKA SYSTEM OCH INSTALLATIONER.....	65
5.1	ALLMÄNT	65
5.2	BRANDCELLSGRÄNSER	65
5.3	BRAND- OCH UTRYMNINGSLARM	67
5.3.1	Generellt.....	67
5.3.2	Detektions- och brandlarmssystem	67
5.3.3	Brandlarmspaneler.....	69
5.3.4	Felträdsanalys för brandlarmssystems funktion.....	70
5.4	SPRINKLERSYSTEM.....	72
5.4.1	Allmänt.....	72
5.4.2	Tillförlitlighet.....	72
5.5	UTRYMNINGSVÄGARS TILLGÄNGLIGHET	78
5.6	RESULTAT	79
5.6.1	Allmänt.....	79
5.6.2	Brandcellsgränser.....	79
5.6.3	Brand- och utrymningslarm	80
5.6.4	Sprinkler.....	81
5.6.5	Utrymningsvägars tillgänglighet.....	81
5.7	DISKUSSION.....	81
5.7.1	Brandcellsgränser	81
5.7.2	Brand- och utrymningslarm	82
5.7.3	Sprinkler.....	83
5.7.4	Utrymningsvägars tillgänglighet.....	83
6	PERSONFÖRDELNING	85
6.1	ALLMÄNT	85
6.2	PERSONTÄTHETER OCH PERSONFÖRDELNINGAR	85
6.3	RESULTAT	87
6.3.1	Allmänt.....	87
6.3.2	Persontätheter och personfördelningar	87
6.4	DISKUSSION.....	87
7	PERSONFLÖDEN, GÅNGHASTIGHETER OCH VAL AV UTGÅNG VID UTRYMNING.....	89

7.1	ALLMÄNT	89
7.2	PERSONFLÖDEN	89
7.2.1	Flödesberäkningar	89
7.2.2	Jämförelser av flöden	91
7.2.3	Val av dimensionerande flöden	94
7.3	GÅNGHASTIGHETER	95
7.4	VAL AV UTGÅNG	95
7.5	RESULTAT	96
7.5.1	Allmänt	96
7.5.2	Personflöden	97
7.5.3	Gånghastigheter	97
7.5.4	Val av utgång	97
7.6	DISKUSSION	97
8	VARSEBLIVNINGSSAMT REAKTIONS- OCH BESLUTSTID	99
8.1	ALLMÄNT	99
8.2	TID TILL DETEKTION	99
8.2.1	Allmänt	99
8.2.2	Beräkning av avståndsfördelning	99
8.2.3	Beräkning av detektionstid	102
8.3	VARSEBLIVNINGSTID	104
8.4	REAKTIONS- OCH BESLUTSTID	105
8.4.1	Allmänt	105
8.4.2	Generella metoder	105
8.4.3	Resultat från olika försök och studier	106
8.4.4	Specificerad delphiundersökning	107
8.5	RESULTAT	110
8.5.1	Allmänt	110
8.5.2	Varseblivningstid	110
8.5.3	Reaktions- och beslutstid	111
8.6	DISKUSSION	113
9	METODIK FÖR GENOMFÖRANDE AV RISKANALYS	115
9.1	ALLMÄNT	115
9.2	BERÄKNINGSMODELLER FÖR GENOMFÖRANDE AV FREKVENSS- OCH KONSEKVENSSBERÄKNINGAR	115
9.2.1	Allmänt	115
9.2.2	FAST 3.1.6	115
9.2.3	STEPS 1.0.6.4	116
9.2.4	Monte Carlo-simuleringar i @RISK och Decision Tools	116
9.3	METOD FÖR FREKVENSS- OCH SANNOLIKHETSANALYS	117
9.3.1	Allmänt	117
9.3.2	Händelseträdsuppbyggnad	117
9.3.3	Frekvensanalys	117
9.4	METOD FÖR KONSEKVENSSANALYS	118
9.4.1	Allmänt	118
9.4.2	Tid till kritiska eller dödliga förhållanden	118
9.4.3	Tid till utrymning	119
9.4.4	Konsekvensbedömning	119
9.5	RISKBERÄKNINGAR	121
9.5.1	Allmänt	121
9.5.2	Beräkning av medelrisk	121
9.5.3	Beräkning av riskprofil	123
9.5.4	Känslighetsanalys	127
9.5.5	Diskussion	127
10	GENOMFÖRANDE AV RISKANALYS - SAMLINGSLOKAL	129
10.1	ALLMÄNT	129
10.2	GEOMETRI	129
10.3	LOKALENS BRANDSKYDD	130
10.4	HÄNDELSETRÄD	131

10.5	INDATA TILL FREKVENSPANALYS	131
10.5.1	<i>Allmänt</i>	131
10.5.2	<i>Frekvens för brands uppkomst</i>	131
10.5.3	<i>Funktion hos de brandtekniska systemen</i>	132
10.5.4	<i>Utrymningsvägars tillgänglighet</i>	132
10.6	FREKVENSPANALYS	136
10.7	INDATA TILL KONSEKVENSPANALYS	137
10.7.1	<i>Allmänt</i>	137
10.7.2	<i>Brandens tillväxthastighet och maximala effektutveckling</i>	138
10.7.3	<i>Personfördelning i lokalen</i>	138
10.7.4	<i>Varseblivningstid</i>	139
10.7.5	<i>Tid för reaktion och beslut</i>	141
10.7.6	<i>Indata till utrymningsberäkningar i STEPS</i>	142
10.7.7	<i>Simulerade utrymningsfall</i>	142
10.7.8	<i>Indata till FAST</i>	143
10.7.9	<i>Simulerade brandförlopp</i>	143
10.8	RESULTAT FRÅN SIMULERINGARNA	144
10.8.1	<i>Allmänt</i>	144
10.8.2	<i>Resultat från utrymningsberäkningar</i>	145
10.8.3	<i>Resultat från brandförloppsberäkningar</i>	147
10.9	BERÄKNING AV SÄKERHETSMARGINAL	149
10.9.1	<i>Allmänt</i>	149
10.9.2	<i>Uttryck för säkerhetsmarginalen</i>	150
10.9.3	<i>Beräkning av säkerhetsmarginalen</i>	151
10.10	BEDÖMNING AV KONSEKVENSER OCH BERÄKNING AV RISK	152
10.10.1	<i>Allmänt</i>	152
10.10.2	<i>Bedömning av antal exponerade</i>	153
10.10.3	<i>Beräkning av medelrisk</i>	155
10.10.4	<i>Beräkning av riskprofil</i>	159
10.10.5	<i>Slutsatser och kommentarer</i>	161
10.11	SPRINKLERS EFFEKT PÅ RISKNIVÅN	161
10.11.1	<i>Allmänt</i>	161
10.11.2	<i>Frekvensanalys</i>	161
10.11.3	<i>Brandförlopp</i>	162
10.11.4	<i>Beräkning av säkerhetsmarginal</i>	164
10.11.5	<i>Konsekvensanalys och riskberäkningar</i>	168
10.11.6	<i>Slutsatser och kommentarer</i>	175
10.12	ÖKAD UTRYMNINGSBREDD OCH ORGANISATORISKT BRANDSKYDD	175
10.12.1	<i>Allmänt</i>	175
10.12.2	<i>Frekvensanalys</i>	175
10.12.3	<i>Reaktions- och beslutstid</i>	176
10.12.4	<i>Utrymningsförlopp</i>	176
10.12.5	<i>Beräkning av säkerhetsmarginal</i>	180
10.12.6	<i>Konsekvensanalys och riskberäkningar</i>	182
10.12.7	<i>Slutsatser och kommentarer</i>	186
10.13	JÄMFÖRELSE MELLAN OLIKA UTFORMNINGAR	186
10.13.1	<i>Allmänt</i>	186
10.13.2	<i>Jämförelse av medelrisk</i>	186
10.13.3	<i>Jämförelse av riskprofiler</i>	187
10.13.4	<i>Slutsatser och kommentarer</i>	189
11	SLUTSATSER	191
12	DISKUSSION	193
13	FÖRSLAG TILL FORTSATTAS STUDIER	195
	REFERENSER	197
	BILAGA A: BRANDSTATISTIK OCH TILLVÄXTHASTIGHETER	201
	BILAGA B: REGRESSIONSPANALYS AV DETACT-T2	203
	BILAGA C: BERÄKNINGSDATA FÖR EXEMPELRISKANALYS	207

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Denna rapport är utförd som examensarbete vid Civilingenjörsprogrammet i Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola och motsvarar 40 högskolepoäng.

Examensarbetet är utfört i samarbete med Brandskyddslaget AB.

Brandteknisk dimensionering i byggsammanhang utförs med olika metoder med varierande grad av användande av normer och analytiska metoder beroende på byggnadens komplexitet, användningsområde och vilken säkerhetsnivå som eftersträvas. Många byggnader uppförs vilka är utformade på ett sådant sätt att förenklad dimensionering inte kan eller bör användas, utan säkerheten måste verifieras med analytiska metoder genom exempelvis olika beräkningsmodeller. Det är vanligt att brandskyddet utformas med hjälp av olika brandtekniska system för att minska effekterna av en brand i byggnaden. För att undersöka risknivån i en byggnad med sådana tekniska system krävs att hänsyn tas till de konsekvenser som uppstår då de tekniska systemen fallerar. Vid användande av beräkningsmodeller krävs även information för att beskriva brand- och utrymningsförlopp. Riskbaserad dimensionering innebär att hänsyn tas till att de tekniska systemen kan falla med en viss sannolikhet. Även konsekvensen av detta undersöks.

Vid riskbaserad dimensionering krävs således bra uppskattningar på felfunktion i olika system - såväl aktiva som passiva. I dagsläget används ofta internationell statistik baserad på inträffade storbränder eller expertbedömningar (delphiundersökningar). Vidare krävs även ytterligare information för att beskriva de parametrar som påverkar brand- och utrymningsförlopp. Genom en noggrann studie av litteratur samt sammanställning av statistik och användande av olika beräkningsmodeller kan ett mer heltäckande underlag tas fram för bedömning av indata till brandtekniska riskanalyser. Detta kan i sin tur ligga till grund för bättre uppskattningar av felsannolikheter och övriga för riskanalyser intressanta parametrar.

I den nya versionen av byggregler /1/ finns krav på att brandteknisk riskanalys vid behov skall utföras för att verifiera brand- och utrymningssäkerheten i byggnader där brand kan medföra mycket stor risk för personskada. Om dimensionering av brandskyddet sker genom beräkning skall denna utföras enligt en beräkningsmodell som är giltig för det aktuella fallet. Vidare skall indata bestå av omsorgsfullt valda dimensionerande värden, och osäkerheten hos dessa värden redovisas genom känslighetsanalys. Detta leder till att ett behov av att bedöma och hantera osäkerheter finns.

1.2 Syfte

Vid genomförande av riskanalyser för brandteknisk dimensionering saknas ofta väl underbyggd information för bedömning av indata. Detta leder till att indata väljs på lösa grunder, vilket ger stora osäkerheter i resultaten. Följden blir att resultaten ofta blir konservativa, eller att jämförelser mellan olika fall och utföranden blir komplicerad eller missvisande vilket försvårar en optimering av säkerhetshöjande insatser. Det är även svårt att jämföra resultat från riskanalyser utförda av olika personer då skillnader i resultatet till stor del kan bero på val av indata.

Syftet med rapporten är att, genom att studera exempelvis statistik och beräkningsmodeller, ge ett bedömningsunderlag för bestämning av de parametrar som används som indata i

brandtekniska riskanalyser. Såväl indata till frekvensanalys som konsekvensberäkningar studeras. Ingående osäkerheter beaktas genom att använda statistiska fördelningar istället för punktvärden i så stor utsträckning som möjligt.

Målet med studien är att utveckla en riskanalysmetod som kan appliceras på olika objektstyper där förhållandena bedöms motsvaras av framtagna indata. Målsättningen är även att skapa en även för andra objekt användbar struktur, då med modifiering av vissa indata utifrån andra källor eller vidare undersökningar. Riskanalysmetoden utgör ett verktyg för att bedöma risk utifrån parametrar som tekniska system, underhåll, brandens egenskaper, utrymningsvägar o dyl.

Vidare studeras även översiktligt vilka parameterosäkerheter som har störst inverkan på resultatet vid utförande av den brandtekniska riskanalysen. Detta görs för ett beräknat exempel och syftar till att identifiera kritiska parametrar för analysresultaten

1.3 Metod och disposition

Inledande görs en litteraturstudie på området för att bedöma hur det underlag som finns idag ser ut, och vidare vad som är relevant att inrikta sig på. Därefter utförs en statistikstudie över brandtekniska system och övriga parametrar som utgör indata till brandtekniska riskanalyser.

Data arbetas i första hand fram genom beräkningar och sammanvägningar av olika statistiska underlag. Framarbetad information redovisas i så stor utsträckning som möjligt som sannolikhetsfördelningar, för att illustrera och ta hänsyn till variationer och osäkerheter. Detta ligger till grund för en riskanalys baserad på ett händelsetråd. I den riskanalysmetod som presenteras används sannolikhetsfördelningar. Riskanalysmetoden möjliggör en bedömning av medelrisken och samhällsrisken för en anläggning utifrån parametrar som tekniska system, underhåll, brandens egenskaper, utrymningsvägar o dyl.

Riskanalysen appliceras vidare på ett specifikt fiktivt objekt, en samlingslokal. Detta innebär att all framarbetad data inte kan användas på alla typer av objekt, utan det är upp till användaren av metoden att bedöma applicerbarheten hos de framtagna fördelningarna på andra objekt. I vissa fall är en mer ingående utredning utförd även för andra typer av objekt. I rapporten framgår klart för vilka objektstyper de olika parametrarna arbetats fram. Huvudsyftet med framarbetandet av indata är att påvisa olika källor och tillvägagångssätt för att göra bedömningar av de studerade parametrarna. Resultaten från dessa undersökningar skall inte användas som färdiga generellt applicerbara indata då sådana ej är möjliga att presentera.

För att bedöma konsekvenserna av scenarierna i händelsetrådet används datorprogrammen FAST (tvåzonsmodell) och STEPS (utrymningsprogram). Från FAST-simuleringarna erhålls tid till kritiska förhållanden. STEPS-simuleringarna ger en bild av utrymningen samt en uppfattning av hur lång tid det tar för det studerade objektet att utrymmas. Osäkerhetsanalys utförs genom att parametrar som är viktiga för säkerheten vid utrymning varieras i simuleringarna, och resultatet av detta undersöks. Resultaten från respektive simuleringstyp redovisas som en fördelning. Vidare studeras resultaten, fördelningarna från FAST-respektive STEPS-simuleringarna, och en jämförelse av dessa görs. Denna jämförelse ger en bild av sannolikheten för att kritiska förhållanden uppkommer innan utrymningen är slutförd. Även omfattningen av konsekvenserna vid de olika scenarierna studeras. Den beräknade risken värderas, förslag till olika riskreducerande åtgärder ges och effekt utav dessa redovisas. Resultatet från den utförda riskanalysen jämförs sedan med befintliga acceptanskriterier.

Dock kommer inte dessa att användas som ett definitivt beslutsunderlag då de inte är framtagna för just detta syfte.

De steg som arbetas igenom presenteras i olika kapitel i rapporten för att skapa logisk uppbyggnad. Inledningsvis görs en introduktion till brandteknisk riskanalys varefter olika studerade parametrar presenteras kapitel för kapitel. I slutet på rapporten presenteras den använda riskanalysmetoden dels med ett teoretiskt kapitel och sedan med ett exempel. De kapitel som ingår i rapporten är:

- 2 Riskanalysmetodik

En övergripande beskrivning av riskanalysmetodik för brandtekniska problem, viktiga parametrar och presentation av risk

- 3 Frekvens för brands uppkomst

Genomgång av olika underlag för att bedöma brandfrekvens i olika lokaler, samt bedömning av brandfrekvens i använt exempel i kapitel 10

- 4 Brands tillväxthastighet

Genomgång av material för att bedöma brands tillväxthastighet och osäkerheter i denna parameter.

- 5 Brandtekniska system och installationer

Genomgång av underlag för bedömning av tillförlitlighet hos olika brandtekniska system såsom utrymningslarm, sprinkler etc.

- 6 Personfördelning

Undersökning av persontätheter i olika typer av lokaler.

- 7 Personflöden, gånghastigheter och val av utgång vid utrymning

Genomgång av parametrar relaterade till förflyttning vid utrymning.

- 8 Varseblivnings- samt reaktions- och beslutstid

Studie av litteratur för bedömning av tider i utrymningsförloppet innan påbörjad förflyttning.

- 9 Metodik för genomförande av riskanalys

Använd metodik presenteras.

- 10 Genomförande av riskanalys – samlingslokal

Riskanalysen används i ett exempel med tre alternativa utformningar

- 11 Slutsatser

Slutsatser och erfarenheter från arbetet och från användandet av metodiken för riskanalys med osäkerhetsanalys.

- 12 Diskussion

Diskussion kring innehållet i rapporten och arbetet.

- 13 Förslag till fortsatta studier

Information som saknats under arbetet tas upp som punkter där vidare studier skulle vara av stor nytta.

1.4 Avgränsningar

- Alla tekniska system studeras ej – vilka som studeras definieras senare i rapporten.
- Fördelningar används inte i samtliga indata, istället används då ett fixt värde. Detta gäller funktionssannolikhet för brandlarmssystem då framtagande av sannolikhetsfördelning ej bedömts vara möjlig utan fokus istället ligger på att finna så mycket information som möjligt om det system som studeras och på så sätt hitta ett deterministiskt värde.
- En del av den data som är framtagen är speciellt anpassad för särskilda objektstyper, vilket gör att den främst är tillämpbar för dessa objektstyper. Vid användning av fram-

tagen data, i andra fall än vad den är avsedd för, skall data anpassas för den specifika situationen.

- Riskanalysen utförs endast för ett specifikt fiktivt objekt för att ge exempel på tillämpbarheten och den metodik som används.

Dessa avgränsningar medför att ytterligare undersökningar behövs då objekt och förutsättningar studeras som inte omfattas av studierna i rapporten.

De osäkerheter som studeras i rapporten är de som normalt föreligger då en brandteknisk riskanalys genomförs, det vill säga i indata till de beräkningsmodeller som används. Osäkerheter finns naturligtvis även på andra nivåer, exempelvis i olika beräkningsresultat bland annat till följd av de förenklingar och antaganden som används i beräkningsmodeller. Dessa beaktas ej i rapporten, utan beräkningsresultat förutsätts vara korrekta då exempel på utförande av riskanalys genomförs.

Vidare föreligger korrelationer mellan många av de parametrar som studeras vilket kan påverka resultatet. Svårigheter att bestämma storleken på dessa korrelationer medför att korrelation mellan parametrar ej beaktas i rapporten.

1.5 Osäkerheter och riskhantering för andra områden än brand

Rapporten har fokus på brandtekniska problem och osäkerheter inom detta område. Problemet med osäkerheter i indata och dess påverkan på beräknade eller bedömda resultat förekommer dock även inom andra riskanalysområden. Mycket utav den metodik som presenteras i denna rapport kan appliceras på andra riskanalysproblem. Framtagande av sannolikhetsfördelningar genom Bayesiansk uppdatering och kopplingar av beräkningsresultat till regressionsuttryck är exempel på metoder som exempelvis skulle kunna användas vid uppskattning av hålstorlekar vid olyckor med farligt gods och de riskavstånd som dessa ger upphov till. Monte Carlo-analys kan appliceras på beräkningsbara risker där sannolikheter och konsekvenser kan bestämmas utifrån ekvationsuttryck där de ingående parametrarna helt eller delvis anges som sannolikhetsfördelningar.

Beräkningsuttrycken och de studerade parametrarna i denna rapport är unika för brandteknisk riskanalys. Risker inom andra områden kan beskrivas med andra samband och kräver annan indata, dock är den metodik för osäkerhets- och känslighetsanalys som presenteras i rapporten användbar även i ett bredare perspektiv.

1.6 Erkännanden

Som handledare fungerar i första hand Tekn. Lic. Johan Lundin, Avdelningen för Brandteknik och Mattias Delin, Brandskyddslaget AB. Igor Rychlik, Institutionen för Matematisk statistik och Sven-Erik Magnusson, Avdelningen för Brandteknik är biträdande handledare. Vi vill rikta ett stort tack till dessa personer för all hjälp under arbetets gång.

Vi vill givetvis ge ett stort tack till varandra för allt stöd och all uppmuntran vid tunga stunder under arbetets gång, samt personalen på Brandskyddslaget som ställt upp med kunskap och tips. För övrigt vill vi tacka Kjell Gregersson, Risk Manager på Karolinska sjukhuset.

2 Riskanalyismetodik

2.1 Allmänt

Detta kapitel syftar till att beskriva uppbyggnaden av en brandteknisk riskanalys. Parametrar som är viktiga att studera presenteras liksom olika sätt att behandla brandens egenskaper, utrymningsförlopp och sannolikheter för olika brandtekniska systems funktion. Metoder och strategier för att analysera såväl frekvenser och sannolikheter som konsekvenser påvisas.

Metoden beskrivs allmänt och övergripande för att ge en bild av vilka delar som bör ingå i en brandteknisk riskanalys. Det finns olika sätt att behandla de ingående parametrarna, och osäkerheter i indata kan behandlas i varierande grad beroende på analysens omfattning. En vanlig metod är att anta att parametrarna antar punktvärden och vanligtvis används då uppskattningar som bedöms vara konservativa. Även diskreta sannolikhetsfördelningar kan användas där en parameter ges ett antal olika värden med olika sannolikheter i den vidare analysen. Av den anledningen presenteras här flera olika angreppssätt som kan användas beroende på vilken typ av analys som skall genomföras.

Från kapitel 3 och framåt undersöks de olika parametrarna i riskanalysen genom analyser och beräkningar för att ge ett underlag för bedömning av indata. Variablerna behandlas i denna rapport med hänsyn till osäkerheter och användande av statistiska fördelningar och modeller. Vidare beskrivs också en metod för konsekvensanalys där osäkerheter i indata tillåts påverka resultatet. Denna metodik presenteras vidare i kapitel 9 och exempel på genomförande ges kapitel 10.

2.2 Viktiga parametrar

2.2.1 Allmänt

Vid genomförande av en brandteknisk riskanalys skall hänsyn tas till ett flertal olika parametrar som antingen påverkar frekvensen med vilken brand uppkommer, eller konsekvensen av en inträffad brand genom påverkan på brandförlopp eller utrymningsförlopp.

I rapporten undersöks ett antal faktorer som är av olika typ, men som samtliga bedöms påverka den risk som brand i en specifik byggnad utgör. De olika typerna redovisas i kapitel 2.2.2-2.2.5. För samtliga studerade parametrar gäller att de är behäftade med osäkerheter. En metod att ta hänsyn till detta är att använda konservativa värden, en annan metod är att använda diskreta eller kontinuerliga sannolikhetsfördelningar. För att utreda hur de olika parametrarna påverkar slutresultatet, och vilka parametrar som påverkar slutresultatet mest, kan olika former av känslighetsanalyser göras.

I detta kapitel beskrivs de olika parametrarna och dess egenskaper allmänt. Exempel på hur de kan behandlas i en riskanalys ges. Vidare beskrivs hur dessa parametrar används för att bygga upp ett händelsetråd för genomförande av sannolikhets- och frekvensanalys. En beskrivning av konsekvensanalys görs också för att en komplett bild av en metod för kvantitativ riskanalys skall erhållas. I följande kapitel anges mer specifikt hur de ingående parametrarna används i denna rapport samt hur riskanalyismetoden kan appliceras för att utvärdera brandsäkerheten i en byggnad. Olika värden på de olika variablerna arbetas fram och redovisas. Dessa är i vissa fall specifika för en viss typ av anläggning och i vissa fall möjliga att applicera mer generellt.

2.2.2 Brandens egenskaper

En viktig parameter i riskbedömningen är den frekvens med vilken en brand kan förväntas uppkomma i en byggnad. Det finns idag olika beräkningsmetoder för att bedöma denna där verksamhetstyp och golvarea ofta vägs in. Några av dessa sammanställs av Johansson /2/. Brandfrekvensen kan beskrivas som en poissonfördelning vilket gör att osäkerheten i denna parameter kan beskrivas kvantitativt, se kapitel 3.

Parametrar som beskriver brandens förlopp efter uppkomst, oaktat förekomst av aktiva system för släckning och begränsning av brand, är brandens tillväxthastighet och dess slutliga storlek.

Brandens tillväxthastighet varierar beroende på var branden uppstår, vilket material som brinner, ytskikt i lokalen etc. En vanlig metod är att använda en dimensionerande brand med ett konservativt valt värde på tillväxthastigheten som grund för den brandtekniska analysen. En bedömning av sannolikheten för olika initiala tillväxthastigheter kan göras med hjälp av statistik från olika bränder där det specificerats var branden startat. Sådan statistik ges exempelvis ut av Räddningsverket /3-7/. Med hjälp av försök där brandförlopp studerats för olika föremål kan en sannolikhetsfördelning tas fram för tillväxthastigheten. Sådana försök presenteras av Särdaqvist /8/. En förenkling som krävs för att möjliggöra användandet av denna metod är ett antagande om att branden följer ett α^2 -samband. Denna metod presenteras och används i kapitel 4.

Brandens slutliga storlek beror av tillgången till brännbart material och tillgång till luft genom öppningar i byggnaden.

2.2.3 Utrymningsförlopp

När en byggnad utryms påverkas den tid det tar till byggnaden är tom av ett flertal faktorer. Variationer i mänskligt beteende och förekomst av aktiva detektions- och varningssystem påverkar den tid som förlöper från brands uppkomst till det att utrymning påbörjas. När utrymning påbörjas blir faktorer som bredd i utrymningsvägar, personantal i byggnaden, personegenskaper (gånghastighet, förmåga att själv sätta sig i säkerhet etc.) och gångavstånd till utrymningsväg avgörande för momentets tidsåtgång. Bakomliggande teori beskrivs närmare nedan.

Den totala utrymningstiden delas in i tre olika faser:

- Varseblivningstid, t_v
- Reaktions- och beslutstid, t_r
- Gångtid, t_g

Varseblivningstiden är den tid det tar, räknat från brands uppkomst, för människor att uppfatta att något har inträffat. Denna tid förkortas avsevärt om byggnaden är utrustad med ett detektionssystem som tidigt upptäcker branden och sedan via ett utrymningslarm uppmärksammar samtliga i byggnaden att ett tillbud har skett. Med detta system behöver inte personerna i byggnaden på något sätt uppmärksamma branden för att förstå att ett tillbud har skett.

Reaktions- och beslutstiden innefattar den tid efter att en person varseblivit att något har inträffat till dess att personen verkligen börjar gå mot en utgång. Denna tid beror av ett flertal faktorer. Ett utrymningslarm som ger bra information om vad som förväntas av personer i byggnaden förkortar denna fas. Exempelvis är ett talat meddelande som informerar besökare

om att ett tillbud har skett och att utrymning skall påbörjas att föredra framför en tjutande siren. Personalens agerande kan även hjälpa till att få folk att börja utrymma byggnaden.

Gångtiden är den tid det tar för samtliga personer att ta sig ut ur byggnaden, eller till annan säker plats, från det att de börjar gå mot en utgång. Viktiga parametrar här är antal utrymningsvägar, personantal, fri bredd i utrymningsvägar och gångavstånd till utrymningsväg. Denna tid innefattar den tid de utrymnande får vänta i köer på grund av flaskhalsar. Även personalens agerande kan ha stor betydelse för hur lång gångtiden blir.

Den totala utrymningstiden, t_u , är summan av tiderna ovan. Detta innebär att $t_u = t_v + t_r + t_g$.

Det finns olika metoder för bestämning av dessa tider. Exempelvis ger Boverket /9/ olika förslag på tider beroende på verksamhetstyp och förekomst av brand- och utrymningslarm baserat på en undersökning där olika brandbefäl gjort bedömningar av dessa tider. Varseblivningstiden kan också bestämmas genom att tid till detektion beräknas utifrån ett givet brandscenario. Denna tid kan sedan motsvara varseblivningstiden.

För att kunna kvantifiera personalens agerande och dess påverkan på reaktions- och gångtiden kan exempelvis enkätundersökningar genomföras där personalen uppmanas bedöma hur lång tid det tar efter larm till dess utrymning påbörjats.

2.2.4 Brandtekniska system

Funktionen hos olika system för upptäckt, begränsning och släckning av brand påverkar konsekvensen av en inträffad brand och således påverkas också den totala risken i byggnaden. Exempel på olika system som påverkar brandsäkerheten är:

- ◆ Brandlarm
- ◆ Utrymningslarm
- ◆ Sprinklersystem
- ◆ Brandgasventilation
- ◆ Brandcellsgränser och dörrstängare i dessa
- ◆ Handbrandsläckare

Alla dessa system är sådana att de kan fungera till olika stor del, i förhållande till avsedd funktion. Sprinkler kan exempelvis släcka en brand, begränsa den eller misslyckas helt. Likaså kan brandlarm fungera som avsett, med fördröjning eller inte alls. De olika fallen kan associeras med olika sannolikheter och konsekvenser.

Dessa parametrar behandlas ofta binärt, det vill säga de representeras endast av fallen fungerar och fungerar ej. Detta kan vara tillräckligt i vissa fall, men den statistik som finns tillgänglig över exempelvis brandlarms felfunktion anger inte alltid i vilken mån brandlarmet ej fungerat. Detta kan innebära att en trasig detektor som ger något fördröjd detektion behandlas som ett fall där brandlarmet ej har fungerat. För att minska problemet med att felfunktionen på systemet inte är närmare definierad, kan parametrarna delas in i olika klasser så att olika fall fås då brandlarm fungerar helt som avsett och då detektionen blir fördröjd samt när det ej fungerar alls. Detta innebär att parametrarna fortfarande behandlas som diskreta variabler, men att fler möjliga scenarier fås vilket ger en mer nyanserad bild av funktionen hos systemet. För att detta ska vara möjligt krävs att det finns tillräckligt underlag för att göra en bedömning utifrån de olika klasser som den aktuella variabeln delas in i.

Det finns olika metoder för att ta fram dessa sannolikheter. Antingen kan befintlig statistik studeras eller så kan systemen brytas ner till komponentnivå och en felträdsanalys genomföras. Hänsyn bör, oavsett metod, tas till ingående osäkerheter.

Dessa parametrar studeras närmare i kapitel 5. Det har konstaterats att mycket utav den statistik som studerats ej är anpassad för att användas som indata för funktionssannolikheter. Ett sätt att få mer anpassad statistik är att i förhand bestämma vad statistiken skall kunna användas till och anpassa den därefter. I Sverige görs en detaljerad olycksfallsuppföljning av Räddningsverket, SRV. I denna behandlas faktorer som släcksystem, brandlarm och andra tekniska system. En annan uppställning av denna statistik hade kunnat ge ett bättre underlag till brandtekniska riskanalyser.

2.2.5 Organisatoriskt brandskydd i riskhanteringsprocessen

En viktig faktor för en byggnads brandsäkerhet är det organisatoriska brandskyddet, det vill säga hur de som brukar lokalerna arbetar med brandskyddet genom utbildning, föreskrifter, kontroller och underhåll av de tekniska systemen. Nivån på det organisatoriska brandskyddet påverkar i stort sett alla parametrar som används för att bedöma brandsäkerheten. Exempelvis kan en organisation som arbetar aktivt med brandskyddet:

- ◆ Minska frekvensen för brands uppkomst genom att riskkällor kontrolleras och reduceras.
- ◆ Minska utrymningstidens alla faser genom att öva utrymning.
- ◆ Öka sannolikheten för att branden släcks manuellt genom att personal får öva brandsläckning.
- ◆ Öka funktionssannolikheten för de brandtekniska systemen genom regelbundet underhåll och kontroller.

Att kvantifiera det organisatoriska brandskyddet är komplicerat och kräver undersökningar av såväl statistisk art som av enkättyp. Ett försök kan göras genom att ur statistiskt material försöka hitta funktionssannolikheter för olika system beroende på systemens underhåll och ålder. Vidare kan enkäter eller försök användas för att länka utbildning till utrymningstider och sannolikheter för att personalen släcker en brand.

Då det saknas väl definierade program och krav för hur organisationer ska sköta sitt brandskydd är det svårt att urskilja olika nivåer på det organisatoriska brandskyddet. Klart är att nivån skiftar mellan olika organisationer och att detta påverkar brandsäkerheten. Bedömningar av denna påverkan innebär stora osäkerheter och det är även osäkert hur länge en viss nivå på det organisatoriska brandskyddet kan upprätthållas då verksamheter kan ändras osv. Att använda organisatoriskt brandskydd som en förutsättning vid dimensionering kan således innebära att brandskyddet försämras successivt. Detta då det kan vara svårt att finna stöd för kraven på att en verksamhet skall upprätthålla en viss organisation för brandsäkerheten.

SRV, har nyligen tagit fram ett allmänt råd /10/ som förtydligar vad ägare och innehavare bör göra för att uppfylla § 41 i Räddningstjänstlagen. § 41 säger i princip att ansvaret för att vidta förebyggande åtgärder för att hindra brands uppkomst och spridning faller direkt på ägaren eller innehavaren av en byggnad eller anläggning. Brandskyddsåtgärderna ska enligt lagstiftningen ske på dennes eget initiativ. Av det allmänna rådet framgår att alla ska arbeta systematiskt med sitt brandskydd. Vissa verksamheter ska dessutom dokumentera sitt systematiska brandskyddsarbete. Dokumentationen bör förutom beskrivning av byggnaden,

dess brandskyddslösningar och verksamhet även beskriva den organisation som finns för brandskyddet. De organisatoriska brandskyddsåtgärderna bör ta upp följande aspekter: ansvarsfördelning, utbildning, information, övningar, instruktioner och rutiner, service och underhåll samt kontrollplaner och dokumenthantering. Detta leder i sin tur till att de traditionella detaljbrandsynerna kommer att ersättas med kontroll av hur ägare/innehavare kontinuerligt arbetar med det systematiska brandskyddsarbetet både avseende förebyggande åtgärder som åtgärder vid inträffad brand.

Svenska Brandförsvarsförbundet, SBF, har arbetat fram ett verktyg för att utföra deras metod för systematiskt brandskyddsarbete som de kallar Intern Brandskyddskontroll. De ingående delarna i Intern Brandskyddskontroll är: brandskyddspolicy, brandskyddsorganisation, utbildningsplaner, brandskyddsregler, brandskyddsbeskrivning, drifts- och underhållsinstruktioner, kontrollsystem, dokumentation och uppföljning. Delarna skall arbetas fram för att sedan integreras i företagets ledningssystem och därmed bli en naturlig del i det dagliga arbetet /11/.

Ledningssystem upprättas vanligtvis inom områdena kvalitet, säkerhet, hälsa och miljö och är uppbyggda för att säkerställa att rimliga nivåer uppnås inom dessa områden på organisatorisk och teknisk väg. Inom området säkerhet bör naturligtvis brandskydd ingå liksom skydd mot olyckor av andra slag. Ett sätt att kontinuerligt undersöka och förbättra säkerhetsnivån är att genomföra regelbundna riskanalyser av olika delar i verksamheten. Dessa kan påvisa de risker som föreligger och föreslå hur dessa på organisatorisk och teknisk väg kan förebyggas. Den brandtekniska riskanalysen kan således integreras med ledningssystemet för kontinuerlig uppföljning av brandsäkerheten. Det är dock viktigt att påpeka att riskanalysen endast är en del av riskhanteringsarbetet. Uppföljning av incidenter, tillbud och större olyckor är viktigt för att identifiera och begränsa riskfaktorer.

SBF har även infört beteckningen ”Väl Brandskyddat Hotell”. Detta är en frivilligt klassificeringssystem för brandskydd på hotell. Kan hotellägaren verifiera att kraven i SBF:s klassificeringsregler uppfylls kan hotellet bli klassificerat som ”Väl Brandskyddat Hotell” och ett certifikat utfärdas vilket är giltigt i tre år. Ett ”Väl Brandskyddat Hotell” uppfyller även europarekommendationerna 86/666/EEC ”Fire Safety in Existing Hotels”/12/.

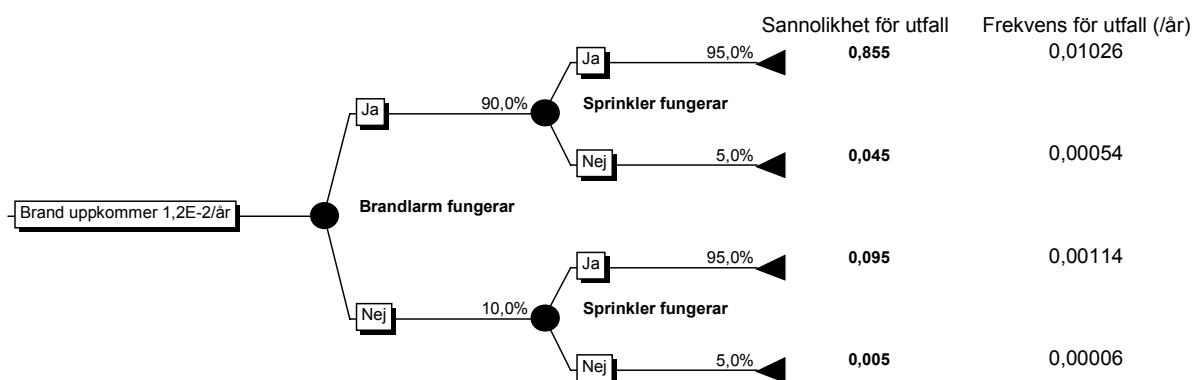
Riktlinjer enligt SRV och SBF är ett bra sätt att sätta ett värde på och uppmuntra att det organisatoriska brandskyddet i verksamheter ses över. Det ger även gemensamma riktlinjer och tydligare definierade krav för verksamheterna att följa. I vissa länder har arbetet med organisatoriskt brandskydd kommit avsevärt längre än i Sverige då det där finns tydligare specificerat i lagstiftningen vilka krav som ställs på det organisatoriska brandskyddet för olika verksamheter.

2.3 Händelseträdsuppbyggnad

För att utforma en metod för kvantitativ riskanalys byggs ett händelseträd upp där de olika fall som kan uppkomma vid brand tas upp. I händelseträdet behandlas faktorer som personalens insats, brand- och utrymningslarm, sprinkler, utrymningsvägars tillgänglighet mm. Även personbelastning i lokalen kan tas upp här om den är att betrakta som en diskret variabel, det vill säga ett fåtal isolerade fall med olika personantal finns för vilka de respektive sannolikheterna kan bestämmas. Detsamma gäller för brandens tillväxthastighet, det vill säga den kan förenklas till en diskret fördelning och behandlas som en sådan i händelseträdet. Om personfördelningen är att betrakta som en kontinuerlig variabel kan den istället behandlas som en stokastisk variabel i konsekvensanalysen. Sannolikheter för de olika fallen anges i så stor

utsträckning som möjligt med osäkerheter. För att ta hänsyn till olika organisatoriska faktorer som underhåll och personalens insats kan olika indata till modellen ges utifrån tabeller över funktions sannolikheter och andra parametrar som funktion av underhållsintervall och personalutbildningsprogram etc. Detta kräver dock att sådan information finns att tillgå alternativt går att ta fram.

Händelseträdet anpassas till det aktuella objektet så att hänsyn tas till de system som finns i byggnaden. Som starthändelse sätts att brand uppstår i det studerade objektet. Beroende på objektsspecifika egenskaper kan förloppet därefter se ut på ett antal olika sätt. Principiellt kan händelseträdet se ut på följande sätt, se figur 2.1, för en byggnad med sprinkler och brandlarm.



Figur 2.1 Exempel på händelsetråd.

De sluthändelser som fås representerar samtliga olika scenarier som på olika sätt bedöms få olika konsekvenser för de som befinner sig i byggnaden. Exempelvis uppstår skillnader i brandförlopp beroende på om sprinkler fungerar eller ej och skillnader i varseblivningstid beroende på funktion hos brandlarmssystem. Dessa skillnader kvantifieras i konsekvensanalysen, se kapitel 2.5.

2.4 Sannolikhets- och frekvensanalys

2.4.1 Allmänt

För att kunna göra en bedömning av den risk som starthändelsen i händelseträdet, i detta fall att brand uppkommer i en studerad byggnad, utgör krävs information om hur ofta sluthändelserna kan förväntas inträffa samt vilka konsekvenser de medför. Således krävs information om med vilken frekvens starthändelsen kan förväntas uppträda i den aktuella byggnaden. Dessutom krävs sannolikheter för samtliga grenar i händelseträdet för att frekvensen för respektive scenario skall kunna bedömas.

Vid denna analys kan olika metoder användas. Ett sätt är att räkna fram frekvenserna deterministiskt, det vill säga samtliga sannolikheter ges ett fixt värde vilket motsvarar något sorts medelvärde eller mest sannolikt värde. På detta sätt tas ingen hänsyn till osäkerheter i indata till händelseträdet. I många fall är dessa stora, och då flera osäkra faktorer ges isolerade värden och multipliceras ihop kan resultatet i slutändan vara behäftat med stora osäkerheter utan att detta går att utläsa. Ett sätt att ändå beakta osäkerheterna vid användande av punktvärden är att välja konservativa värden.

Hänsyn till osäkerheter tas om de olika ingående parametrarna istället beskrivs med sannolikhetsfördelningar. Frekvensen för de olika sluthändelserna utgörs då också av en sannolikhetsfördelning. Framräkningen av denna kan ske analytiskt, det vill säga fördelningen för sluthändelsen beräknas genom att räkneregler för kombinationer av fördelningar används. Ofta krävs då olika förenklingar och approximationer för att beräkningen skall vara genomförbar. Ett annat sätt att utföra fortplantningen av osäkerheter är genom så kallad Monte Carlo-simulering. Detta innebär att ett datorprogram simulerar varje gren av händelseträdet ett stort antal gånger och plockar värden i varje nod i enlighet med variabelns sannolikhetsfördelning. Dessa metoder beskrivs närmare i kapitel 2.4.4.

2.4.2 Frekvens för brands uppkomst

Sannolikhets- och frekvensanalysen inleds med att en startfrekvens för brands uppkomst tas fram. För detta kan olika uttryck användas. Johansson /2/ redovisar en sammanställning med olika metoder för att bedöma brandfrekvensen i en byggnad. Brandfrekvensen uppskattas för de olika metoderna med hjälp av faktorer som verksamhet och golvarea. Metoderna presenteras i kapitel 3.2.

2.4.3 Sannolikheter för olika scenarier i händelseträdet

De parametrar som används i händelseträdet måste tillskrivas sannolikheter för de olika grenarna i deras utfallsrum. Dessa sannolikheter kan erhållas genom studier av befintlig statistik, egna undersökningar eller felträdsanalys där ett system analyseras i sina komponenter och förutsättningar för felfunktion. De olika metodernas fördelar och nackdelar beskrivs nedan:

Studier av befintlig statistik

Studier av befintlig statistik är en vanlig metod för att bedöma exempelvis funktionssannolikheter hos olika system. Metoden är enkel förutsatt att ett bra material finns att studera. Det kan dock vara svårt att värdera informationen i statistiken och tidskrävande att undersöka de bakomliggande källorna. Statistikens generaliserbarhet är också en faktor som bör beaktas. Statistik från andra länder, andra objektstyper, andra typer av system än det studerade är inte alltid applicerbar på det aktuella objektet. Dessutom förekommer ofta att statistiken inte är tillräckligt detaljerad för att hänsyn skall kunna tas till exempelvis typ av system, underhåll etc. Detta beror till viss del på att statistiken sällan är framtagen för exakt det syfte en riskanalytiker vill använda det till.

Befintlig statistik bör således granskas kritiskt innan den appliceras i en riskanalys för att få en uppfattning om dess validitet i det studerade fallet.

Egna undersökningar

En fördel med att genomföra egna undersökningar är att studien kan anpassas till just den typ av information som eftersöks. På så sätt kan statistik erhållas som direkt kan appliceras i analysen i form av olika sannolikheter. Metoden är dock tidskrävande och det kan vara svårt att göra resultaten generaliserbara så att de kan appliceras i andra sammanhang. Studien kanske till exempel utförs i ett speciellt geografiskt avgränsat område, och precis som för befintlig statistik uppkommer då problem med skillnader i olika miljöfaktorer som gör att materialet blir begränsat till detta område.

Studien bör utföras så att den eftersökta informationen tydligt definieras innan undersökningen påbörjas. Då kan hänsyn tas till de faktorer som bedöms viktiga och

materialet klassas in på ett sätt som ökar generaliserbarheten. Till exempel kan brandlarmssystem klassas in efter typ av system, ålder, grad av underhåll etc. och undersökas. Ett problem med dessa undersökningar är att erhålla ett tillräckligt stort underlag för att osäkerheterna inte ska bli orimligt stora.

Felträdsanalys

En felträdsanalys är en logiskt uppbyggd analysmetod. I felträdsanalysen utreds förutsättningarna för en avvikelse i en process och fokus ligger på en särskild oftast allvarlig avvikelse eller felfunktion i ett system. Denna särskilda avvikelse kallas i händelseträdet för topphändelse och de händelser som kan leda till topphändelsen kallas bashändelser. Bashändelserna kan vara både felfunktioner i systemet och mänskliga felhandlingar, som t.ex. operatörsfel.

Felträdet bygger på så kallade grindar som bygger ihop händelserna. Dessa grindar är av ”och”- samt ”eller”-typ och de beskriver hur de olika bashändelserna påverkar topphändelsen.

Vid analysen utreds vilka kombinationer av bashändelser som kan leda till topphändelsen. Dessa kombinationer av fel kallas för ”Minimal Cuts Sets”. Genom att ge bashändelserna felfrekvenser kan även felfrekvensen för topphändelsen beräknas.

Fördelar med felträdsanalys är att metoden ger en tydlig bild av beståndsdelarna i ett system och även förklarar beståndsdelarnas inbördes förhållande. Metoden lämpar sig mycket bra då olika riskreducerande åtgärder skall jämföras. Problem med metoden är att det krävs stor insikt i hur systemet som studeras fungerar och är uppbyggt. Även detaljerad kunskap om felfunktion för bashändelserna krävs för att slutresultatet skall bli användbart. /2,13,14/

2.4.4 Fortplantning av osäkerheter i händelseträdet

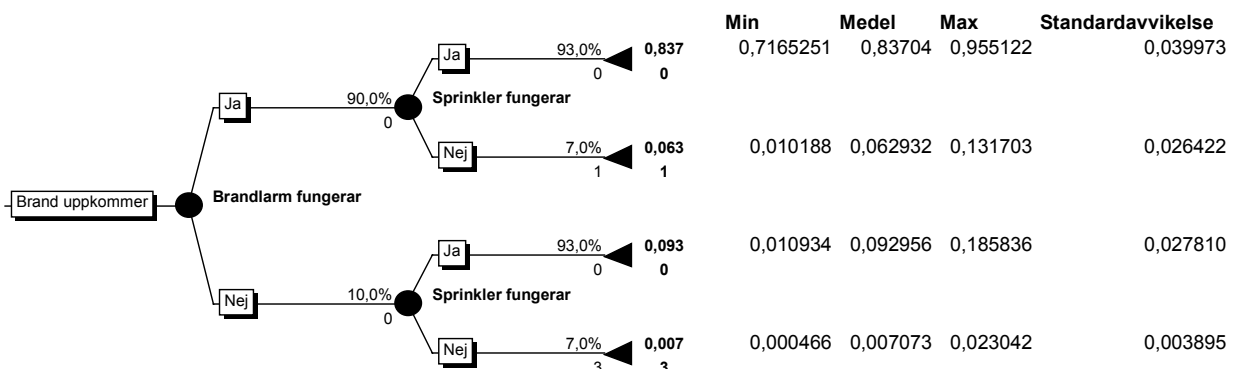
För att ta hänsyn till osäkerheter i de ingående variablerna används sannolikhetsfördelningar för parametervärdena i riskanalysen. Detta innebär att parametervärdena tillåts variera och effekten av dessa variationer undersöks. Dessa osäkerheter fortplantas genom händelseträdet för att en sannolikhetsfördelning för de olika scenarierna skall erhållas. Detta kan bland annat genomföras på två sätt, med Gaussapproximation alternativt Monte Carlo-simulering. I vissa fall kan det vara svårt att hitta fördelningar för parametrarna på grund av att underlaget är bristfälligt. I sådana fall kan Bayesiansk uppdatering användas. Dessa tre metoder presenteras nedan:

Gaussapproximation

Gaussapproximation är en analytisk metod att med hjälp av förenklingar approximera fördelningen av en resultatvariabel utifrån de ingående variablernas fördelning. Detta bygger på räkneregler för medelvärden och standardavvikelser för fördelningar. För att kunna behandla de olika parametrarna och det samband som skall studeras krävs oftast att variablernas fördelningsuttryck förenklas. Principen för detta är densamma som när ett tvådimensionellt samband approximeras med en rät linje med hjälp av en punkt på kurvan och derivatan i den punkten. Approximationen stämmer då oftast väl överens runt den studerade punkten men blir sämre då värden längre ut från punkten skall analyseras. För att få bättre överensstämmelse i de områdena kan fler derivator beräknas och uttrycket följer då den ursprungliga kurvan i ett större intervall runt den studerade punkten. /15/

Monte Carlo-simulering

Vid en Monte Carlo-simulering används mjukvara där grenarna i händelseträdet simuleras så att varje variabel ges ett värde utifrån dess sannolikhetsfördelning och på så sätt får sluthändelsen en frekvensfördelning. Proceduren upprepas ett antal gånger (1000, 10000) och samtliga värden på scenariets sparas och behandlas som observationer av den slumpvariabel denna utgör. Ur detta kan en fördelning för sluthändelsen erhållas. I följande exempel antas sannolikheten för brandlarmets funktion kunna beskrivas med en normalfördelning med medelvärde 0,9 och standardavvikelse 0,03. Funktionssannolikheten för sprinkler beskrivs med en triangelfördelning med 0,85 som minsta värde, 0,95 som mest sannolika värde samt 0,99 som högsta värde. De värden som anges i händelseträdet nedan är medelvärden av de använda fördelningarna. Resultat ges i form av medelvärde, intervall och standardavvikelse för de olika sluthändelserna se figur 2.2.



Figur 2.2 Händelsetråd med fördelningar i indata och utdata.

Bayesiansk uppdatering

Bayesiansk uppdatering är en metod som innebär att ur ett begränsat material uppskatta en fördelning som sedan kan uppdateras med ny information. Exempelvis kan en fördelning antas ur olika statistiska material och sedan uppdateras med information som är mer specifik för den aktuella objektstypen. En annan möjlighet är att ny information tillkommer vilket kan leda till en förbättrad skattning av den undersökta sannolikhetsfördelningen. Sambandet som används för att kombinera den nya informationen med den gamla informationen kallas Bayes sats och skrivs /2,16/:

$$P(A_i|B) = \frac{P(A_i)P(B|A_i)}{\sum_{j=1}^n P(A_j)P(B|A_j)} \quad i=1, 2, \dots, n$$

$P(A_i)$ kallas i Bayes sats apriorisannolikheten. Apriorisannolikheten anger uppskattningen av sannolikheten att ett visst tillstånd är det rätta, innan ny informationen erhålls. $P(A_i|B)$ kallas posteriorisannolikheten och anger skattningen av sannolikheten att det aktuella tillståndet är korrekt efter uppdatering med ny informationen. $P(B|A_i)$ uttrycker sannolikheten att ett specifikt värde på ny information erhålls givet ett visst tillstånd. Nämnaren i Bayes sats är sannolikheten för att händelsen A_i inträffar. /2,16/

Apriorisannolikheten är en subjektiv sannolikhet som kommer att variera beroende på dels vem som gör uppskattningen dels utifrån vilka grunder uppskattningen görs. Beroende på hur

stor mängd statistik som finns tillgänglig till den bayesianska uppdateringen blir uppskattningen genom uppdateringen mer objektiv. Detta problem gör att resultatet brukar kallas bevisbaserad sannolikhet. /17/

Vid bayesiansk uppdatering är det viktigt att noga studera den statistik som används för uppdateringen. Det som ligger till grund för apriorifördelningen, och statistiken som används vid uppdateringen, måste gälla för samma parameter och under samma förutsättningar. Statistiken som används vid uppdateringen komma att ge en större påverkan på resultatet ju fler observationer som gjorts och under ju längre tid mätningen skett.

Apriorifördelningen väljs oftast som ett brett spann av värden eftersom osäkerheterna här är stora. Ju mer statistik som finns tillgänglig ju mindre osäker blir parametern efter uppdatering vilket leder till mindre standardavvikelse.

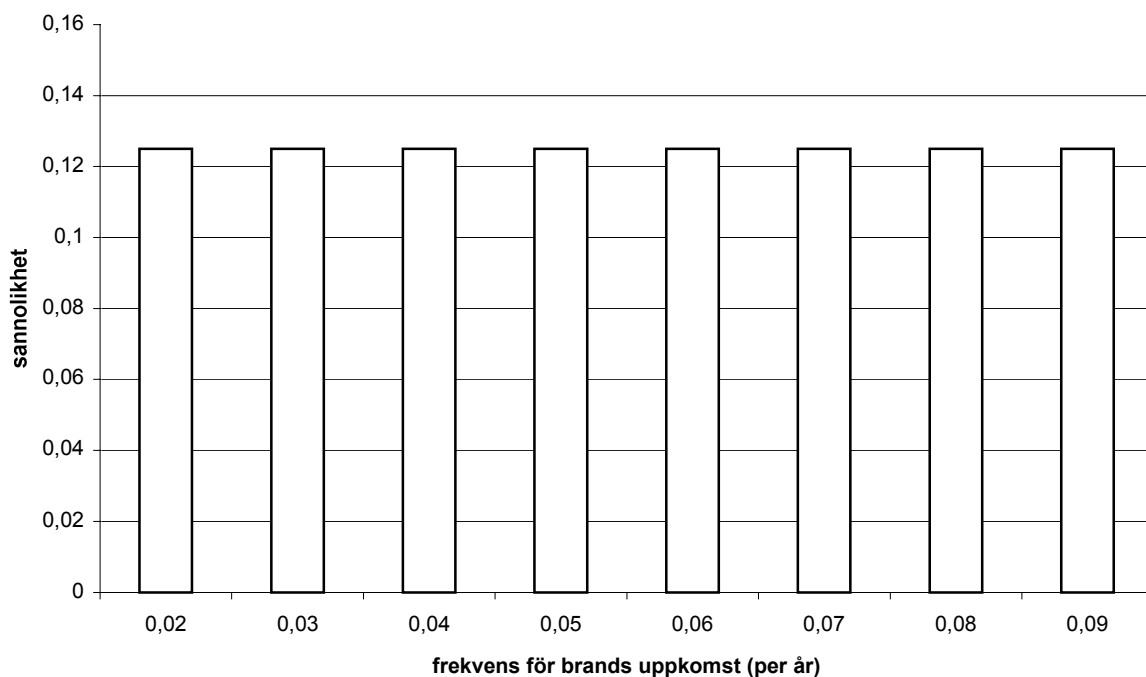
Exempel:

Genom studie av litteratur erhålls åtta olika värden på frekvens för brands uppkomst, se tabell 2.1, applicerat på en viss verksamhetstyp:

Tabell 2.1 Sannolikhet för de olika frekvenserna för brands uppkomst.

Frekvens	0,02/år	0,03/år	0,04/år	0,05/år	0,06/år	0,07/år	0,08/år	0,09/år
Sannolikhet	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125

En värdering görs även av statistikens tillförlitlighet. I det här fallet ger litteraturen information om att frekvens för brands uppkomst, för den aktuella verksamhetstypen, ligger i intervallet 0,02-0,09 bränder per år. Denna information ger följande apriorifördelning, där samma sannolikhet har valts för samtliga frekvenser, se figur 2.3.



Figur 2.3 Apriorifördelning över frekvens för brands uppkomst.

Sedan inhämtas ny information om brandfrekvens i det aktuella objektet. Informationen visar att det brunnit 2 gånger de senaste 30 åren i det aktuella objektet. Detta ger en brandfrekvens på 0,0667/år. Denna information används nu för att med hjälp av Bayes sats uppdatera den ursprungliga antagna fördelningen.

I exemplet kan följande beteckningar införas för den nya informationen, $B=0,0667/\text{år}$ och för de ursprungliga uppgifterna, $A_1=0,02/\text{år}$, $A_2=0,03/\text{år}$, $A_3=0,04/\text{år}$, $A_4=0,05/\text{år}$, $A_5=0,06/\text{år}$, $A_6=0,07/\text{år}$, $A_7=0,08/\text{år}$, $A_8=0,09/\text{år}$.

I enlighet med kapitel 2.2.2 kan brandfrekvensen beskrivas med en poissonfördelning. Antalet bränder, N , under en tidsperiod, t , blir då poissonfördelat.

$P(B/A_i)$, sannolikheten att det inträffar 2 bränder på 30 år, givet att frekvensen för brands uppkomst är $A_i/\text{år}$, beräknas för en poissonfördelning som:

$$P(B|A_i) = p_x(x) = e^{-\lambda t} (\lambda t)^x / x!$$

x = antalet bränder under tidsperioden t , λ = Brandfrekvens (år^{-1})

t = tidsperiod (år), $p_x(x)$ = Sannolikhet att x bränder uppkommer under tidsperioden t

Detta ger för de respektive fallen:

$$P(B|A_1) = p_x(x) = e^{-\lambda t} (\lambda t)^x / x! = e^{-0,02 \cdot 30} (0,02 \cdot 30)^2 / 2 = 0,0988$$

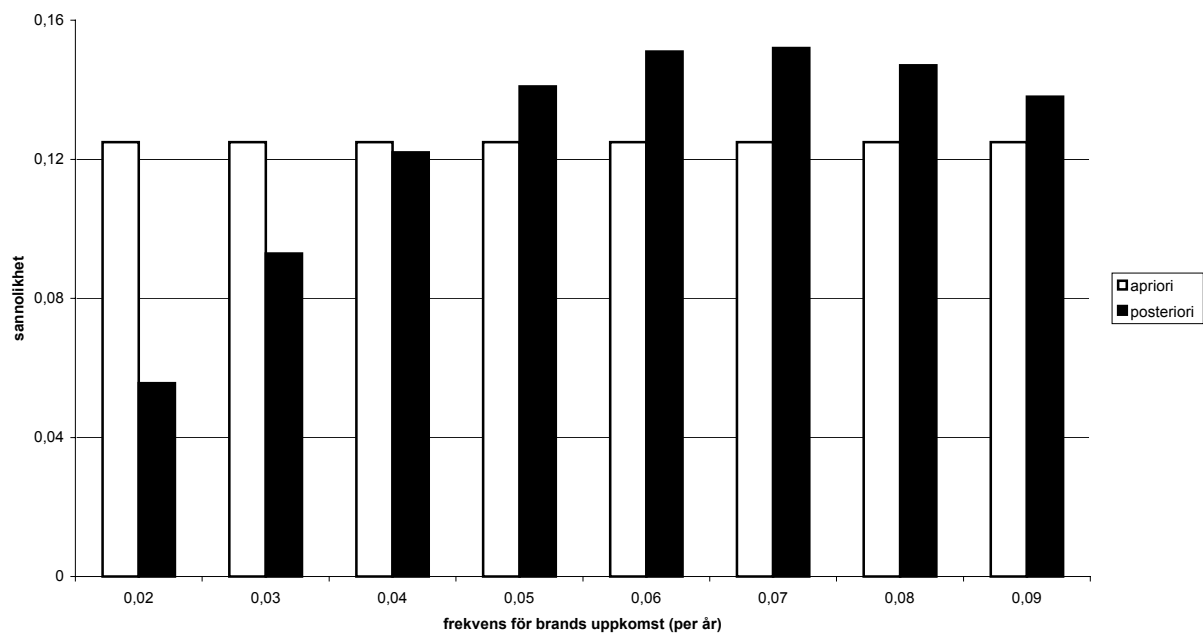
$$\begin{array}{lll} P(B|A_2) = 0,165 & P(B|A_3) = 0,217 & P(B|A_4) = 0,251 \\ P(B|A_5) = 0,268 & P(B|A_6) = 0,270 & P(B|A_7) = 0,261 \\ P(B|A_8) = 0,245 & & \end{array}$$

Bayes sats ger:

$$\begin{aligned} P(A_1|B) &= \frac{P(A_1)P(B|A_1)}{\sum_{j=1}^n P(A_j)P(B|A_j)} = \\ &= \frac{0,125 \cdot 0,0988}{0,125 \cdot 0,0988 + 0,125 \cdot 0,165 + 0,125 \cdot 0,217 + 0,125 \cdot 0,251 + 0,125 \cdot 0,268 + 0,125 \cdot 0,270 + 0,125 \cdot 0,261 + 0,125 \cdot 0,245} = \\ &= 0,0556 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{lll} P(A_2|B) = 0,0929 & P(A_3|B) = 0,122 & P(A_4|B) = 0,141 \\ P(A_5|B) = 0,151 & P(A_6|B) = 0,152 & P(A_7|B) = 0,147 \\ P(A_8|B) = 0,138 & & \end{array}$$

Resultatet från beräkningar med Bayes sats ger posteriorifördelningen enligt figur 2.4, det vill säga skattningen av frekvensen för brands uppkomst där ursprunglig information uppdaterats med ny information.



Figur 2.4 Posteriorifördelning (jämfört med ursprunglig apriorifördelning) över frekvens för brands uppkomst.

Efter den bayesianska uppdateringen erhålls en fördelning över frekvens för brands uppkomst där hänsyn tas till både resultat från undersökningar av litteratur, beräkningsmodeller och till resultat från befintlig statistik.

2.5 Konsekvensanalys

2.5.1 Allmänt

För att kunna beräkna den konsekvens de olika sluhändelserna i händelseträdet får behövs en bedömning av huruvida personer hinner utrymma tryggt ur byggnaden i det specifika fallet. För de fall när säker utrymning inte kan genomföras uppstår en konsekvens som kan uppskattas om antalet personer kvar i byggnaden vid kritiska förhållanden kan bestämmas. Beräkningar av detta kan göras med olika datorprogram där brandförlopp och utrymningsförlopp simuleras och jämförs.

2.5.2 Kriterier

Ett kriterium för de förhållanden vid vilka säker utrymning ej längre kan genomföras måste sättas upp för att en bedömning skall kunna göras. Vid dimensionering av brandskydd används ofta kriterier enligt tabell 2.2 för kritiska förhållanden.

Tabell 2.2 Gränsvärden för kritiska förhållanden /18/.

Parameter	Kritiskt värde
Brandgasskiktets höjd	1,6 +0,1*H; H = rumshöjden
Värmestrålning	10 kW/m ² kortvarigt, 60 kJ/m ² integrerad stråldos
Temperatur	80°C
Siktbarhet	10 m (1 obscura)
Toxicitet ¹⁾	CO<2000ppm, CO ₂ <5%, O ₂ >15%

¹⁾ Halterna i tabellen anger tillfredställande miljö. Värdena anses vara gränsvärden för skadliga doser av giftiga gaser och för låg syrehalt.

I en riskanalys där konsekvenser i form av förväntat antal döda eller liknande skall beräknas kan det dock vara en god idé att använda andra kriterier som bättre motsvarar förhållanden vid vilka utrymmande kan förväntas omkomma. Det kan då vara aktuellt att använda högre temperaturer eller större siktavstånd. Ett alternativ till att använda sig av kriterierna för kritiska förhållanden är att istället använda sig av kriterier för dödliga förhållanden, vilka visas i tabell 2.3.

Tabell 2.3 Gränsvärden för dödliga förhållanden /19/.

Parameter	Kritiskt värde
Brandgasskiktets höjd	1,5 meter
Värmestrålning	2,5 kW/m ²
Temperatur	120°C
Siktbarhet	10 meter vid stora avstånd 3 meter vid korta avstånd

2.5.3 Simulering av brandförlopp

Det finns ett flertal modeller för beräkning av brandförlopp. Oavsett vilken som används är kvaliteten på indata som ges till modellen av yttersta vikt för resultaten. En inventering av vad som kan brinna i lokalen bör därför göras så att ett rimligt brandscenario kan antas. Hänsyn till flera olika möjliga brandscenarion kan tas genom att en omfattande undersökning görs där en fördelning över de tänkbara källorna till uppkomst av brand erhålls.

I ”Initial fires” /8/ kan data över brandegenskaper för olika föremål hämtas och användas som indata till simuleringen. En förenkling som ofta görs är att branden antas följa ett αt^2 -samband, det vill säga antas växa kvadratisk mot tiden med en tillväxtfaktor som är specifik för olika material och föremål. Detta är ett vedertaget antagande, och då laboratieförsök ofta kommer från enstaka objekt som får självslockna utan spridning till andra objekt är det en god idé att fortsätta brandeffektkurvan till en högre nivå som bestäms av brandcellens brandbelastning samt storlek och placering på öppningar. Ytterligare en begränsning är att användandet av branddata från test på enstaka objekt inte medger hänsyn till typ av ytskikt i det brinnande rummet.

2.5.4 Simulering av utrymningsförlopp

Liksom för simulering av brandförlopp gäller att flera tillgängliga modeller kan användas. Viktiga faktorer vid utrymningssimuleringar är personantal i byggnaden samt hur de fördelar sig på olika utgångar i en utrymningssituation.

Personantalet kan baseras på mätningar eller beräknas utifrån data över persontätheter för byggnader i olika verksamheter vilket bland annat presenteras av Boverket och Frantzich /9,20/. Fördelning av personer mot olika utgångar varierar beroende på byggnadens utformning och personalens förmåga att hänvisa utrymmande mot alternativa utrymningsvägar. Generellt sett utrymmer större delen av de som befinner sig i byggnaden genom den utgång de använde för att ta sig in i byggnaden.

I en riskanalys är det viktigt att ta hänsyn till att personantalet i en byggnad varierar under dygnet, något som naturligtvis påverkar sannolikheten för att ett visst antal personer befinner sig i byggnaden då brand utbryter. Men anledning av detta är det olämpligt att använda medelvärden då det maximala personantalet kan vara flera gånger större än detta. En

fördelning över personantalet i byggnaden bör därför tas fram och olika värden från denna fördelning simuleras.

2.5.5 Beräkning av konsekvens

Varje sluthändelse i händelseträdet representeras av ett brandfall och utrymningsfall. Dessa kan som tidigare nämnts behandlas med hjälp av simuleringar i datorprogram. Observera att denna konsekvensanalys skall göras för varje sluthändelse i händelseträdet. Vägen fram till sluthändelsen avgör vilka brandscenarion och utrymningsscenarion som skall undersökas i aktuellt fall. För respektive fall gäller att brandsimuleringen ger en tid vid vilken säker utrymning inte längre kan anses fortsätta. Utrymningssimuleringen ger, tillsammans med tider för varseblivning och reaktion, en tid till total utrymning av byggnaden eller till annan säker plats. Tiderna från brandsimuleringarna respektive utrymningssimuleringarna jämförs sedan och en bedömning av konsekvensen kan göras. Vid jämförelserna används beräknade tider enligt följande för att bedöma konsekvens.

$$S = t_{krit} - t_v - t_r - t_g$$

S = säkerhetsmarginal (s)

t_{krit} = tid till kritiska förhållanden (s)

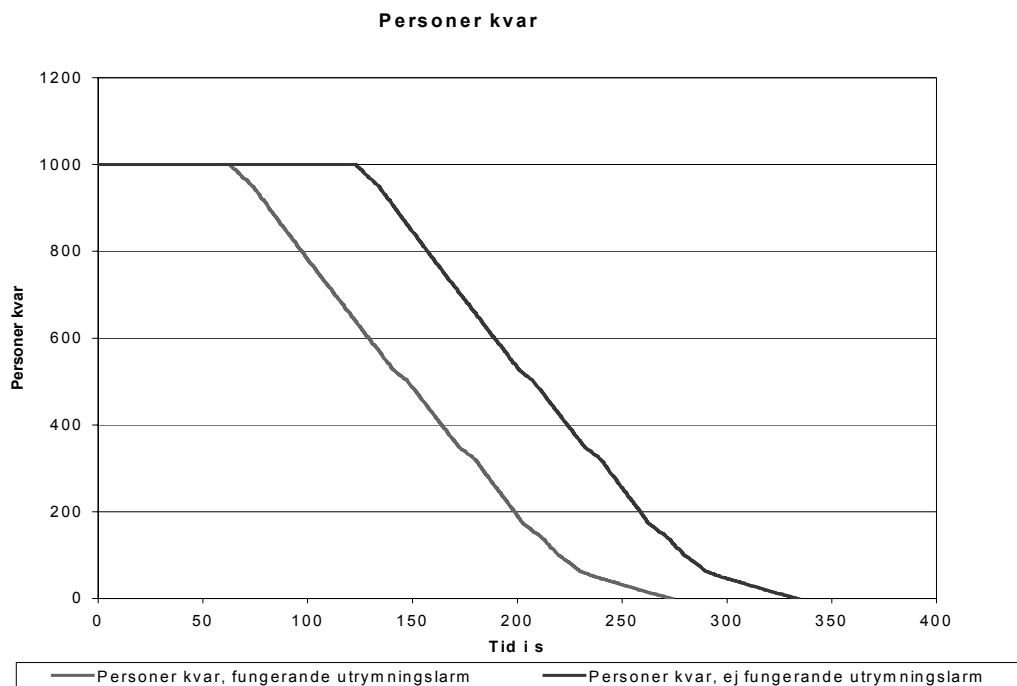
t_v = varseblivningstid (s)

t_r = reaktionstid (s)

t_g = gångtid (s)

Vid negativ säkerhetsmarginal S bedöms det studerade scenariet få konsekvenser i form av personer utsatta för kritiska förhållanden.

I figur 2.5 visas exempel på underlag för konsekvensbedömning. I det fall då brand- och utrymningslarm ej fungerar visar sig detta i en längre varseblivningstid samt förlängd tid för reaktion och beslut vilket innebär att det dröjer längre innan den första personen lämnar byggnaden. Om tid till kritiska förhållanden bedöms vara 300 sekunder ses att inga exponerade fås i fallet med fungerande utrymningslarm, medan 45 personer exponeras om utrymningslarmet fallerar.



Figur 2.5 Varseblivnings- samt utrymningstid vid fungerande respektive ej fungerande utrymningslarm.

2.6 Presentation av risk

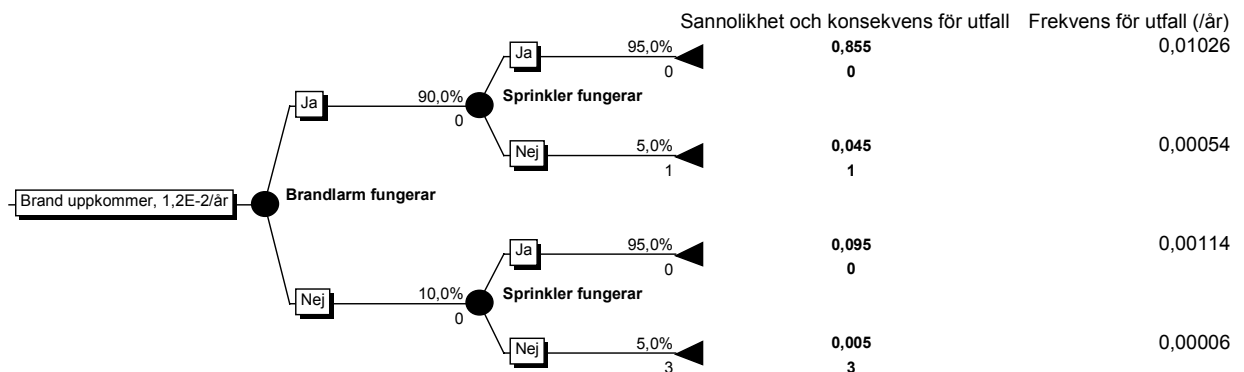
2.6.1 Allmänt

De frekvens- och konsekvensberäkningar som genomförs i en riskanalys kan sammanvägas på olika sätt för att beskriva den risk som starthändelsen i händelseträdet utgör. Vid riskanalyser med avseende på säkerhet anges ofta denna risk i form av en beräknad medelrisk. Denna utgörs av ett förväntat antal exponerade per år. Exponeringsnivån kan variera, vanligt är att förväntat antal döda per år används. Ytterligare förfining av denna presentation av risken kan fås om frekvensen för olika olyckor plottas mot konsekvensen av denna i en riskprofil. Vid detta förfarande fås en bild av fördelningen av stora olyckor och små olyckor som inte kan utläsas vid beräkning av medelrisken. Som exempel ger en beräkning av medelrisken samma resultat för en anläggning där en person förolyckas vart tionde år som samma beräkning utförd på en anläggning där tio personer förolyckas i en större olycka vart hundra år. Värdet på denna medelrisk blir 0,1 döda per år. Dessa anläggningar skulle dock få olika utseende om en riskprofil ritades upp.

Beräkning av medelrisk görs genom att riskbidraget från samtliga scenarier beräknas genom att frekvensen för scenariot multipliceras med dess konsekvens. De olika scenariernas bidrag summeras sedan och detta utgör den beräknade medelrisken. Vid framtagande av riskprofil används istället samtliga scenariers frekvens och konsekvens var för sig och dessa plottas in i ett så kallat F/N-diagram med logaritmerade värden på axlarna. Frekvenserna, F, kumuleras så att de motsvarar frekvensen för N eller fler exponerade. Förfarandet vid beräkningarna presenteras nedan.

2.6.2 Beräkning av medelrisk

Med utgång från ett händelsetråd beräknas frekvens och konsekvens för de scenarier som bedöms kunna uppkomma. Exempel på ett sådant händelsetråd ges i figur 2.6 nedan.



Figur 2.6 Händelsetråd till grund för beräkning av medelrisk.

I figuren ses att frekvensen har beräknats för samtliga scenarier och att det endast är scenario 2 och 4 som får konsekvenser. Scenario 2 beräknas få konsekvensen 1 exponerad person, och scenario 4 beräknas få 3 exponerade personer. Om frekvensen för varje scenario benämns f och konsekvensen k kan den utförda beräkningen beskrivas på följande sätt:

$$\text{Medelrisk} = \sum_{i=1}^n f_i * k_i$$

I exemplet ses att n , det vill säga antalet scenarier är fyra. Beräkningen ger följande resultat:

$$\text{Medelrisk} = 0,01026 * 0 + 0,0054 * 1 + 0,00114 * 0 + 0,00006 * 3 = 0,0056$$

Detta innebär att medelrisken beräknas till 0,0056 exponerade per år.

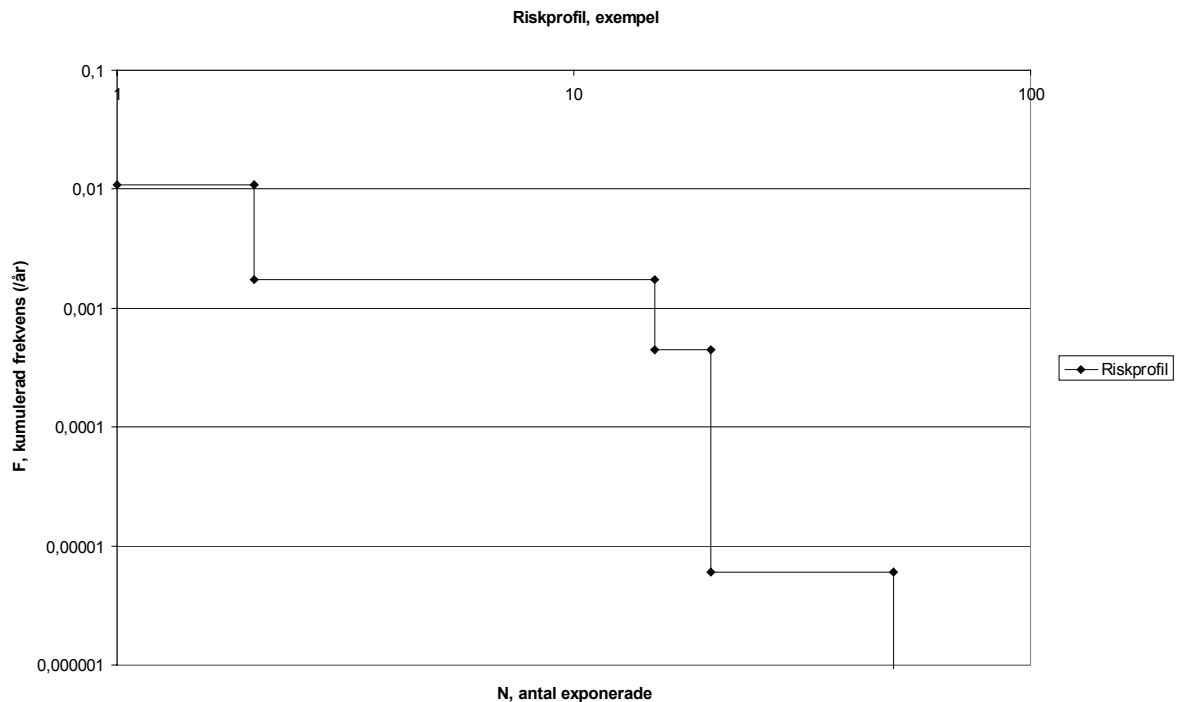
2.6.3 Riskprofil

En riskprofil tas fram genom att de olika scenariernas frekvens och konsekvens plottas i ett F/N-diagram. Som exempel på detta används ett händelsetråd som gett fyra scenarier. Fiktiva värden på frekvenser och konsekvenser antas. Scenariernas frekvenser och konsekvenser presenteras i tabell 2.4.

Tabell 2.4 Underlag för framtagande av riskprofil.

Scenario	Frekvens (år ⁻¹)	Konsekvens, N	Kumulerad frekvens, F
1	0,0092	2	0,0109
2	0,0013	15	0,00175
3	0,00044	20	0,00045
4	0,000006	50	0,000006

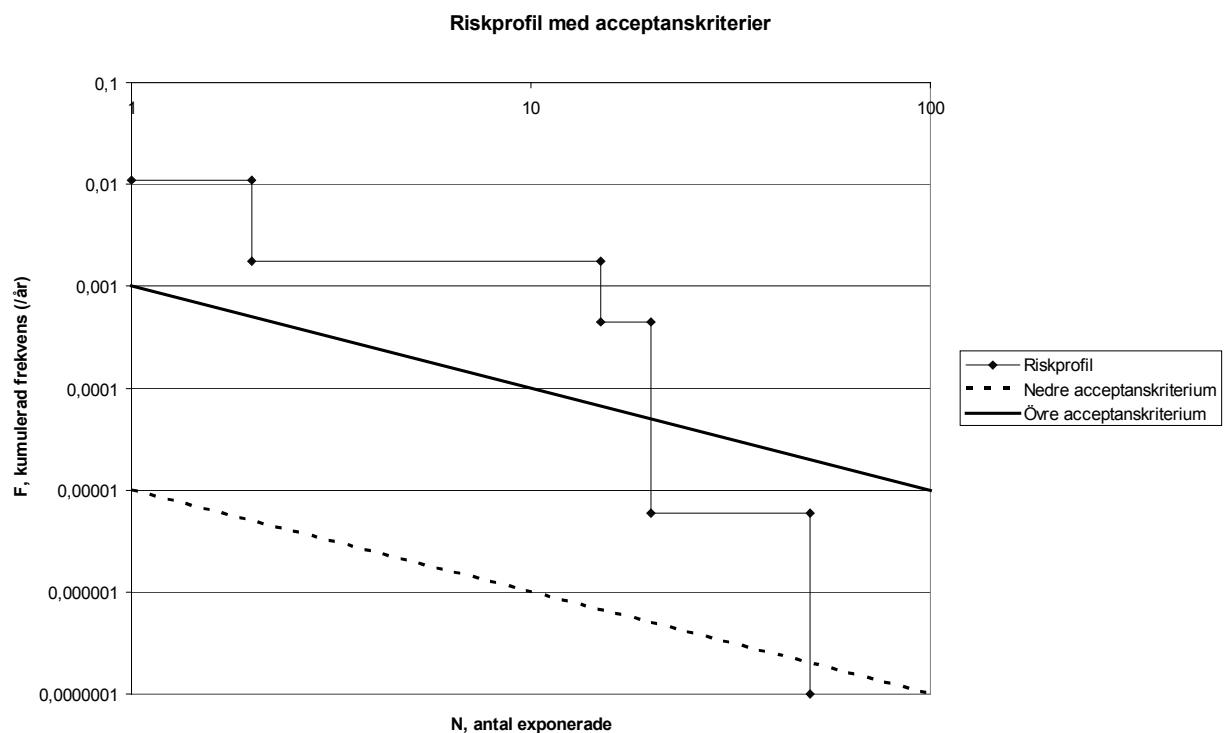
För plottning i F/N-diagram används konsekvenserna och de kumulerade frekvenserna (det vill säga frekvensen för N eller fler exponerade). Plottningen sker i diagram med logaritmerade värden på axlarna och får utseende enligt figur 2.7.



Figur 2.7 Exempel på utseende på riskprofil.

2.6.4 Beslutsgränser

Den beräknade risken bör för att beräkningen skall kunna utgöra beslutsunderlag kunna jämföras med någon form av beslutsgränser. För medelrisken kan denna utgöras av ett värde som risken ej får överstiga. Vid framtagande av riskprofil är det vanligt att beslutsgränserna utgörs av acceptanslinjer vilka den beräknade riskprofilen bör underskrida i alla områden för att risken skall accepteras. Detta kan få utseende enligt figur 2.8.



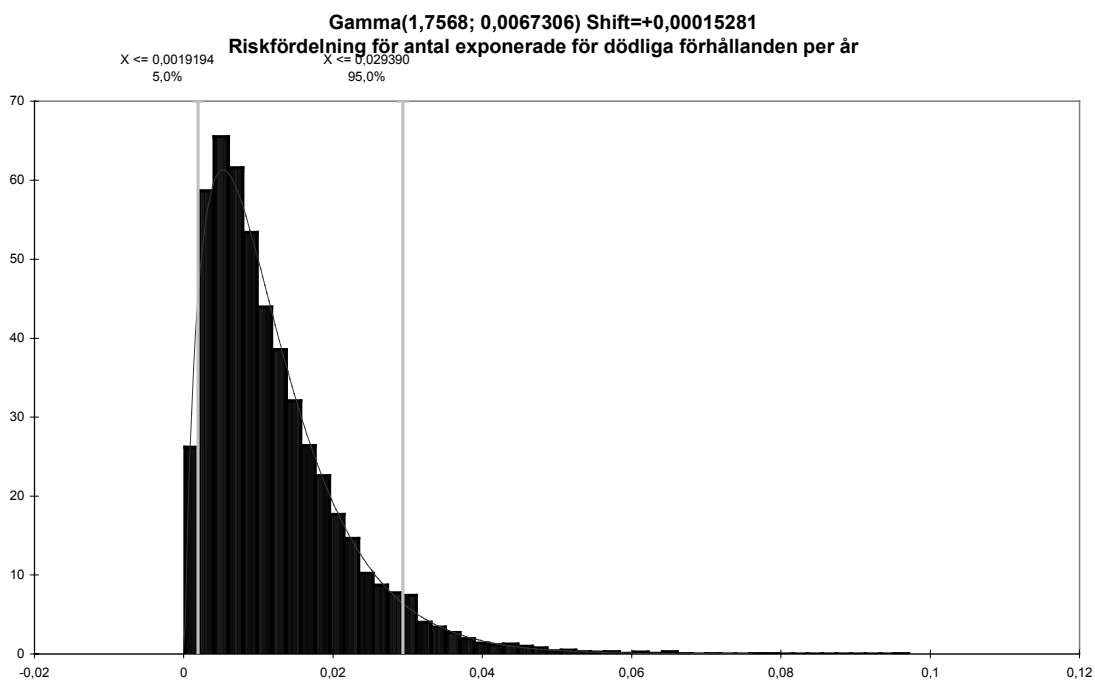
Figur 2.8 Exempel på utseende för riskprofil med acceptanskriterier.

I exemplet ovan ses att den beräknade riskprofilen ligger över de både acceptanslinjerna i stora delar av området och således borde risken enligt dessa kriterier inte accepteras.

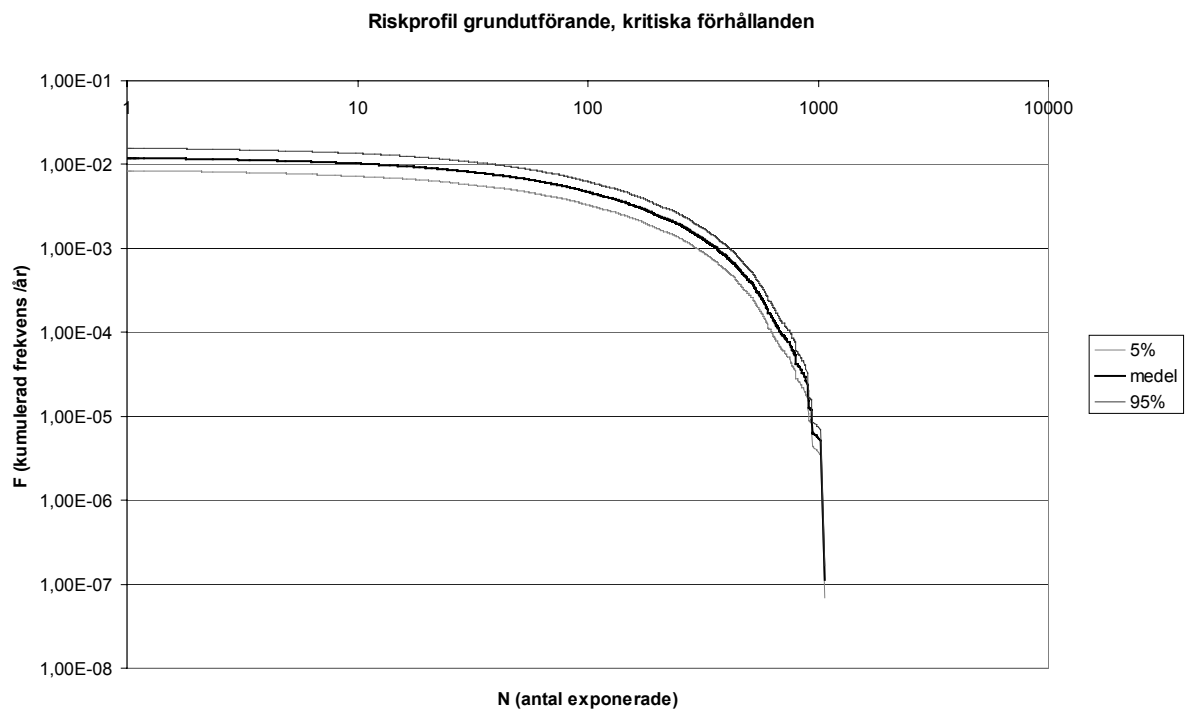
2.6.5 Hänsyn till osäkerheter

Hänsyn kan som nämnts tas till osäkerheter i varierande grad och detta kan presenteras på olika sätt vid presentation av risk. Exempelen ovan bygger på en deterministisk analys där deterministiska värden används för beräkningarna. Om istället en probabilistisk analys utförs med sannolikhetsfördelningar som indata kan resultat och datapunkter redovisas med spridning. Detta gör att resultaten får något annorlunda utseende.

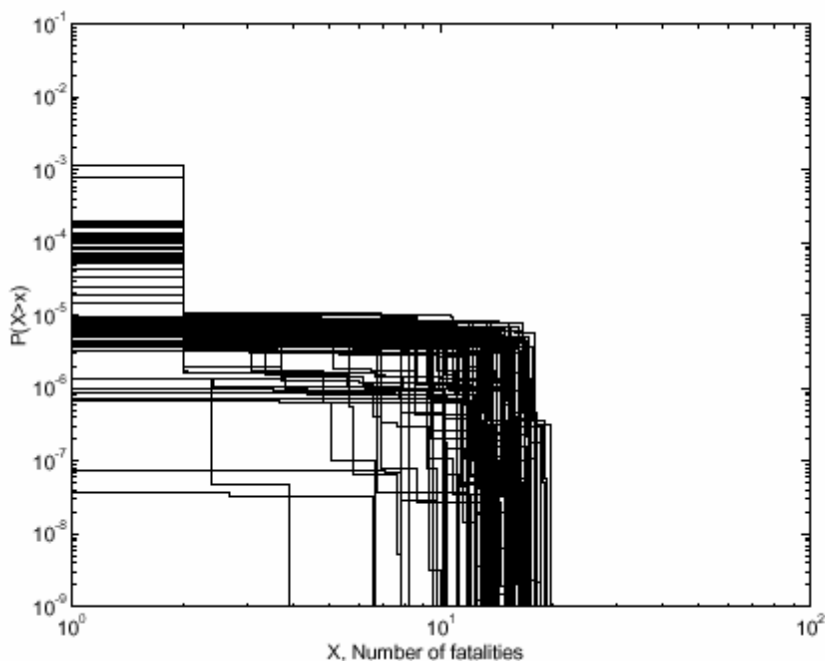
För medelrisken innebär detta att det beräknade värdet även redovisas med en spridning. Riskprofiler kan presenteras med spridning i frekvensdimensionen eller spridning i såväl frekvens- som konsekvensdimensionen. Senare i denna rapport presenteras beräkning av medelrisk med spridning och riskprofil med frekvensspridning. Denna beräkning av riskprofil tar hänsyn till osäkerheter i såväl de olika scenariernas frekvens som i dess konsekvens enligt metodik som beskrivs senare i rapporten. För beräkning av riskprofiler med både frekvens- och konsekvensspridning hänvisas till Frantzich /21/. Några exempel på presentation av risk beräknad med osäkerheter ges i figur 2.9-2.11.



Figur 2.9 Exempel på utseende för sannolikhetsfördelning för medelrisken.



Figur 2.10 Exempel på utseende för riskprofil presenterad med spridning i frekvensdimensionen.



Figur 2.11 Exempel på utseende för riskprofil presenterad med frekvens- och konsekvensspridning. /21/.

2.7 Osäkerheter i parametrar

2.7.1 Allmänt

Alla variabler är behäftade med en viss osäkerhet beroende på att fullständig information inte är tillgänglig. Om exempelvis brandfrekvensen räknas ut för en byggnad finns osäkerheter i detta värde då det statistiska underlaget för det framtagna uttrycket är begränsat. Dessutom

har uttrycket antagligen anpassats till det statistiska materialet genom en matematisk modell där överensstämmelsen inte behöver vara fullständig. Vidare är brandens egenskaper beroende av bland annat vilket föremål som börjar brinna, vilket kan beskrivas med en sannolikhetsfördelning. Detta ger en osäkerhet i brandens egenskaper som kan behandlas med statistiska modeller.

Det finns två olika typer av osäkerheter som representerar olika fenomen. Osäkerheter kan uppstå dels på grund av kunskapsbrister och bristfälligt underlag, dels som en effekt av naturliga variationer. De båda typerna av osäkerheter beskrivs närmare i kapitel 2.7.2 och 2.7.3.

2.7.2 Kunskapsosäkerheter

Osäkerheter i indata kan uppstå då underlaget för att bedöma en parameters värde är begränsat. Exempelvis så minskar sannolikt osäkerheterna för en funktionssannolikhet i en riskanalys när det statistiska underlaget blir större. Parametrar som är behäftade med kunskapsosäkerheter har i princip ett "sant" deterministiskt värde, men detta kan inte med säkerhet bestämmas på grund av att tillräcklig information saknas.

Exempel på parametrar som är behäftade med kunskapsosäkerheter i en brandteknisk riskanalys är funktionssannolikheter för olika brandtekniska system såsom brandlarm, sprinkler och brandgasventilation då dessa bygger på befintlig statistik. Även sannolikheten att en utrymningsdörr är blockerad är ett exempel på en variabel där kunskapsosäkerheter förekommer.

Ett problem med att använda befintlig statistik är att den ofta är baserad på observationer i andra miljöer och under andra förhållanden än de som avses att studeras i riskanalysen. Exempelvis är det inte säkert att funktionssannolikheten för ett sprinklersystem i Australien är samma som för ett sprinklersystem i Sverige beroende på eventuella skillnader i utformning av systemen, material i komponenter, den miljö de är installerade i, rutiner för kontroll samt grad av drift och underhåll. En studie av olika statistik kan därför göras där informationen värderas och bedöms för att ge en fördelning över funktionssannolikheten.

2.7.3 Stokastiska osäkerheter

Naturliga variationer uppkommer hos fenomen som är behäftade med någon form av slump eller stokasticitet. Exempelvis kan reaktionstiden hos personer som skall utrymma variera slumpartat beroende på de utrymmandes personegenskaper. Då det sällan är känt vilka personer som kommer att vistas i en byggnad när brand utbryter kan reaktionstiden beskrivas med en stokastisk variabel. Denna motsvarar en sannolikhetsfördelning för reaktionstiden.

Även stokastiska osäkerheter har inslag av kunskapsosäkerheter i den mån att mer information kan eliminera en viss del av variabiliteten. Hade det exempelvis varit möjligt att exakt veta vilka personer som skulle befinna sig i en byggnad då brand utbröt samt de personegenskaper de skulle agera efter hade osäkerheten minskat. Detsamma gäller för brandtillväxt att om det vore känt vilket föremål branden skulle starta i skulle osäkerheten kring brandens egenskaper minska väsentligt.

Stokastiska parametrar används således för att ta hänsyn till sannolikheter för olika förlopp hos parametrar som varierar naturligt. Exempel på sådana parametrar i en brandteknisk riskanalys är, varseblivningstid, reaktions- och beslutstid samt brandens tillväxthastighet.

2.7.4 6 nivåer för hantering av osäkerhet i riskanalyser

Osäkerheter förekommer som nämnts vid riskanalysförfarandet, dessa osäkerheter kan uppkomma på grund av otillräcklig information (kunskapsosäkerheter) eller på grund av naturliga variationer (stokastiska osäkerheter). Dessa kan hanteras på olika sätt i en riskanalys, och Paté-Cornell presenterar /22/ en genomgång av sex olika nivåer för denna hantering. Dessa nivåer är inte att betrakta som självklara, mellanting och blandningar mellan nivåerna förekommer. Val av indata till en riskanalysmodell sker med någon form av osäkerhetsbedömning. Eventuellt används medelvärden, konservativa värden eller worst case-scenarion. Vid mer avancerade analyser kan probabilistiska metoder användas. De nivåer Paté-Cornell presenterar berör alla dessa möjligheter.

Osäkerhetshanteringen i riskanalyser på lägre nivåer utgörs av att risken helt enkelt identifieras, och att en worst case-bedömning görs. Vid detta förfarande tas ingen hänsyn till sannolikheter och någon egentlig bedömning av riskens omfattning kan ej göras. Dock kan eventuella konsekvenser av en olycka bedömas grovt. Ett mer detaljerat tillvägagångssätt är att för alla indata och bedömningar försöka bestämma en ”övre trolig gräns” för de värden som skall användas. Detta innebär att konservativa estimat görs, eventuellt kan 95 %-fraktiler användas. Detta ger sannolikt en överskattning av risken då konservativa värden propageras genom analysen vilket kan leda till en beräknad risk långt större än den faktiska. Som ett alternativ till detta kan medelvärden användas för att beräkna en sorts medelrisk. Det är dock inte säkert att användande av medelvärden vid beräkning av risken ger ett resultat som återspeglar den faktiska risken. Den beräknade medelrisken kan både över- och underskatta den verkliga risken.

Probabilistiska metoder kan användas för att kvantifiera osäkerheterna i indata och på så sätt också få en bild av osäkerheterna i utdata. För att presentera osäkerheterna i utdata i en riskprofil separeras kunskapsosäkerheter och stokastiska osäkerheter och behandlas separat. Resultatet blir en riskprofil som visar kunskapsosäkerheternas inverkan på frekvensen för olika konsekvenser.

2.7.5 Korrelation mellan parametrar

Vissa av de parametrar som ingår i en brandteknisk riskanalys är mer eller mindre korrelerade, det vill säga de samvarierar på något sätt och i en viss utsträckning. Exempelvis så är det rimligt att anta att en snabb brandtillväxt ger en kortare varseblivningstid då detektion sker tidigare. Det är därför intressant att i en kvantitativ riskanalys undersöka korrelation mellan olika parametrar. Denna undersökning kan vara komplicerad att genomföra på grund av att det många gånger saknas information för bedömningen och korrelationsfaktorn blir då svår att bestämma. För exempelvis brands tillväxthastighet och varseblivningstid kan denna korrelation behandlas med hjälp av de beräkningsmodeller som används, medan det i andra fall skulle krävas omfattande undersökningar av olika statistik. Statistiken är dock sällan indelad på ett sådant sätt att denna undersökning är möjlig. Om en korrelation ändå bedöms existera kan ett värde på korrelationsfaktorn antas i brist på bättre underlag.

2.8 Osäkerheter i modeller

När en modell införs för att beskriva ett samband eller med avsikt att genomföra beräkningar av ett förlopp införs även ytterligare osäkerheter. Anledningen till detta är att modellen gör en mängd olika förenklingar och antaganden för att kunna fungera rent praktiskt. Komplexiteten hos olika modeller varierar och det finns även stora skillnader avseende hur stor del av indata

som kan varieras av användaren och hur stor del som är förutbestämda och fasta värden. Detta gör att även osäkerheten och felet i de resultat som ges varierar. De formler som beräkningsmodellen använder sig av bygger ofta på empiriska värden, det vill säga ett statistiskt material har gett en matematisk modell och överensstämmelsen här behöver inte vara fullständig.

Ett exempel på en matematisk anpassning är McCaffreys formel för temperaturökningen i brandgaslagret jämfört med den omgivande temperaturen. Med utgångspunkt i en förenklad energibalans ekvation ges resultatet att $\Delta T/T_a$ kan uttryckas som en funktion av två dimensionslösa grupper enligt följande /23/:

$$\frac{\Delta T}{T_a} = f\left(\frac{\dot{Q}}{\sqrt{g\rho_a c_p T_a A_0 \sqrt{H_0}}}, \frac{h_k A_T}{\sqrt{g\rho_a c_p A_0 \sqrt{H_0}}}\right)$$

\dot{Q} = brandens effektutveckling (kW), ΔT = temperatur i brandgaslagret (°C eller K)

T_a = omgivande temperatur, 295 K, g = gravitationskonstant, 9,81 m/s²

ρ_a = densitet för omgivande luft, 1,2 kg/m³, c_p = specifik värmekapacitet, 1,05 kJ/kgK

A_0 = öppningarnas area (m²), H_0 = öppningarnas höjd (m)

h_k = effektiv värmeledningskoefficient (kW/m²K)

A_T = rummets invändiga omslutningsarea (m²)

Vidare antogs att ett förhållande som följande för gäller ekvationen ovan:

$$\frac{\Delta T}{T_a} = C X_1^N X_2^M$$

För att kunna bestämma konstanterna C, N och M analyserades över 100 experiment där alla variabler i de två dimensionslösa grupperna var kända och varierades på olika sätt. Med hjälp av regressionsanalys av testdata kunde konstanterna bestämmas, vilket gav ekvationen:

$$\frac{\Delta T}{T_a} = 1,63 \left(\frac{\dot{Q}}{\sqrt{g\rho_a c_p T_a A_0 \sqrt{H_0}}}\right)^{2/3} \left(\frac{h_k A_T}{\sqrt{g\rho_a c_p A_0 \sqrt{H_0}}}\right)^{-1/3}$$

Genom att sätta in konventionella värden för parametrarna; g , ρ_a , T_a och c_p , värdena som används anges ovan erhålls en mer lätthanterlig ekvation:

$$\Delta T = 6,85 \left(\frac{\dot{Q}^2}{A_0 \sqrt{H_0} h_k A_T}\right)^{1/3}$$

McCaffreys ekvation är vanligt förekommande vid beräkning av temperaturökningen i brandgaslagret och som exemplet visar används en mängd antaganden och förenklingar för att nå fram till det slutliga resultatet och för att göra ekvationen hanterbar. Samtidigt bygger beräkningsmodellen på empiriska värden. Dessa aspekter leder till osäkerhet i

beräkningsresultatet vilket det är viktigt att vara medveten om och ta hänsyn till vid användande av modellen. I BSI (1997) /24/ redovisas resultatet från en delphiundersökning där experter inom brandområdet har uppskattat hur ett antal ekvationer förhåller sig till verkligheten. Detta genomförs genom att ett värde för β erhålls genom formeln:

$$\beta = \frac{\text{uppskattat värde}}{\text{uppmätt värde}}$$

Genom att dividera ekvationen som undersökningen gäller för med dess β -värde erhålls ett värde som bättre stämmer överens med verkliga förhållanden. β för ekvationen kan anges med ett 80 % konfidensintervall samt med vilken fördelning som β kan förväntas anta. För McCaffreys ekvation blev resultatet enligt tabell 2.5.

Tabell 2.5 Beskrivning av modellosäkerheten för McCaffreys ekvation. /24/

$\beta_{10\%}$	$\beta_{90\%}$	Fördelning
0,85	1,25	Likformig

Även de fall där en parameter genom simulering uttrycks med hjälp av en statistisk fördelning förekommer osäkerheter och fel. Här anges dock vid simulering överensstämmelsen mellan indata och de resulterande fördelningarna vilket ger en möjlighet att uppskatta felet.

3 Frekvens för brands uppkomst

3.1 Allmänt

I kapitel 3 studeras frekvens för brands uppkomst. Endast två olika typer av verksamheter studeras närmare här, men metodiken för att ta fram dessa frekvenser kan även appliceras på andra typer av byggnader och verksamheter. Dels studeras frekvens för brands uppkomst i samlingslokal, och framtagen frekvens används senare då exempel på genomförande av riskanalys presenteras i kapitel 10, dels studeras frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning då det för denna verksamhetstyp finns jämförelsevis bra underlag för att kunna göra en god bedömning.

För att väga ihop de olika uppskattningarna av frekvens för brands uppkomst på vårdavdelningar används bayesiansk uppdatering. Bayesiansk uppdatering beskrivs närmare i kapitel 2.4.4. Med hjälp av detta tas en fördelning för frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning fram.

Utifrån erhållen posteriorifördelning ges förslag till en generell apriorifördelning som kan användas som en första skattning av sannolikheten för brands uppkomst på vårdanläggningar med en golvyta på omkring 500 m².

För att möjliggöra en bedömning av den risk som en brand innebär i form av påverkan på personsäkerheten i en byggnad krävs även information om hur stor andel av de inträffade bränderna som kan förväntas utvecklas och växa i sådan omfattning att personers hälsa och säkerhet kan påverkas. Med anledning av detta studeras antalet bränder som självslocknar, endast ger rökutveckling eller släcks av personal.

3.2 Metoder för beräkning av frekvens för brands uppkomst

En uppskattning av frekvens för brands uppkomst kan göras med hjälp av ett antal olika metoder. De studerade metoderna är dels Rutsteins metod /2/ och VTT-metoden /25/, dels metoder presenterade i "Fire Engineering Guidelines" /26/. I flertalet av metoderna beräknas frekvensen som funktion av byggnadsytan. I flertalet av metoderna tas även hänsyn till verksamhetstyp. Det finns skillnader i vilka verksamheter som finns representerade och vilka koefficienter som skall användas vid beräkningarna. Ett annat sätt att uppskatta frekvens för brands uppkomst är att studera befintlig statistik framtagen med hjälp av data över inträffade bränder.

I Rutsteins metod tas hänsyn till verksamhetstyp genom användning av verksamhetsspecifika konstanter, se tabell 3.1. Frekvensen för brands uppkomst beräknas med följande uttryck /2/:

$$\lambda = a * A_F^b$$

λ = Brandfrekvens (år⁻¹), a = Konstant beroende på verksamhet,

b = Konstant beroende på verksamhet, A_F = Areal på aktuell byggnad

Tabell 3.1 Konstanter vid beräkning av frekvens för brands uppkomst enligt Rutsteins metod /2/.

Verksamhet	a	b
Lager	0,00670	0,50
Butiker	0,000066	1,00
Kontor	0,000059	0,90
Hotell	0,000080	1,00
Sjukhus	0,000700	0,75
Skolor	0,000200	0,75

J. Rahikainen och O. Keski-Rahkonen har studerat finsk statistik och i rapporten "Determination of ignition frequency of fire in different premises in Finland" /25/ presenteras ett enkelt samband mellan brandfrekvens och byggnadsyta för byggnader större än 1000 m². Sambandet gäller oberoende av vilken typ av byggnad det är. Den totala byggnadsytan för ett sjukhus är oftast betydligt större än 1000 m², vilket ger god applicerbarhet. Dock har en enskild vårdavdelning oftast en total yta på mindre än 1000 m². Det samband som anges är:

$$\lambda = 10^{-5} * A_f \text{ (år}^{-1}\text{)}$$

North och Baldwin har i artikeln "Fire Risk in Hospitals" /27/ koncentrerat sig på uppkomst av brand i sjukhus. Ett intervall anges för brandfrekvensen på sjukhus:

$$1,3 * 10^{-5} * A_f \leq \lambda \leq 2,0 * 10^{-5} A_f$$

I "Fire Engineering Guidelines"/26/ presenteras fler metoder för bestämning av frekvens för brands uppkomst. I den ena metoden tas hänsyn endast till verksamhetstyp och ingen justering görs för objektets byggnadsyta. Denna metod får därför anses vara en grov uppskattning av startfrekvensen. Frekvens för brands uppkomst beräknas i denna metod med hjälp av de verksamhetsspecifika värdena i tabell 3.2 nedan. Framräknad frekvens gäller för en anläggning.

Tabell 3.2 Frekvens för brands uppkomst för olika verksamheter /26/.

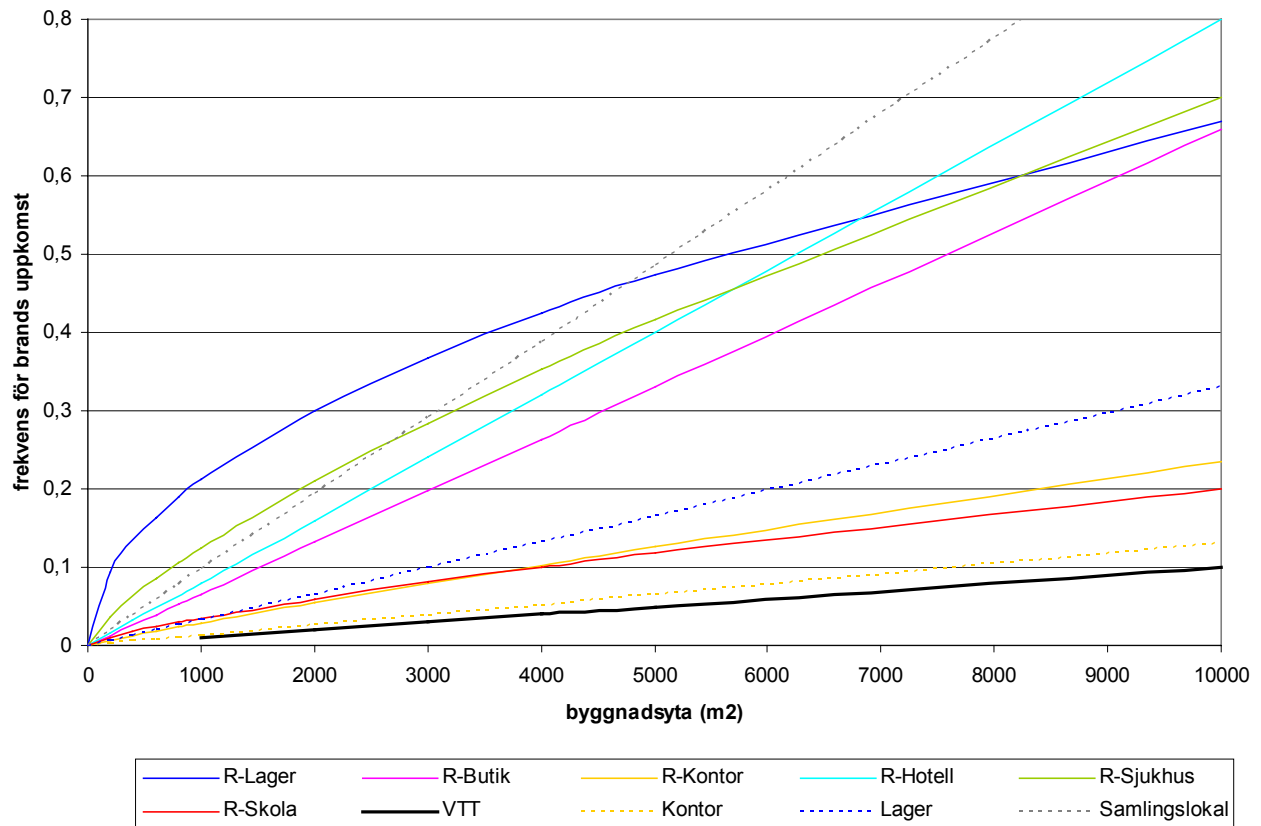
Verksamhet	Frekvens för brands uppkomst per anläggning och år
Industri	0,044
Lager	0,013
Kontor	0,0062
Underhållningslokal	0,12
Samlingslokal	0,02
Sjukhus	0,3
Skola	0,04
Bostad	0,003

I den andra metoden bestäms frekvensen med avseende dels på verksamhet dels på byggnadsyta. Frekvensen för brands uppkomst beräknas med hjälp av de verksamhets-specifika värdena i tabell 3.3 nedan.

Tabell 3.3 Frekvens för brands uppkomst för olika verksamheter med avseende på golvyta /26/.

Verksamhet	Frekvens för brands uppkomst ($\text{år}^{-1} * \text{m}^{-2}$)
Kontor	$1,3 * 10^{-5}$
Lager	$3,3 * 10^{-5}$
Samlingslokal	$9,7 * 10^{-5}$

För att få en jämförelse av ovan presenterade metoder för framtagande av frekvens för brands uppkomst för olika verksamhetstyper redovisas värden från Rutsteins metod, VTT-metoden samt metod redovisad i tabell 3.2 ovan. Metod med värden redovisade i tabell 3.2, där hänsyn inte tas till byggnadens golvyta, har inte tagits med i jämförelsen. Jämförelsen görs för byggnader med golvytor upp till 10000 m². I figuren har de verksamhetstyper som återkommer i de olika metoderna getts samma färg för att förenkla jämförelsen. Rutsteins metod är de som skrivs med R före verksamhetstypen, dessa visas som heldragna linjer i figuren. Resultatet från VTT-metoden visas med en svart heldragen linje. De frekvenser som är beroende av båda verksamhetstyp och byggnadsyta visas som streckade linjer. Jämförelsen mellan samtliga ovanstående metoder visas i figur 3.1.



Figur 3.1 Jämförelse mellan beräkningsresultat för frekvens för brands uppkomst enligt ovan nämnda metoder.

Figur 3.1 visar att det vid jämförelse med övriga metoder för beräkning av frekvensen för brands uppkomst är Rutsteins metod som ger de högre värdena. Även sistnämnda metod i "Fire Engineering Guidelines" /26/, där hänsyn tas både till verksamhet och till byggnadsyta, ger relativt höga värden. Om man tittar på redovisade värden i tabell 3.2, för metoden där ingen hänsyn tas till byggnadsyta, ligger dessa värden generellt mycket lågt jämfört med

övriga metoder. Denna metod ligger i samma storleksordning som de övriga endast för byggnadsytor mindre än cirka 1000m².

För att få ett komplement till underlaget erhållet från beräkningsmetoder kan en skattning göras av fördelningen som sedan uppdateras med hjälp av statistik från objekt som liknar det studerade. Detta tillvägagångssätt kallas Bayesiansk uppdatering och beskrivs närmare i kapitel 2.4.4.

3.3 Frekvens för brands uppkomst i samlingslokal

3.3.1 Rutsteins metod

Enligt Rutsteins metod uppskattas frekvens för brands uppkomst med följande uttryck:

$$\lambda = a * A_F^b$$

λ = Brandfrekvens (år⁻¹), a = Konstant beroende på verksamhet,

b = Konstant beroende på verksamhet, A_F = Arean på aktuell byggnad

Konstanterna a och b är verksamhetsberoende. Samlingslokal finns inte med bland redovisade verksamheter. För att kunna göra en uppskattning av frekvens för brands uppkomst för samlingslokal kan data från verksamhetstyper som kan liknas vid samlingslokal användas. Liknande verksamheter som det finns data för är skola och hotell. För skola gäller $a = 0,0002$ och $b = 0,75$ och för hotell $a = 0,00008$ och $b = 1$. Golvytan, A_f , i den samlingslokal som studeras i kapitel 10 är 611 m².

Genom att väga samman dessa två verksamheter kan en uppskattning för frekvens för brands uppkomst i samlingslokal göras. Sammanvägningen kan göras på två olika sätt. Ena sättet är att frekvensen beräknas för hela lokalens golvyta för både skola och hotell och sedan beräknas ett medelvärde av de två svaren. Detta ger:

$$\lambda_{skola} = 0,0002 * 611^{0,75} = 0,025 \text{ år}^{-1}$$

$$\lambda_{hotell} = 0,00008 * 611^1 = 0,049 \text{ år}^{-1}$$

Frekvensen beräknas som medelvärdet vilket är 0,037 år⁻¹.

Alternativet är att sätta halva golvytan i den aktuella lokalen till skola och halva golvytan till hotell och sedan addera svaren. Detta ger:

$$\lambda = 0,0002 * 305,5^{0,75} = 0,015 \text{ år}^{-1}$$

$$\lambda = 0,00008 * 305,5^1 = 0,024 \text{ år}^{-1}$$

Adderas svaren erhålls frekvensen till 0,039 år⁻¹.

Sistnämnda metod för beräkning av frekvens för brands uppkomst, enligt Rutsteins metod, anses vara den bästa tillämpningen, varför denna används i den fortsatta analysen. Rutsteins

metod ger då en uppskattning av frekvens för brands uppkomst, i en samlingslokal med golvytan 611 m², på 0,039 år⁻¹.

3.3.2 VTT

Enligt VTT-metoden uppskattas frekvensen för brands uppkomst med följande uttryck:

$$\lambda = 10^{-5} * A_f \text{ (år}^{-1}\text{)}$$

där A_f är byggnadens golvyta.

Metoden gäller oberoende av vilken verksamhet som byggnaden inrymmer och är applicerbar på byggnader med en byggnadsyta som är större än 1000 m². Studerad samlingslokal antas ligga i en byggnad med en byggnadsyta som överstiger 1000 m². Lokalen har en golvyta, A_f , på 611 m². Detta ger:

$$\lambda = 10^{-5} * A_f \text{ (år}^{-1}\text{)}$$

VTT-metoden ger en uppskattning av frekvens för brands uppkomst, i en samlingslokal med golvytan 611 m², på 0,0061 år⁻¹.

3.3.3 Övriga metoder för bestämning av frekvens för brands uppkomst

Det finns fler metoder att tillgå för uppskattning av frekvensen för brands uppkomst i samlingslokal. I "Fire Engineering guidelines" /26/ redovisas ett par olika metoder som ger olika resultat. Metoderna redovisas mer utförligt i kapitel 3.2.

För samlingslokal anges frekvens för brands uppkomst till 0,02 år⁻¹ för ett objekt. Då denna metod ej tar hänsyn till någon annan parameter än verksamhetstyp får den anses vara en grov bedömning.

En annan metod där hänsyn tas till byggnadsytan anger att frekvens för brands uppkomst i samlingslokal beräknas genom uttrycket:

$$\lambda = 9,7 \cdot 10^{-5} * A_f \text{ (år}^{-1}\text{)}$$

där A_f är byggnadens golvyta.

Detta ger för aktuell samlingslokal, med golvytan 611 m², en uppskattning av frekvensen för brands uppkomst på 0,059 år⁻¹.

3.4 Framtagande av fördelning för samlingslokal

Fördelning av frekvens för brands uppkomst i samlingslokal väljs med ledning av resultaten i kapitel 3.3.

Resultatet från beräkningarna av frekvens för brands uppkomst i aktuell samlingslokal varierar beroende på använd metod. Rutsteins metod ger en uppskattning på 0,039 år⁻¹. I Rutsteins metod finns inga koefficienter speciellt framtagna för samlingslokal varför en sammanvägning av verksamheterna skola och hotell görs. VTT-metoden ger värdet 0,006 år⁻¹. VTT-metoden tar endast hänsyn till byggnadsyta, ingen justering görs beroende på typ av verksamhet. En av metoderna i "Fire Engineering Guidelines" /26/ anger en frekvens för brands uppkomst i samlingslokal på 0,02 år⁻¹. I denna metod tas endast hänsyn till

verksamhetstyp, ingen justering för byggnadsyta görs. En annan metod ger en uppskattning på $0,059 \text{ år}^{-1}$. Här vägs både typ av verksamhet och byggnadsyta in i beräkningen varför detta resultat anses vara det mest tillförlitliga.

Värdet är dock att betrakta som mycket osäkert. För att i någon mån ta hänsyn till osäkerheten antas en spridning kring det valda värdet. Med den använda spridningen hamnar även Rutsteins värde inom två standardavvikelser från medelvärdet. Brandfrekvensen beskrivs då med fördelning redovisad i tabell 3.4.

Tabell 3.4 Frekvens för brands uppkomst i studerad samlingslokal.

Parameter	Fördelning
Frekvens för brands uppkomst i studerad samlingslokal	Normal (0,059;0,01)

3.5 Frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning

3.5.1 Rutsteins metod

Enligt Rutsteins metod uppskattas frekvens för brands uppkomst med följande uttryck:

$$\lambda = a * A_f^b$$

λ = Brandfrekvens (år^{-1}), a = Konstant beroende på verksamhet,

b = Konstant beroende på verksamhet, A_f = Arean på aktuell byggnad

Konstanterna a och b är verksamhetsberoende och för sjukhus gäller värdena $a = 0,000700$ och $b = 0,75$. Golvytan, A_f , på den aktuella vårdavdelningen är 540 m^2 . Detta ger:

$$\lambda = 0,0007 * 540^{0,75} = 0,078 \text{ år}^{-1}$$

Rutsteins metod ger en uppskattning av frekvens för brands uppkomst, på en vårdavdelning med golvytan 540 m^2 , på $0,078 \text{ år}^{-1}$.

3.5.2 VTT

Enligt North och Baldwin uppskattas frekvensen för brands uppkomst med följande uttryck:

$$1,3 * 10^{-5} * A_f \leq \lambda \leq 2,0 * 10^{-5} A_f$$

Golvytan, A_f , på den aktuella vårdavdelningen är 540 m^2 . Detta ger:

$$0,0070 \leq \lambda \leq 0,011$$

Metoden enligt North och Baldwin ger en uppskattning av frekvens för brands uppkomst, på en vårdavdelning med golvytan 540 m^2 , som ett intervall $0,0070 \leq \lambda \leq 0,011$.

3.5.3 Övriga metoder för bestämning av frekvens för brands uppkomst

Det finns fler metoder att tillgå för uppskattning av frekvensen för brands uppkomst. I "Fire Engineering Guidelines" /26/ redovisas ett par olika metoder som ger olika resultat. Metoderna redovisas mer utförligt i kapitel 3.2. Ingen av dessa metoder är dock direkt tillämpbara på vårdavdelning varför inga vidare beräkningar görs.

3.5.4 Studier av befintlig statistik

Som komplement till att beräkna frekvens för brands uppkomst kan studier av befintlig statistik göras. Enligt Frantzich /28/ finns information om frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning för tre svenska städer enligt tabell 3.5. Informationen grundar sig på uppgifter från brandförsvaret i respektive stad.

Tabell 3.5 Frekvens för brands uppkomst på tre olika sjukhus /28/.

Stad	Antal bränder	Antal avdelningar	Tidsperiod, år	Frekvens för brands uppkomst per år och avdelning
Solna, KS	10	52	2,83	0,068
Lund	14	90	2	0,078
Helsingborg	35	119	7	0,038

Frekvensen för brands uppkomst är framtagen genom att ta antal bränder för respektive sjukhus och dividera med antal avdelningar och tidsperioden under vilken bränderna uppkommit. Detta ger en uppskattning av frekvensen för brands uppkomst per år och avdelning för de olika sjukhusen.

3.6 Framtagande av fördelning för vårdavdelning

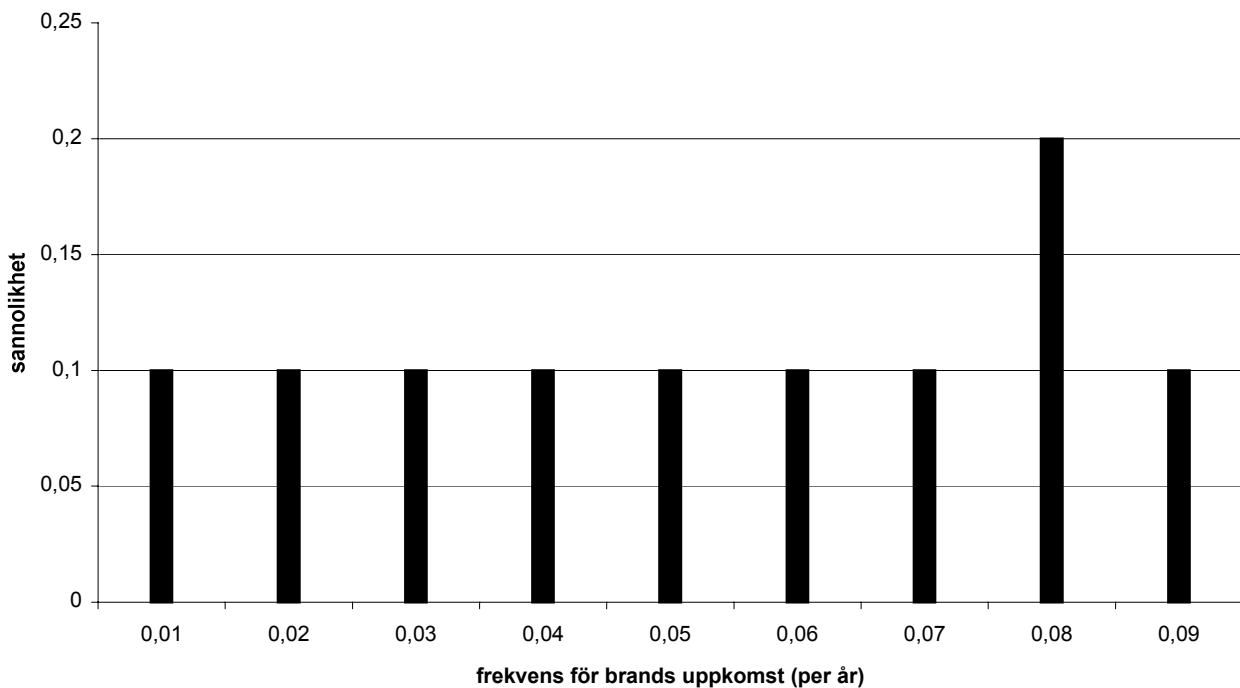
3.6.1 Allmänt

Med hjälp av beräkningar erhålls ett antal värden för frekvens för brands uppkomst på sjukhus. Dessutom finns tillgång till befintlig statistik över denna frekvens, se tabell 3.5. Med hjälp av bayesiansk uppdatering är det möjligt att väga ihop beräknade startfrekvenser med den statistik som finns tillgänglig. Beräkningarna används för att ta fram en apriorifördelning över frekvensen för brands uppkomst. Befintlig statistik ger sedan via bayesiansk uppdatering en posteriorifördelning som används som sannolikhetsfördelning över frekvens för uppkomst av brand på en vårdavdelning.

3.6.2 Apriorifördelning

Beräkningar av frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning är utförda i kapitel 3.5.1 och 3.5.2, enligt två olika metoder. Med ledning av dessa värden antas en apriorifördelning över frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning, se figur 3.2.

Sannolikheten för de olika frekvenserna uppskattas sedan efter bedömd tillförlitlighet hos de metoder som använts. För frekvensen $0,08 \text{ år}^{-1}$ uppskattades sannolikheten till 0,2, medan beräkningar enligt VTT ger en frekvens av $0,01 \text{ år}^{-1}$ med en sannolikhet på 0,1. Dessutom antogs sex värden mellan 0,01 och 0,08. Dessa värden bestämdes till 0,02, 0,03, 0,04, 0,05, 0,06 och 0,07 och gavs en sannolikhet på 0,1 vardera. Då den högsta frekvensen även visade högst sannolikhet antogs en högre frekvens på $0,09 \text{ år}^{-1}$ vilken även den gavs sannolikheten 0,1. Dessa antaganden visar sig ha liten betydelse för slutresultatet då antalet bränder som används ur den befintliga statistiken är så pass stort att detta dominerar posteriorifördelningen.



Figur 3.2 Apriorifördelning över frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning.

3.6.3 Posteriorifördelning

Studier av befintlig statistik över frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning, se kapitel 3.5.4, ger följande information, se tabell 3.6.

Tabell 3.6 Frekvens för brands uppkomst på tre olika sjukhus /28/.

Stad	Antal bränder	Antal avdelningar	Tidsperiod, år	Frekvens för brands uppkomst per år och avdelning
Solna, KS	10	52	2,83	0,068
Lund	14	90	2	0,078
Helsingborg	35	119	7	0,038

Med hjälp av ovanstående data utförs en bayesiansk uppdatering, se kapitel 2.4.4, av frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning med hjälp av Bayes sats /16/:

$$P(A_i|B) = \frac{P(A_i)P(B|A_i)}{\sum_{j=1}^n P(A_j)P(B|A_j)} \quad i=1, 2, \dots, n$$

För att underlätta beräkningarna införs ett antal beteckningar. De beräknade och antagna frekvenserna för brands uppkomst på en vårdavdelning ges beteckningarna: $A_1=0,01$, $A_2=0,02$, $A_3=0,03$, $A_4=0,04$, $A_5=0,05$, $A_6=0,06$, $A_7=0,07$, $A_8=0,08$, $A_9=0,09$, och den befintliga statistiken ges beteckningarna: $B=0,068$, $C=0,078$ och $D=0,038$.

Först beräknas $P(B|A_i)$ för A_1 - A_9 enligt formeln nedan /16/.

$$P(B|A_i) = p_x(x) = e^{-\lambda t} (\lambda t)^x / x!$$

x = antalet bränder under tidsperioden t, λ = Brandfrekvens (år^{-1})

t = tidsperiod (år), $p_x(x)$ = Sannolikhet att x bränder uppkommer under tidsperioden t

Enligt tabell 3.6 har det inträffat 10 bränder på 52 avdelningar i Solna, KS under en tidsperiod på 2,83 år. För att kunna uppdatera de beräknade värdena med befintlig statistik från Solna, KS räknas de beräknade värden om för att gälla för, i det här fallet, 52 avdelningar. Detta ger att $\lambda_1 = 52 \cdot 0,01 \text{ år}^{-1}$, x = 10 och t = 2,83 år vilket ger följande resultat:

$$P(B|A_1) = p_x(x) = e^{-\lambda t} (\lambda t)^x / x! = e^{-0,01 \cdot 52 \cdot 2,83} (0,01 \cdot 52 \cdot 2,83)^{10} / 10! = 3,01 \cdot 10^{-6}$$

På samma sätt beräknas för övriga λ :

$$\begin{array}{lll} P(B|A_2) = 7,08 \cdot 10^{-4} & P(B|A_3) = 9,38 \cdot 10^{-3} & P(B|A_4) = 0,0382 \\ P(B|A_5) = 0,0817 & P(B|A_6) = 0,116 & P(B|A_7) = 0,125 \\ P(B|A_8) = 0,109 & P(B|A_9) = 0,0810 & \end{array}$$

Med hjälp av ovan beräknade värden kan uppdaterade sannolikheter beräknas med Bayes sats:

$$\begin{aligned} P(A_i|B) &= \frac{P(A_i)P(B|A_i)}{\sum_{j=1}^n P(A_j)P(B|A_j)} = \\ &= \frac{0,1 \cdot 3,01 \cdot 10^{-6}}{0,1 \cdot 3,01 \cdot 10^{-6} + 0,1 \cdot 7,08 \cdot 10^{-4} + 0,1 \cdot 9,38 \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 0,0382 + 0,1 \cdot 0,0817 + 0,1 \cdot 0,116 + 0,1 \cdot 0,125 + 0,2 \cdot 0,109 + 0,1 \cdot 0,0810} = \\ &= 4,50 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{lll} P(A_2|B) = 1,06 \cdot 10^{-3} & P(A_3|B) = 0,0140 & P(A_4|B) = 0,0571 \\ P(A_5|B) = 0,122 & P(A_6|B) = 0,174 & P(A_7|B) = 0,186 \\ P(A_8|B) = 0,325 & P(A_9|B) = 0,121 & \end{array}$$

Resultaten ovan är de uppdaterade sannolikheterna efter inträffade bränder på Solna, KS för de respektive frekvenserna. För att fortsätta uppdateringen med den befintliga statistiken från Lund upprepas beräkningsgången. Först beräknas $P(C|A_i)$ för de nya värdena på A_1 - A_9 ovan på samma sätt som innan. Enligt tabell 3.6 har det inträffat 14 bränder på 90 avdelningar i Lund under en tidsperiod på 2 år. För att kunna uppdatera de beräknade värdena med befintlig statistik från Lund räknas värdena om för att gälla för, i det här fallet, 90 avdelningar. Detta ger att $\lambda_1 = 90 \cdot 0,01 \text{ år}^{-1}$, x = 14 bränder och t = 2 år vilket ger följande resultat:

$$\begin{array}{lll} P(C|A_1) = 7,11 \cdot 10^{-9} & P(C|A_2) = 1,92 \cdot 10^{-5} & P(C|A_3) = 9,29 \cdot 10^{-4} \\ P(C|A_4) = 8,61 \cdot 10^{-3} & P(C|A_5) = 0,0324 & P(C|A_6) = 0,0687 \\ P(C|A_7) = 0,0983 & P(C|A_8) = 0,105 & P(C|A_9) = 0,0906 \end{array}$$

Med hjälp av ovan beräknade värden kan uppdaterade sannolikheter beräknas med Bayes sats:

$$\begin{array}{lll} P(A_1|C) = 4,01 \cdot 10^{-13} & P(A_2|C) = 2,55 \cdot 10^{-7} & P(A_3|C) = 1,63 \cdot 10^{-4} \\ P(A_4|C) = 6,16 \cdot 10^{-3} & P(A_5|C) = 0,0495 & P(A_6|C) = 0,149 \\ P(A_7|C) = 0,229 & P(A_8|C) = 0,428 & P(A_9|C) = 0,137 \end{array}$$

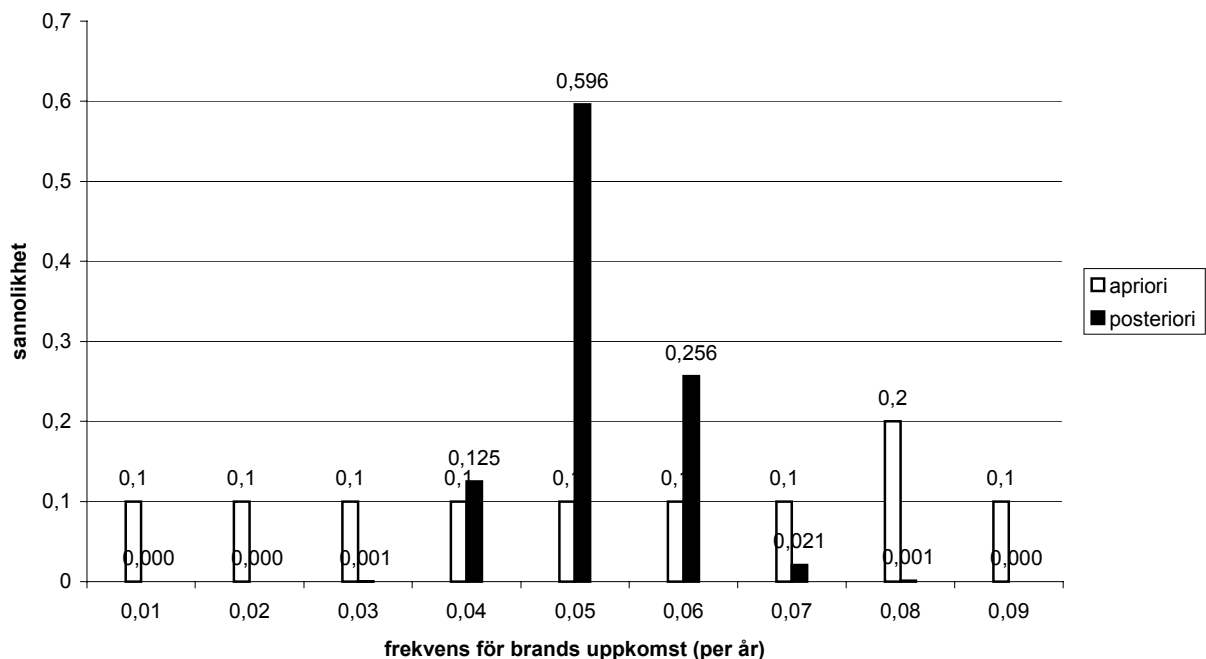
Resultaten ovan är de uppdaterade sannolikheterna efter inträffade bränder på Solna, KS samt Lund för de respektive frekvenserna. För att fortsätta uppdateringen med den befintliga statistiken från Helsingborg upprepas beräkningsgången ytterligare en gång. Enligt tabell 3.6 har det inträffat 35 bränder på 119 avdelningar i Helsingborg under en tidsperiod på 7 år. För att kunna uppdatera de beräknade värdena med befintlig statistik från Helsingborg räknas värdena om för att gälla för, i det här fallet, 119 avdelningar. Detta ger att $\lambda_1 = 119 \cdot 0,01 \text{ år}^{-1}$, $x = 35$ och $t = 7$ år vilket ger följande resultat:

$$\begin{array}{lll} P(D|A_1) = 3,91 \cdot 10^{-12} & P(D|A_2) = 3,24 \cdot 10^{-5} & P(D|A_3) = 0,0114 \\ P(D|A_4) = 0,0647 & P(D|A_5) = 0,0385 & P(D|A_6) = 5,48 \cdot 10^{-3} \\ P(D|A_7) = 2,91 \cdot 10^{-4} & P(D|A_8) = 7,53 \cdot 10^{-6} & P(D|A_9) = 1,12 \cdot 10^{-7} \end{array}$$

Med hjälp av ovan beräknade värden kan uppdaterade sannolikheter beräknas med Bayes sats:

$$\begin{array}{lll} P(A_1|D) = 4,90 \cdot 10^{-22} & P(A_2|D) = 2,59 \cdot 10^{-9} & P(A_3|D) = 5,80 \cdot 10^{-4} \\ P(A_4|D) = 0,125 & P(A_5|D) = 0,596 & P(A_6|D) = 0,256 \\ P(A_7|D) = 0,0209 & P(A_8|D) = 1,01 \cdot 10^{-3} & P(A_9|D) = 4,81 \cdot 10^{-6} \end{array}$$

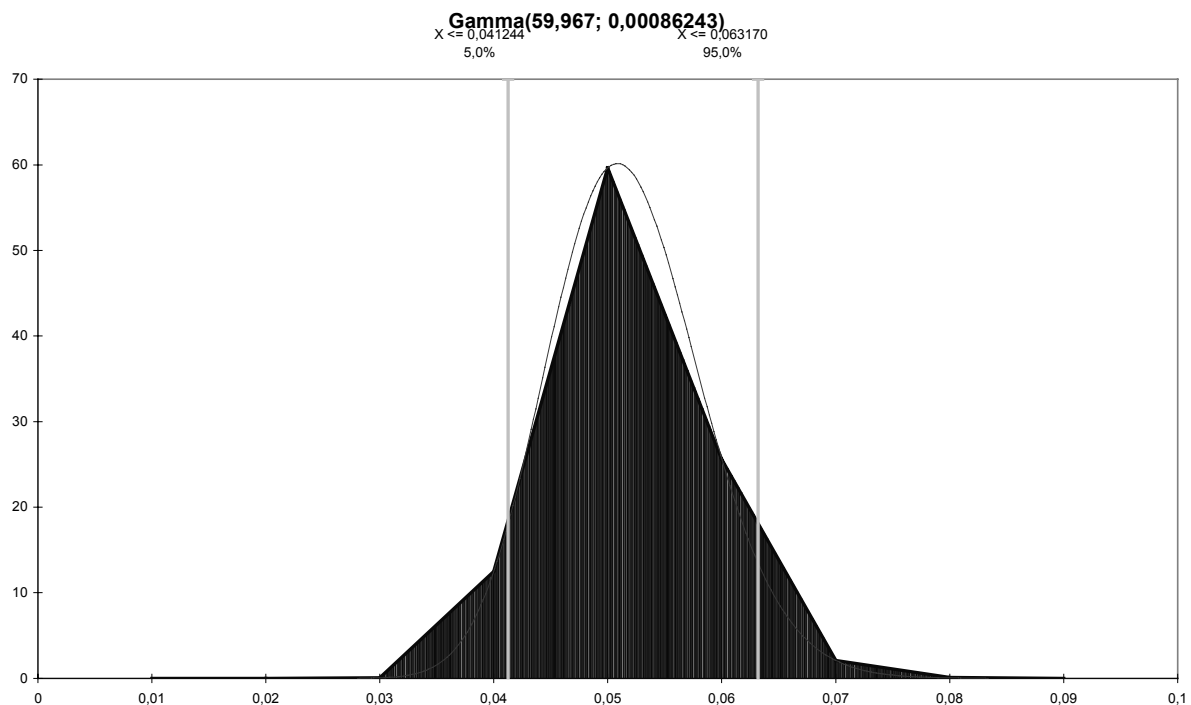
Nu är den beräknade frekvensen för brands uppkomst på vårdavdelning uppdaterad med den befintliga statistik som studerats och posteriorifördelningen (jämfört med ursprunglig apriorifördelning) kan studeras i figur 3.3 nedan.



Figur 3.3 Posteriorifördelning samt apriorifördelning över frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning.

Efter den bayesianska uppdateringen erhålls en frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning där hänsyn tas till både resultat av frekvens för brands uppkomst från beräkningsmetoder och till resultat av frekvens för brands uppkomst från befintlig statistik.

Den framtagna diskreta fördelningen approximeras till en kontinuerlig fördelning med hjälp av datorprogrammet Bestfit /29/. Detta görs genom att programmet testat ett antal statistiska fördelningar mot den diskreta indatafördelningen. Programmet hittar för varje fördelning de parametrar som bäst beskriver de indata som getts. Därefter rangordnar Bestfit de olika fördelningarna där den fördelning som avviker minst från indata värderas högst. Resultat från detta ses i figur 3.4 och innebär att fördelningen beskrivs med en gammafördelning, tabell 3.7.



Figur 3.4 Fördelning för frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning enligt Bestfit.

Vid jämförelse med de ursprungliga beräkningsmetoderna ses att VTT:s metod ($0,0070 \leq \lambda \leq 0,011$) ger värden som utifrån posteriorifördelningen får anses vara låga. Rutsteins metod ($\lambda = 0,078$) hamnar i fördelningens övre svans, och kan således tjäna som ett konservativt punkttestimat. Fördelningen ger att frekvensen med 90 % sannolikhet ligger i intervallet $0,041 \leq \lambda \leq 0,063$.

Tabell 3.7 Frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning.

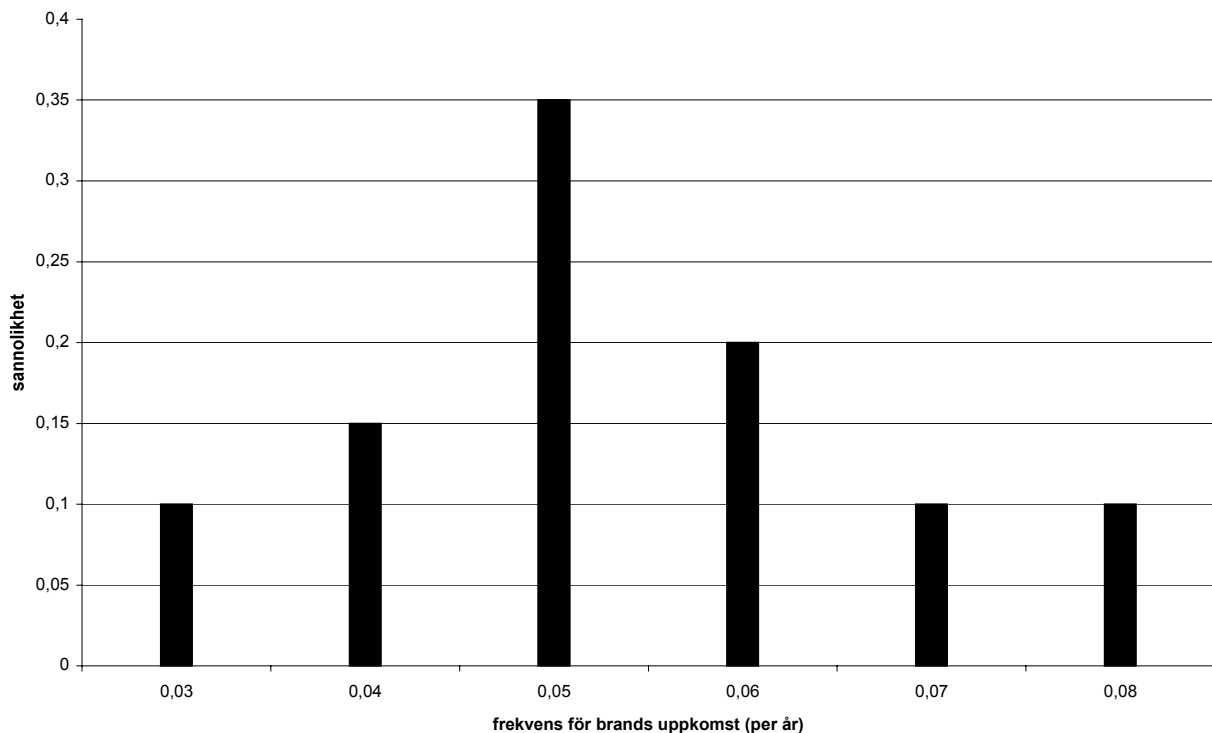
Parameter	Framtagen fördelning
Frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning	Gamma (59,967;0,00086243)

3.7 Förslag till generell apriorifördelning för vårdavdelning

Vid genomförande av en riskanalys är det viktigt att, utöver generellt framtagna statistik för verksamhetstypen, även studera specifika förhållanden på det objekt som analysen skall genomföras på. Genom att studera objektsspecifik information som exempelvis statistik för frekvens för brands uppkomst vägs lokala avvikelser in. Med hjälp av bayesiansk uppdatering

kan sedan den generella statistiken för verksamhetstypen vägas samman med mer specifik statistik för det aktuella objektet.

I kapitel 3.6.3 tas en posteriorifördelning för frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning fram. Denna fördelning tas fram genom att resultat från beräkningsmetoder vägs samman med befintlig statistik från vårdavdelningar på sjukhus genom bayesiansk uppdatering. I beräkningsmetoderna har en vårdavdelning med golvytan 540 m² används, vilket påverkar erhållet resultat. Den befintliga statistik som används vid uppdateringen kommer däremot från vårdavdelningar med varierande golvyta. Att en vårdavdelning med golvytan 540 m² används för en första skattning påverkar inte slutresultatet nämnvärt, men det är viktigt att ha i åtanke att framtagna fördelningar i huvudsak är applicerbara på vårdavdelningar i samma storleksordning. Genom att studera framtagna posteriorifördelning, se figur 3.3 och figur 3.4, tas ett generellt förslag till apriorifördelning för frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning fram. Denna visas i figur 3.5.



Figur 3.5 Förslag till generell apriorifördelning för brands uppkomst på vårdavdelning.

Denna fördelning kan användas som en första skattning av frekvensen för brands uppkomst på vårdavdelning. Apriorifördelningen är framtagna för vårdavdelningar med en golvyta omkring 500 m², där det inte finns några särskilda riskkällor som till exempel förvaring av brandfarliga och explosiva ämnen. Vid användning av apriorifördelningen är det viktigt att studera de förhållanden som råder på det aktuella objektet och eventuellt justera fördelningen för att ta hänsyn till lokala avvikelser.

3.8 Andel bränder som ej utvecklas

Framräknade frekvenser för brands uppkomst bygger på inträffade bränder som på något sätt inrapporterats. I Sverige sker denna inrapportering med hjälp av de kommunala räddningstjänsternas insatsrapportering till SRV som sammanställer statistik. Ur denna statistik kan information om brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst utläsas. Här

ses bland annat att många bränder stannar vid rökutveckling eller slocknar alternativt släcks av personal. I en brandteknisk riskanalys är det intressant att veta hur många bränder som utvecklas och kan tänkas påverka personsäkerheten i en studerad lokal. En viss del av de bränder som uppstår kommer inte att utgöra någon fara för de som vistas i lokalen då de släcks eller aldrig utvecklas. Johansson /2/ har sammanställt SRV:s statistik för olika kategorier av byggnader.

Nedan, i tabell 3.8, redovisas andelen bränder i olika byggnadskategorier som antingen stannat vid rökutveckling eller slocknat/släckts innan räddningstjänstens ankomst. Endast fall då branden begränsats till startrummet används till detta, bränder som spridit sig till flera rum och sedan slocknat eller släckts innan räddningstjänsten anlant räknas alltså som utvecklade bränder. I detta finns osäkerheter i inrapporteringen av bränder, och i vissa kategorier är underlaget mycket litet. För de fall där tillräckligt underlag funnits anges andelen icke utvecklade bränder som en normalfördelning baserat på approximation givet att variabeln är binomialfördelad (endast två utfall – utvecklas eller utvecklas ej).

Tabell 3.8 Andel bränder som ej utvecklas fördelat på olika byggnadskategorier /2/.

Byggnadskategori	Antal bränder med angiven omfattning i underlaget	Antal inrapporterade bränder som ej utvecklats eller slocknat/släckts	Andel
Åldringsvård	241	170	N (0,705 ; 0,029)
Vårdavdelning i åldringsvård	179	137	N (0,765 ; 0,032)
Sjukhus	123	93	N (0,756 ; 0,039)
Psykiatrisk vård	86	54	N (0,628 ; 0,052)
Övriga vårdbyggnader	101	74	N (0,733 ; 0,044)
Kriminalvård	38	25	0,66
Flerbostadshus	2901	1342	N (0,463 ; 0,009)
Villa	3741	1313	N (0,351 ; 0,008)
Radhus/Par-/Kedjehus	218	102	N (0,468 ; 0,034)
Fritidshus	467	76	N (0,163 ; 0,017)
Fritidsgård	18	2	0,11
Skola	269	157	N (0,583 ; 0,030)
Förskola	38	13	0,34
Elevhem/Studenthem	18	11	0,61
Kommunikationsbyggnad	34	19	0,56
Försvarsbyggnad	14	4	0,29
Förvaltningsbyggnad/Kontor	95	53	N (0,558 ; 0,051)
Kyrka/Motsvarande	22	11	0,50
Idrottsanläggning	56	24	N (0,429 ; 0,066)
Hotell/Pensionat	58	37	N (0,638 ; 0,063)
Restaurang/Danslokal	105	32	N (0,305 ; 0,045)
Teater/Biograf/Museum	37	20	0,54
Handel	185	90	N (0,486 ; 0,037)

Vid bedömning av huruvida normalapproximationen av binomialfördelningen är giltig används följande kriterium /2/:

$$n * p * (1 - p) \geq 10$$

n = antal bränder i urvalet

X = antal inrapporterade bränder som ej utvecklats

$$p = \frac{X}{n}$$

3.9 Resultat

3.9.1 Allmänt

Vid problem med tolkning av de resultat som presenteras i detta kapitel föreslås en genomläsning av hela kapitel 3. Detta är även viktigt för bedömning av applicerbarheten av resultaten.

3.9.2 Frekvens för brands uppkomst

Framtagna resultat för frekvens för brands uppkomst kan dels presenteras som punktvärden, dels som sannolikhetsfördelningar. I kapitlet har endast två fiktiva objekt studerats, en samlingslokal och en vårdavdelning, varför resultaten endast är giltiga för dessa specifika objekt. För andra objekt kan presenterade metoder användas och anpassas till aktuell geometri och verksamhet och även befintlig, gärna objektsspecifik, statistik kan studeras. I kapitel 3.7 presenteras ett förslag till en apriorifördelning som kan användas generellt för vårdavdelningar vid bayesiansk uppdatering, se figur 3.5.

Fördelning för frekvens för brands uppkomst i samlingslokal väljs i kapitel 3.4. Frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning erhålls genom framtagen fördelning i kapitel 3.6. Resultaten visas i tabell 3.9.

Tabell 3.9 Frekvens för brands uppkomst på undersökt vårdavdelning samt i undersökt samlingslokal.

Parameter	Framtagen fördelning
Frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning	Gamma (59,967;0,00086243)
Frekvens för brands uppkomst i samlingslokal	Normal (0,059;0,01)

3.9.3 Andel bränder som ej utvecklas

Andelen bränder som ej utvecklas för olika byggnadskategorier studeras. Dessa bränder, det vill säga de som släcks av personal, självslocknar eller endast ger upphov till rökutveckling har bedömts utifrån statistik från SRV. Resultatet av detta visas i tabell 3.8. I den vidare analysen är det värdet för restaurang/danslokal som används i exemplet i kapitel 10, detta visas i tabell 3.10.

Tabell 3.10 Andel bränder för olika byggnadskategorier som ej utvecklas /2/.

Byggnadskategori	Andel
Restaurang/Danslokal	Normal (0,305 ; 0,045)

3.10 Diskussion

Resultatet från undersökningen är naturligtvis behäftad med vissa osäkerheter. För framtagande av sannolikhetsfördelning för aktuell samlingslokal används samtliga presenterade beräkningsmetoder. Dessa är applicerbara på det undersökta objektet i varierande grad då verksamhetstyp och byggnadsyta vägs in i metoderna i olika omfattning. Uppskattad

sannolikhetsfördelning väljs från den metod som bäst bedöms överensstämma med det studerade fallet.

De beräkningsmetoder som används för att ta fram apriorifördelningen för frekvens för brands uppkomst på vårdavdelning visar på en viss spridning. Vidare är den statistik som ligger till grund för den bayesianska uppdateringen endast framtagen för tre sjukhus. Brandfrekvenserna skiljer något mellan de olika sjukhusen, dock inte orimligt mycket. De överensstämmer dessutom i viss mån med resultaten från Rutsteins beräkningsmetod. Det är viktigt att notera att beräkningsmetoderna tar hänsyn till golvarean på vårdavdelningen, medan statistiken inte är framtagen på detta sätt. Detta innebär att uppdateringen med befintlig statistik inte görs specifikt för en vårdavdelning med den storlek som ligger till grund för apriorifördelningen, vilket gör att metoden haltar något i detta avseende.

Den generella apriorifördelning som tas fram för vårdavdelning grundar sig på resultat från beräkningsmetoder där en vårdavdelning med golvytan 540 m² används. Erhållna värden uppdateras därefter med statistik från uppkomna bränder från vårdavdelningar med varierande golvyta. Resultatet från detta ligger till grund för valet av den generella apriorifördelningen. Att en vårdavdelning med golvytan 540 m² används för en första skattning påverkar inte slutresultatet nämnvärt, men det är viktigt att ha i åtanke att framtagna fördelningar i huvudsak är applicerbara på vårdavdelningar i samma storleksordning. Vid användning av den generella apriorifördelningen är det även viktigt att studera de förhållanden som råder på det aktuella objektet och eventuellt justera fördelningen för att ta hänsyn till lokala avvikelser och särskilda risker.

Andra tänkbara källor till osäkerheter är exempelvis inrapporteringen av bränder till räddningstjänsten. Det är tänkbart att det finns en stor andel mindre bränder som släcks av personal som inte inrapporterats.

Undersökningen av andelen bränder som inte utvecklas, slocknar eller släcks av personal visar förhållandevis stora avvikelser mellan olika byggnadstyper. Framförallt kan ses att vårdanläggningar och byggnader där det finns personer i vaket tillstånd under stora delar av dygnet har en större sannolikhet att branden skall släckas. Detta visar i viss mån på personalens och organisationens inverkan på brandskyddet då just vårdavdelningar är en kategori som är bemannad dygnet runt och där personalen i regel utbildas i brandskydd.

4 Brands tillväxthastighet

4.1 Allmänt

Som indata till datorsimuleringar av brandförlopp krävs värden på parametrar som styr brandens beteende. Som tidigare nämnts görs förenklingen att branden följer ett α^2 -samband. Den studerade parametern blir då brandens tillväxthastighet, α , för vilken en fördelning tas fram. Fördelen med att uttrycka tillväxthastigheten som en fördelning, jämfört med att anta ett fixt värde, är att hänsyn tas till att brand kan uppstå i olika föremål med olika sannolikheter. På så sätt kan en bild av den totala risk som brand i byggnaden utgör erhållas.

4.2 Metoder

Det finns olika metoder för att approximera en fördelning för brands tillväxthastighet för olika verksamheter. Dessa metoder skiljer sig åt bland annat då det gäller tillvägagångssätt. Då metod väljs måste hänsyn tas till, dels metodens lämplighet för olika typer av verksamheter, dels vad resultatet skall användas till.

En metod är att genom inventering få en bild av vad för olika material som förvaras i olika typer av verksamheter, samt i vilken mängd (volym) de olika materialen förekommer. Ett antal grupper med olika α -värden införs och de inventerade materialen grupperas in i dessa. Sannolikheten för att en brand ska starta i ett visst material ges sedan direkt av i vilken mängd (volym) materialet förekommer. I denna metod kan parametrar som bland annat materialets packningsgrad och placering, samt lokalens ytskikt vägas in genom att ett specifikt material flyttas upp eller ner en grupp beroende på sådana omständigheter. Fördelen med denna metod är att en noggrann inventering ger en tydlig bild av sannolikheten för olika tillväxthastigheter vid brand, då dessa sannolikheter beror av vilken mängd av olika material som förvaras. Nackdelar är att metoden är giltig endast för nulägesförhållandena och känslig för framtida förändringar. Dessutom kan en ännu ej byggd byggnad inte analyseras med denna metod.

Metoden är lämplig att använda där stora mängder olika material lagras, som till exempel olika typer av butiker och lager. För andra typer av verksamheter som vårdlokaler och olika publika lokaler är det svårare att genom inventering erhålla data som är representativa för brandrisken. Ovan beskrivna metod används av Angerd i ”Är utrymningsschablonerna vid brandteknisk dimensionering säkra?” /30/ .

En annan metod är att studera befintlig statistik från uppkomna bränder. Räddningsverket ger varje år ut en sammanställning grundat på insatsrapportering från Sveriges räddningstjänster. I statistiken anges bland annat startföremål för uppkomna bränder för olika grupper av verksamheter. Genom att ange tillväxthastigheter för de olika startföremålen i statistiken kan sannolikhet för antändning i ett, mer eller mindre specifikt föremål, vilket är den information statistiken ger, översättas till fördelning för tillväxthastighet med avseende på verksamhet. Detta görs genom att det även här införs ett antal grupper med olika α -värden under vilka de olika startföremålen sorteras in. Statistiken från uppkomna bränder ger därmed sannolikheten för att brand, med de respektive gruppernas tillväxthastigheter, skall uppkomma för den studerade verksamheten.

En fördel med sistnämnda metod är att den grundar sig på statistik från uppkomna bränder och därmed tar hänsyn till att sannolikheten för brands uppkomst i olika material inte behöver vara densamma. Sannolikheterna blir knutna till uppkomna bränder istället för till förekomst av material, vilket innebär att hänsyn tas till var bränder faktiskt uppstår. På så sätt integreras

de faktorer som ger upphov till att brand uppkommer i olika material med olika sannolikheter. Exempel på sådana faktorer kan vara mänskligt fel i handhavande, och att olika material och föremål har olika benägenhet att börja brinna. Metoden är lämplig att använda där det genom inventering är svårt att erhålla en generell uppskattning av tillväxthastigheten. En nackdel med metoden är att uppskattningen av brandens tillväxthastighet främst gäller för brandens tidigaste skede, då det som ligger till grund är startföremål vid uppkomna bränder. Branden förväntas sedan sprida sig vidare till andra föremål vilket påverkar tillväxthastigheten. Den försträmda metoden grundar sig på ingående materials tillväxthastighet, där även påverkan av packningsgrad samt omgivande ytskikt tas hänsyn till, och blir därför jämförelsevis inte lika specificerad på brandens tidigaste skede.

Då det i denna rapport görs datorsimuleringar för att studera utrymningsituationen, är det brandens egenskaper under de första minuterna efter antändning som är mest väsentliga. Verksamhetstypen som studeras är allmänna byggnader. För dessa verksamheter är det svårt att genom studier av befintlig statistik över startföremål vid bränder hitta en generellt användbar fördelning för tillväxthastigheten för de olika verksamhetstyperna. Det bedöms dock vara ännu svårare att genom inventering erhålla en generellt applicerbar fördelning på tillväxthastigheten. I denna rapport väljs därför metoden för studier av befintlig statistik.

Det är viktigt att ha i åtanke att framtagna fördelningar inte är allmänt applicerbara för allmänna byggnader. Däremot kan den diskreta fördelningen i många fall användas som en första uppskattning, eventuellt som en apriorifördelning vid bayesiansk uppdatering. I det specifika fallet är det viktigt att studera om byggnaden inrymmer verksamhet, speciell inredning eller dylikt som kan få till följd att eventuell brand kan få högre tillväxthastighet än vad som representeras av framtagna fördelningar. I dessa fall skall justeringar göras.

4.3 Gruppering av startföremål

4.3.1 Allmänt

Genom att studera räddningsverkets statistik för år 1996-2000 /3-7/ erhålls en fördelning för α -värdet i allmänna byggnader.

I insatsrapporterna, som statistiken är grundad på, anges bland annat i vilket föremål branden uppstått. Det är denna statistik som ligger till grund för uppskattningen av α -värdets fördelning. I de insatsrapporteringsprogram som används av räddningstjänsterna finns ett visst antal startföremål fördefinierade. Dessa startföremål grupperas i, med avseende till α -värdet, liknande grupper för att underlätta uppskattningen.

4.3.2 Metod

För att kunna hantera alla olika startföremål delas de in i grupper. Gruppindelningen görs så att startföremål med liknande tillväxthastighet placeras i samma grupp.

Ett medelvärde på tillväxthastigheten för varje grupp tas fram. Detta görs genom att studera resultat från test utförda på föremål som ingår i respektive grupp. Då inga resultat från föremål som ingår i grupperna kunnat hittas, har resultat från föremål som liknar de i grupperna ingående valts.

Även ett intervall över tillväxthastigheten för respektive grupp har uppskattats. Intervallen är framtagna på samma sätt som beskrivet ovan för medelvärdena. En uppskattning har gjorts av

mellan vilka värden tillväxthastigheten för de respektive grupperna kan tänkas hamna. I intervallet har de ingående värdenas sannolikhet bedömts efter var medelvärde för gruppen förväntas ligga. Dessa intervall ger, tillsammans med räddningsverkets statistik, den dimensionerande statistiska fördelningen över tillväxthastigheten för respektive byggnadstyp.

4.3.3 Indelning i grupper

Valet av gruppernas α -värde görs genom att studera ett eller flera föremål som kan anses vara representativa för gruppen. I huvudsak har tillväxten i början av brandförloppet studerats, eftersom det är denna del av branden som har störst inverkan på utrymningssituationen. Gruppindelning och erhållet medelvärde samt intervall på tillväxthastigheten redovisas i tabell 4.1

Tabell 4.1 Gruppering av startföremål.

Grupp	Föremål	α , medel (kW/s ²)	α , intervall (kW/s ²)
A	lös inredning	0,030	0,01-0,06
B	bastuaggregat, TV, stereo/video, fläkt/ventilationsanl., transformator, maskin	0,027	0,01-0,04
C	rökanal, eldstad, torktumlare, torkskåp	0,037	0,01-0,1
D	diskmaskin, kaffebryggare, spis, kyl/frys, tvättmaskin, strykjärn, glödlampa, lysrör	-	-
E	skräp i container	0,052	0,02-0,1
F	personbil, övriga vägfordon, tåg	0,050	0,01-0,1
G	explosivt-/sprängämne, brandfarlig vätska, brandfarlig gas	0,19	-
H	uppvärmningsanordning, andra elinstallationer	0,0030	0,001-0,005

I grupp A inbegrips all typ av lös inredning som finns i de byggnader som räknas till allmänna byggnader. Det är svårt att, genom studier av utförda test, få fram en generell tillväxthastighet för lös inredning. Testresultat från ett antal föremål som kan räknas till lös inredning studeras och ger följande information: sjukhussäng ($\alpha = 0,012$ kW/s²), hylla ($\alpha = 0,014$ kW/s²), staplingsbara stolar ($\alpha = 0,029$ kW/s²), julgran ($\alpha = 0,12$ kW/s²) och fåtölj ($\alpha = 0,017$ kW/s²) /8/. Med ledning av dessa värden kan medelvärdet på tillväxthastigheten för grupp A uppskattas till $\alpha = 0,030$ kW/s², vilket hamnar mellan medium och snabb brandtillväxt. (En tillväxthastighet på $\alpha = 0,047$ kW/s² klassas som snabb brandtillväxt och en tillväxthastighet på $\alpha = 0,012$ kW/s² klassas som mediumtillväxt.) Till den dimensionerande fördelningen förväntas tillväxthastigheten representeras av intervallet 0,010-0,060 kW/s². Värdena i intervallet som ligger runt medelvärdet ges högre sannolikhet. (Se bilaga A för närmare beskrivning av intervall-indelningen.) Då stora skillnader finns i innehållet av lös inredning mellan olika byggnader anses det vara en bra uppskattning.

Grupp B innehåller startföremålen bastuaggregat, TV, stereo/video, fläkt/ventilationsanläggning, transformator och maskin. För att kunna uppskatta tillväxthastigheten för föremålen i denna grupp studeras resultat från försök utförda på TV-apparater och kontorsmaskiner. Genom att studera resultat från utförda test på TV-apparater erhålls ett medelvärde för tillväxthastigheten på $\alpha = 0,021$ kW/s². Genom att studera resultat från utförda test på kontorsmaskiner erhålls ett medelvärde för tillväxthastigheten på $\alpha = 0,027$ kW/s² /8/. Med hjälp av denna information görs en uppskattning av tillväxthastigheten för föremålen i grupp B till $\alpha = 0,025$ kW/s². Till den dimensionerande fördelningen väljs tillväxthastigheten för

grupp B till 0,010-0,040 kW/s², där samtliga värden har samma sannolikhet. (Se bilaga A för närmare beskrivning av intervallindelningen.)

Grupp C innehåller startföremålen rökkanal, eldstad, torktumlare och torkskåp. I denna grupp väljs α -värdet från test på en stålgarderob som representativt. Karakteristiskt för gruppen är att föremålet i sig i princip är obrännbart medan det är innehållet som brinner. Stålgarderoben i testet är fylld med cirka 1 kg kläder bestående av lika delar bomull och polyester och kan liknas vid ett torkskåp. Genom att studera resultat från utförd test erhålls ett medelvärde på tillväxthastigheten på $\alpha = 0,037 \text{ kW/s}^2$ /8/. Testresultat i "Enclosure Fire Dynamics" /23/ visar att tillväxthastigheten sannolikt ligger i intervallet 0,010-0,10 kW/s² vilket vidare används i den dimensionerande fördelningen. Värdena i intervallet som ligger runt medelvärdet ges högre sannolikhet. (Se bilaga A för närmare beskrivning av intervallindelningen.)

Grupp D innehåller startföremålen uppvärmningsanordning, diskmaskin, kaffebryggare, spis, kyl/frys, tvättmaskin, strykjärn, glödlampa, lysrör och andra elinstallationer. För att kunna uppskatta tillväxthastigheten för startföremålen väljs α -värdet för en kaffebryggare som representativt för gruppen. Särdoqvist /8/ redovisar tre test utförda på olika kaffebryggare. Tillväxthastigheterna i försöken varierar mellan $4,1 \cdot 10^{-5} \text{ kW/s}^2$ och $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ kW/s}^2$. Vid beräkning av ett medelvärde av tillväxthastigheten från dessa test erhålls $\alpha = 8,0 \cdot 10^{-5} \text{ kW/s}^2$.

Gemensamt för alla föremål i grupp D är att de förväntas ha en mycket låg tillväxthastighet eftersom de endast innehåller en liten mängd brännbart material. Ingen av dessa bränder antas slockna, eftersom de bränder av denna storlek som slocknar inte förväntas bli inrapporterade till brandförsvaret, och det är just de inrapporterade bränderna som α -analysen bygger på. Startföremålet förväntas snarare, kort efter brandens start, antända intilliggande material vilket ger upphov till en brand med högre tillväxthastighet än vad som är representativt för föremålen i grupp D. I den fortsatta analysen är därför grupp D inte medräknad och övriga grupperns andel blir därmed högre.

Grupp E består av skräp i container. α -värdet grundar sig på test utförda på sopsäckar med olika innehåll i fråga om både mängd och material. Massan i testen varierar mellan 1,2 kg och 4,1 kg. Säckarna innehåller i tre av försöken papper och i ett av försöken halm, gräs och dyl. Tillväxthastigheterna i försöken varierar mellan 0,019 kW/s² och 0,097 kW/s² /8/. Ett medelvärde av resultaten från de fyra försöken ger en tillväxthastighet på $\alpha = 0,052 \text{ kW/s}^2$. Detta anses vara en rimlig uppskattning av tillväxthastighet för en brand i en container under förutsättning att det är torrt och relativt lättantändligt material som förvaras där. Vid förvaring av till exempel kompakt eller blött material förväntas tillväxthastigheten inte bli lika hög. Tillväxthastigheten varierar även med yttre förutsättningar. Resultaten från ovan nämnda försök visar att tillväxthastigheten för grupp E sannolikt ligger i intervallet 0,020-0,10 kW/s², vilket är det intervall som väljs till dimensionerande fördelningen. Värdena i intervallet som ligger runt medelvärdet ges högre sannolikhet. (Se bilaga A för närmare beskrivning av intervallindelningen.)

Grupp F innehåller startföremålen personbil, övriga vägfordon och tåg. Bil och tåg förväntas ha ett α -värde runt 0,010 kW/s² och buss ett α -värde runt 0,10 kW/s² /31/. För att få ett representativt medelvärde för gruppen väljs 0,050 kW/s². De förväntade värdena på tillväxthastigheten för i gruppen ingående komponenter ger att intervallet 0,010-0,10 kW/s² väljs till den dimensionerande fördelningen. Värdena mellan 0,010-0,050 kW/s² ges högre sannolikhet eftersom fallen med övriga vägfordon som startföremål (där buss ingår) utgör en

väldig liten del, medan fallen med bil som startföremål utgör en stor del. (Se bilaga A för närmare beskrivning av intervallindelningen.)

Grupp G innehåller explosiva ämnen, sprängämnen, brandfarlig vätska och brandfarlig gas. Det är svårt att hitta ett generellt värde som kan representera samtliga möjliga ämnen i denna grupp. Därför har tillväxthastigheten för denna grupp uppskattas till $\alpha = 0,19 \text{ kW/s}^2$, vilket motsvarar en ultrasnabb tillväxthastighet.

I den vidare analysen har även grupp G bortsetts ifrån. Anledningen till detta är att i de flesta allmänna byggnader förvaras inte explosiva ämnen, sprängämnen, brandfarlig vätska eller brandfarlig gas. Då en generell fördelning skall erhållas är det därför olämpligt att dessa ämnens tillväxthastighet tas med. Då tillväxthastigheten för objekt som inrymmer denna typ av ämnen skall bedömas, måste fördelningen för tillväxthastigheten ses över och ändras så att riskerna med dessa ämnen kommer med i analysen.

Grupp H innehåller startföremålen uppvärmningsanordning samt andra elinstallationer. Då inga resultat från test utförda på någon av dessa typer av föremål har kunnat hittas, uppskattas tillväxthastigheten till $\alpha = 0,003 \text{ kW/s}^2$ vilket motsvarar en brand med långsam tillväxthastighet. Till den dimensionerande fördelningen väljs tillväxthastigheten till intervallet $0,001\text{-}0,005 \text{ kW/s}^2$, där samtliga värden har samma sannolikhet. (Se bilaga A för närmare beskrivning av intervallindelningen.)

Utöver startföremålen i tabell 4.1 kan i insatsrapporteringen väljas ytterligare fyra grupper, vilka benämns: Ej angivet, byggnadens utsida, okänd och annat. Dessa grupper utgör tillsammans knappt hälften av alla inrapporterade fall för allmänna byggnader. Vid uppskattningen av α -värdets fördelning har dessa fyra grupper dock bortsetts från då det är omöjligt att göra en uppskattning av tillväxthastigheten för dessa fall. Antagandet görs att de fall som hamnat under ej angivet, okänd och annat kan placeras under övriga grupper med en liknande uppdelning som redan visas i statistiken.

Det finns speciella objekt där den erhållna tillväxthastigheten inte är lämplig att använda vid dimensionering. Detta gäller objekt där det finns särskilda risker av olika slag. Exempelvis kan det vara förvaring av stora mängder brandfarliga ämnen i någon av de berörda byggnadstyperna. I de fall där särskilda risker finns måste en utredning göras med avseende på vilket ämne det är som utgör risken, och tillväxthastigheten uppskattas med denna utredning som utgångspunkt. Fördelningen för tillväxthastigheten måste vidare ses över och ändras så att eventuella risker med dessa ämnen kommer med i analysen, även om dessa inte utgör startföremål vid en brand.

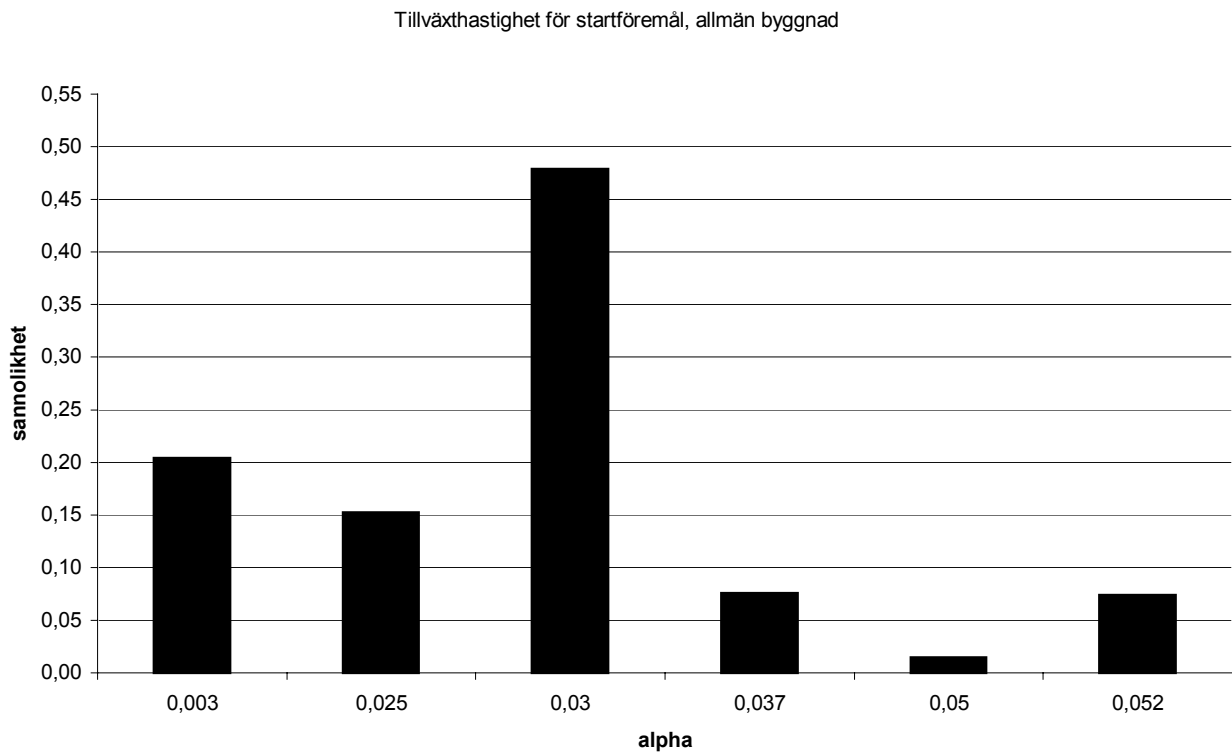
4.4 Allmän byggnad

Allmänna byggnader inbegriper följande objektstyper:

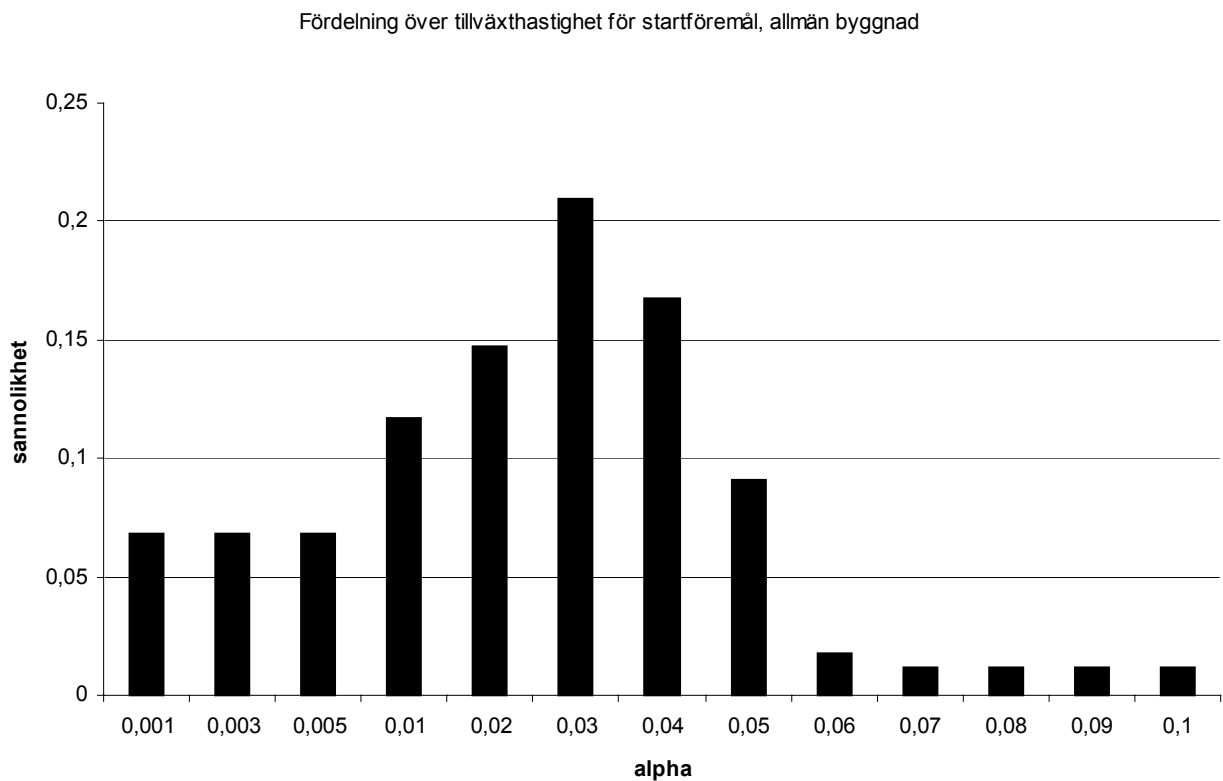
- Handel
- Sjukhus
- Åldringsvård
- Psykiatrisk vård
- Kriminalvård
- Övrig vårdbyggnad
- Teater/biograf/museum
- Kyrka/motsvarande
- Restaurang/danslokal
- Hotell/pensionat
- Försvarsbyggnad
- Skola
- Fritidsgård
- Förskola
- Elevhem/studenthem
- Idrottsanläggning
- Förvaltningsbyggnad/kontor
- Kommunikationsbyggnad

Genom utförd gruppering av startföremålen, redovisad i tabell 4.1, erhålls med hjälp av räddningsverkets statistik för år 1996-2000 /3-7/, dels en bild över tillväxthastigheten i allmänna byggnader med utgångspunkt från det medelvärde respektive grupp tilldelats, se figur 4.1, dels en fördelning för α -värdet i allmänna byggnader med utgångspunkt från de intervall på tillväxthastigheten respektive grupp tilldelats, se figur 4.2. Höjden på staplarna kommer av hur ofta bränder uppstått i de olika grupperna av startföremål.

Ett medelvärde på tillväxthastigheten kan beräknas, och för allmän byggnad blir detta $\alpha = 0,026 \text{ kW/s}^2$. En tillväxthastighet på $\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$ klassas som snabb brandtillväxt och en tillväxthastighet på $\alpha = 0,012 \text{ kW/s}^2$ klassas som mediantillväxt. (I ”Enclosure Fire Dynamics” /23/ rekommenderas att $\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$ används för vårdanläggningar, hotell, skolor och kontor.)



Figur 4.1 Resulterande fördelning, grundad på respektive grups medelvärde av tillväxthastigheten, i allmän byggnad.



Figur 4.2 Resulterande fördelning, grundad på respektive grups intervall av tillväxthastigheten, i allmän byggnad.

4.5 Resultat

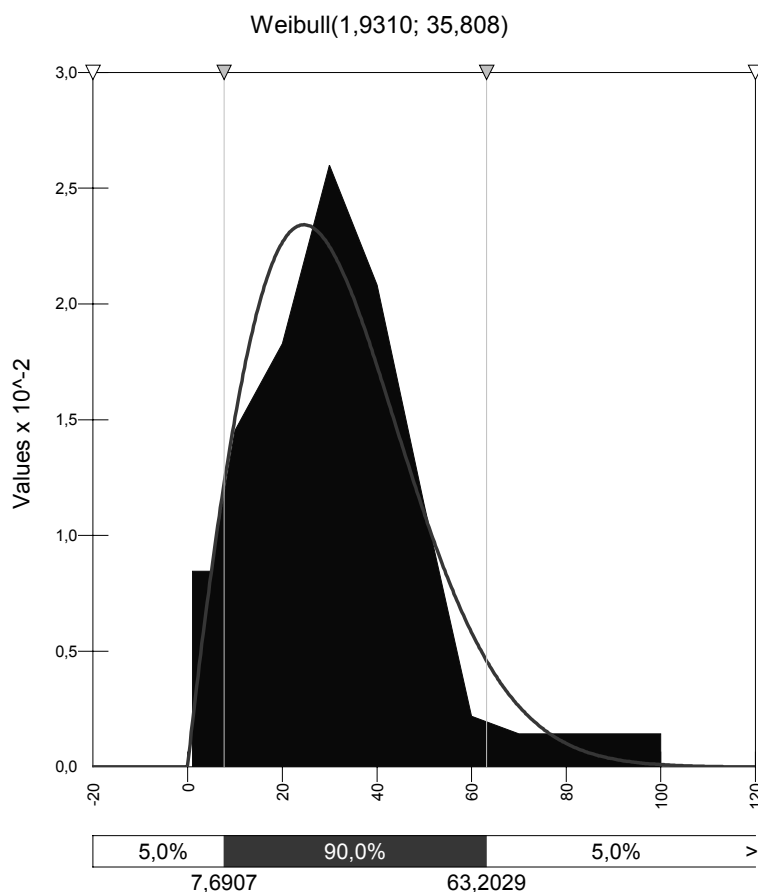
4.5.1 Allmänt

Vid problem med tolkning av de resultat som presenteras i detta kapitel föreslås en genomläsning av hela kapitel 4. Detta är även viktigt för bedömning av applicerbarheten av resultaten.

4.5.2 Brands tillväxthastighet

Undersökning av brands tillväxthastighet i allmänna byggnader utifrån statistik från SRV och diverse experimentella data över olika föremåls brandegenskaper ger resultat enligt figur 4.1.

Den framtagna diskreta fördelningen som visas i figur 4.2, baserad på gruppernas intervall av värdet på tillväxthastigheten, approximeras till en kontinuerlig fördelning med hjälp av datorprogrammet Bestfit. Detta görs genom att programmet testat ett antal statistiska fördelningar mot den diskreta indatafördelningen. Programmet hittar för varje fördelning de parametrar som bäst beskriver de indata som getts. Därefter rangordnar Bestfit de olika fördelningarna där den fördelning som avviker minst från indata värderas högst. Resultat från detta ses i figur 4.3 och innebär att fördelningen beskrivs med Weibullfördelning, tabell 4.2.



Figur 4.3 Fördelning för brands tillväxthastighet i allmän byggnad enligt Bestfit.

Tabell 4.2 Beskrivning av fördelning för brands tillväxthastighet i allmän byggnad.

Parameter	Framtagen fördelning
Brands tillväxthastighet i allmän byggnad (W/s^2)	Weibull (1,9310 ; 35,808)

4.6 Diskussion

Framtagandet av fördelningen innebär att en rad antaganden och uppskattningar måste göras, vilket i sin tur leder till betydande osäkerheter i resultatet. Exempelvis innehåller byggnadskategorin ”allmän byggnad” en rad olika verksamheter med skilda förutsättningar. Lämpligheten med att använda en och samma fördelning på tillväxthastigheten för alla dessa verksamheter kan naturligtvis diskuteras. Som en första uppskattning anses fördelningen dock vara applicerbar på de verksamheter som ingår i kategorin, och som inte avviker nämnvärt i fråga om brandbelastning eller innebär särskilda brandrisker. Det hade varit önskvärt med en mer detaljerad indelning i olika byggnadskategorier och startföremål för brand så att fler fördelningar kunnat tas fram. Då hade också skillnader mellan olika verksamhetstyper kunnat urskiljas och orsaken till dessa skillnader undersökas med hjälp av studier av rutiner och organisatoriskt brandskydd. Detta är dock inte genomförbart med det statistiska underlag som finns att tillgå idag.

Vidare bygger beräkningar av tillväxthastigheter för olika grupper av föremål på försök från ett fåtal föremål som får representera de olika grupperna. Detta är naturligtvis en begränsning, som uppkommer till följd av att samtliga föremål som anges som möjliga startföremål för brand ej testats, varför det blir svårt att uttala sig om brandens tillväxthastighet.

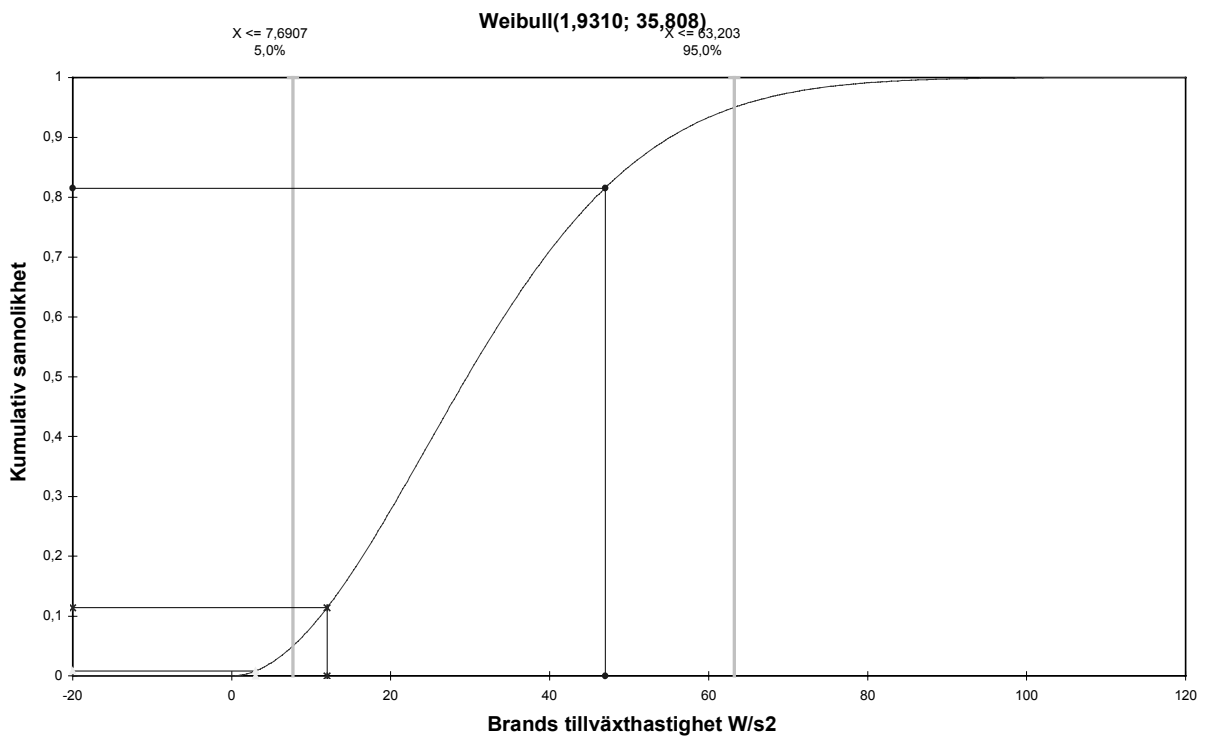
En brist i den gjorda uppskattningen är att saker som inte varit startföremål under den tidsperiod som statistiken är hämtad ifrån, eller av annan anledning inte kommit med i insatsrapporteringen, inte tas hänsyn till i resultatet som erhålls. Resultatet redovisas dock som en fördelning, och bränder för de valda objektstyperna förväntas hamna inom respektive fördelningen.

Övriga källor till osäkerheter uppkommer på grund av det statistiska materialets utseende. Startföremål anges i grupper som kan tänkas innehålla ett brett spektrum av föremål med olika egenskaper. I framtagandet har en metod använts där ett antal föremål som bedöms ingå i en viss kategori studerats, och tillväxthastighetens medelvärde och variationsintervall anges utifrån detta. Vad gäller medelvärdet, blir detta osäkert då viktningen av de ingående föremålen är okänd. Detta till följd av att det i statistiken inte finns angivet i vilka andelar olika föremål varit orsak till brand inom en viss kategori. Variationsintervallet blir även detta osäkert då det finns föremål som ingår i de olika kategorierna, men som det inte går att bedöma tillväxthastigheten för på grund av att deras brandegenskaper inte testats.

Således är resultatet behäftat med stora osäkerheter då det bygger på ett begränsat statistiskt material ur vilket antaganden och subjektiva bedömningar måste göras för att ett resultat överhuvudtaget skall kunna presenteras. Det är därför viktigt att särskilt studera aktuella förhållanden för att undersöka om fördelningen är applicerbar på ett visst objekt. Särskilt viktigt är att studera om det finns sådana förutsättningar som innebär att en tillväxthastighet som är större än de som täcks in av fördelningen kan uppkomma.

Som alternativ till dimensionering med ett fixt värde är dock den framtagna fördelningen användbar. Ett flertal av de kategorier som ingår i allmän byggnad föreslås i ”Enclosure Fire Dynamics” /23/ dimensioneras utifrån en brand med snabb tillväxthastighet valt som konservativt värde. Detta täcks in väl med den framtagna fördelningen, varför användandet av denna i en riskanalys med analys av osäkerheter inte bedöms ge orimliga resultat.

Figur 4.4 nedan visar hur stor del av bränderna i allmän byggnad som har ett lägre α -värde än bränder med långsam ($\alpha = 3 \text{ W/s}^2$), medelsnabb ($\alpha = 12 \text{ W/s}^2$) och snabb tillväxthastighet ($\alpha = 47 \text{ W/s}^2$). Här ses bland annat att i allmänna byggnader motsvarar en brand med snabb tillväxthastighet ungefär 80 %- fraktilen på den framtagna fördelningen. Fördelningen innebär att drygt 80 % av bränderna i allmän byggnad bedöms ha en tillväxthastighet långsammare än det som definieras som snabb brandtillväxt. Detta ger också att resterande knappa 20 % ges en tillväxthastighet som är högre än den snabba brandtillväxten.



Figur 4.4 Kumulativ sannolikhetsfördelning för brands tillväxthastighet i allmänna byggnader, med långsam, medelsnabb och snabb brandtillväxt inritat.

5 Brandtekniska system och installationer

5.1 Allmänt

Det finns olika system för att begränsa effekten av en uppkommen brand. Dessa kan indelas i två olika sorter, aktiva system och passiva system.

Aktiva system består främst av olika larmsystem som syftar till tidig upptäckt av brand för ökad personsäkerhet och förbättrat egendomsskydd. Diverse system för att släcka eller begränsa en brand i ett tidigt skede och på så sätt minska påverkan på lokalen och människorna i den ingår också i denna kategori, liksom olika utformningar för brandgasventilation.

Passiva system utgörs exempelvis av brandcellsgränser, det vill säga brandtekniskt avskiljande konstruktioner såsom väggar, dörrar och glaspartier. Även byggnadsstommens bärande funktion vid en brand är ett passivt system.

Passiva system kan även ha inslag av aktiva komponenter. Dörrar i brandcellsgränser kan exempelvis vara konstruerade så att de står uppställda tills signal från brandlarm ges att de skall stänga. Vid ventilationsgenomföringar i brandcellsgränser kan spjäll anordnas som stängs vid detektion av brandgaser i ventilationskanalen, eller så kan andra styrningar och utformningar av ventilationssystemet användas för undvika brandgasspridning.

Som tidigare nämnts i kapitel 2.2.4 kan såväl de aktiva som de passiva systemen fungera i varierande omfattning. Därför studeras funktionssannolikheter för de passiva och de aktiva systemen. Det är fullt tänkbart att funktionssannolikheterna är beroende av typ av system, ålder och underhåll i en större grad än vad som idag är möjligt att kvantifiera p.g.a. utformning av det befintliga statistiska materialet. Detta innebär att indelningen i vissa fall blir grövre än vad som önskas.

5.2 Brandcellsgränser

Brandcellsgränserns brandmotstånd anges med den tid i minuter som byggnadsdelen kan förväntas motstå en standardbrand (ISO 834) enligt en framtagen temperaturkurva. Följande kriterier för detta är framtagna /18/:

R – Krav på bärande förmågans funktion under den angivna tiden.

E – Integritet, krav på att brandgaser ej får passera genom brandcellsgränsen under den angivna tiden. Kravet innebär att byggnadsdelen har en flam- och rökavskiljande funktion, men inte uppfyller krav på begränsning av temperaturökning på den icke brandutsatta sidan.

I – Temperaturkrav på den icke brandutsatta sidan. Kravet innebär, vid verifiering genom klassificering, att avskiljande byggnadsdelar skall uthärda uppvärmning under den tid som motsvarar dess brandtekniska klass utan att:

- förlora sin avskiljande funktion
- släppa igenom lågor, förutom enstaka sticklågor av högst 10 sekunders varaktighet
- temperaturstegringen (vid provning) överstiger följande angivna värden, på den icke brandutsatta sidan:
 - 140°C i medelvärde
 - högst 180°C på en enstaka punkt

- temperaturen (vid beräkning) överstiger följande angivna värden, på den icke brandutsatta sidan:
 - 200°C i medelvärde
 - högst 240°C på en enskild punkt

Huvudsyftet med brandcellsgränser är att förhindra spridning av brand mellan olika byggnadsdelar samt att skilja av utrymningsvägar så att de utrymmandes avstånd till en säker plats begränsas. En bedömning av funktionssannolikheten för en brandcellsgräns är komplicerad att göra då detta beror på förekomst av olika komponenter i brandcellsgränsen. Det kan också vara svårt att bedöma hur en icke fungerande brandcellsgräns påverkar personsäkerheten. Detta då exempelvis ett litet läckage i en genomföring i en vägg får helt andra följder än en öppen dörr eller ett felande brandgasspjäll i ventilationssystemet. Icke fungerande brandcellsgränser får främst anses påverka egendomsskyddet i byggnader då bränder kan sprida sig till utrymmen som annars ej påverkats och brandens omfattning kan bli sådan att räddningstjänst ej kan begränsa den.

Personskador har dock visat sig kunna uppkomma i allmänna lokaler då en brand uppstår i ett angränsande obebod utrymme och sedan spridit sig till publika utrymmen. En anledning till detta är att branden då kunnat växa i omfattning innan den upptäckts. Det kan därför vara intressant att studera funktionssannolikheten för väggar och främst dörrar i brandcellsgränser när sådana angränsande utrymmen finns där bränder av större omfattning kan inträffa (förråd etc). Att sedan kvantifiera detta i en riskanalys är komplicerat då bedömningar måste göras efter vilken tid branden upptäcks, vilken omfattning branden har vid den tidpunkten, risk för snabb spridning till de publika delarna etc. Osäkerheterna i dessa bedömningar blir så stora att implementering av detta i en riskanalys inte bedöms vara möjlig. Då brandcellsgränser inte alltid fungerar är det dock viktigt att även ta hänsyn till scenarier av denna art så att den riskökning som de innebär kan begränsas. Exempelvis är det viktigt att utrymmen som kan ge upphov till dessa scenarier förses med detektorer så att sannolikheten för en tidig upptäckt ökar. Det skulle krävas mycket information för att kunna modellera med hänsyn till denna parameter på ett meningsfullt sätt. Exempelvis behövs data på felfunktion av brandcellsgränser baserat på brandcellsgränsernas storlek, utformning och förekomst av genomföringar. Detta beror på att en 2 meter lång vägg i betong ej kan förväntas ha samma felsannolikhet som en 30 meter lång vägg i gips med ett flertal genomföringar.

Funktionssannolikheter för brandcellsgränser med och utan dörrar anges i "Fire Engineering Guidelines" /26/ och visas i tabell 5.1. Här ses att funktionssannolikheten för en brandcellsgräns sjunker vid förekomst av öppningar såväl med som utan automatiska dörrstängare. I fallet med automatiska dörrstängare beror detta sannolikt på att dörrar ställs upp med kilar medan dörrar utan automatiska dörrstängare ofta står öppna. Om dörrar är uppställda med magnet och stängs vid signal från brandlarm borde sannolikheten att de är förhindrade att stänga vara mindre. Dock måste hänsyn då tas till att dörren endast stänger om brandlarmet fungerar. Värdena anger maximala funktionssannolikheter.

Tabell 5.1 Maximala funktionssannolikheter för olika konstruktioner /26/.

Typ av konstruktion	Funktionssannolikhet	
	Inte övertändning	Övertändning
Utan dokumenterat brandmotstånd, ingen öppning	0,80	0,50
Med brandmotstånd, ingen öppning	0,95	0,95
Utan dokumenterat brandmotstånd, öppningar utan dörrstängare	0,60	0,30
Med brandmotstånd, öppningar med dörrstängare	0,90	0,90

En noggrannare studie av andelen dörrar i brandcellsgränser som förhindrats att stänga presenteras också i "Fire Safety in Buildings Principles and Practice" /32/, se tabell 5.2. Statistiken är indelad på olika verksamheter.

Tabell 5.2 Andel dörrar i brandcellsgräns förhindrade från att stänga.

Byggnads- typ	Totalt antal dörrar	Andel dörrar hindrade från att stänga (%)
Kontor	7055	18
Industri	22491	15
Lager	1010	37

Det bör påpekas att alla värden angående passiva systems funktion bygger på generell statistik och informationen som ges är ej särskilt detaljerad. Exempelvis anges ej antalet öppningar i brandcellsgräns i tabell 5.2 vid bedömning av funktionssannolikhet. Typ av automatisk dörrstängare anges ej heller.

Johansson /2/ gör också en studie av statistik från SRV för bedömning av sannolikhet att bränder sprider sig från startföremål till andra föremål samt vidare till andra rum, brandceller och byggnader. Det är dock inte möjligt att utifrån detta dra några slutsatser om specifika brandcellsgränser då ingen information om brandcellsgränsernas storlek och komponenter finns.

5.3 Brand- och utrymningslarm

5.3.1 Generellt

Brand- och utrymningslarm bygger generellt på ett detektorsystem som skall upptäcka en brand och föra en signal till larmsystemet för att starta olika funktioner. Olika typer av detektorer kan användas för detta och dessa har fördelar och nackdelar vad gäller detektionstid och tillförlitlighet. Vanligast är att systemet bygger på rökdetektorer. Genom studier av litteratur och statistik kan funktionssannolikheter för olika brandlarmssystem uppskattas.

5.3.2 Detektions- och brandlarmssystem

Johansson /2/ har sammanställt material ur olika källor om felfunktion för olika kategorier av brandlarmssystem. Dels anges felsannolikheter för olika typer av detektorer, tabell 5.3, dels felsannolikheter för ett brandlarmssystem beroende på servicenivå, tabell 5.4.

Tabell 5.3 Felsannolikheter (per detektor) för två typer av detektorer /33/.

Typ av detektor	Felsannolikhet (vid behov)
Värme- och rökdetektorer	0,1
Flamdetektorer	0,24

Tabell 5.4 Felsannolikheten för ett brandlarmssystem beroende på servicenivå /34/.

Servicenivå	Felsannolikhet (vid behov)
Service enligt standard utförd av godkänd firma	0,03
Service, ej enligt standard utförd av godkänd firma	0,076
Service utförd av ej godkänd firma	0,147

Skillnaden mellan felsannolikhet för enskild detektor och för ett helt brandlarmssystem är viktig att notera. Ett brandlarmssystem kan fungera även om en enstaka detektor inte fungerar då det finns närliggande detektorer som kan aktiveras. Av denna statistik att döma skulle det i ungefär 10 % av brandfallen bli försenad detektion på grund av att den närmaste detektorn inte aktiverats. Dock kan brandlarmet starta något senare när en annan detektor larmar.

Det kan även finnas andra orsaker till att ett brandlarm inte fungerar än att detektorerna felar, exempelvis fel i överföringen från detektor till brandlarmscentral eller i själva brandlarmspanelen. För utrymningslarm gäller också att överföringen från detektor till högtalarsystem kan fela, liksom själva högtalaranläggningen. Specifik statistik för utrymningslarm har inte kunnat hittas varför funktionen för brandlarm får anses representera även utrymningslarm. Brand- och utrymningslarmen är ofta sammankopplade och bygger på samma detektionssystem. Om utrymningslarmet kopplas via brandlarmet får detta sannolikt en sämre funktions sannolikhet än brandlarmssystemet på grund av att den risk som finns för fel i denna överföring också måste beaktas. En mer funktionssäker lösning borde således vara att koppla utrymningslarmet direkt till detektionssystemet.

I små utrymmen som kan täckas med bara en eller ett fåtal detektorer kan det vara en bra idé att studera funktions sannolikheter för enskilda detektorer. Detta för att hitta det antal detektorer som med tillfredställande säkerhet ger detektion i utrymmet. I utrymmen med bara en detektor är det ofta detektorns felsannolikhet som är avgörande för sannolikheten att brandlarmssystemet aktiveras.

En jämförelse mellan äldre detektortyper och moderna detektorer som testas kontinuerligt under drift kan även göras, se tabell 5.5.

Tabell 5.5 Jämförelse av felsannolikheter för olika detektortyper och detektorsystem vid olika testintervall /35/.

Detektortyp	Felsannolikhet	Felsannolikhet för konventionella detektorsystem, Sverige	Felsannolikhet för moderna detektorsystem, Sverige
Testintervall	Vart tredje år	En gång per år	Var 5:e sekund
Värmedetektor	0,086	0,0003	$2,3 \cdot 10^{-7}$
Rökdetektor	0,13	Joniserande = 0,065 Optisk = 0,0242	$2,3 \cdot 10^{-7}$
Flamdetektor	0,242	0,0002	$7,2 \cdot 10^{-7}$

Här påvisas en ansevärd skillnad i tillförlitlighet på olika typer av detektorer. Dessa värden föreslår att felsannolikheten för moderna detektorer med täta testintervall i det närmaste kan försummas, och brandlarmssystemets funktions sannolikhet skulle då vara beroende av andra

komponenter i systemet. Det påpekas dock att materialet som dessa uppgifter bygger på inte är tillräcklig för att sådana slutsatser skall kunna dras.

5.3.3 Brandlarmspaneler

Annan information värd att studera härrör sig till felsannolikheter för brandlarmspaneler. Här beaktas inte felintensiteter för detektorer. Tillförlitligheten för system kan anges i form av olika MTBF, Mean Time Between Failures, för olika brandlarmspaneler. Dessa medelfelintensiteter har också en spridning som beror av de ingående komponenternas livslängdsfunktioner, dock redovisas endast medelvärden i detta exempel.

Användandet av MTBF som mått på tillgängligheten för en brandlarmspanel kräver även information om hur lång tid panelen kan förväntas vara ur drift när ett fel uppstår. Detta är naturligtvis helt beroende av att felet upptäcks och kan åtgärdas så att inte panelen får stå oreparerad. Detta är således föremål för en studie av organisationens uppbyggnad och vilka rutiner som finns/bör finnas för att säkerställa tillfredsställande funktion hos brandlarmspanelen. Ytterligare ett antal begrepp hämtas ur "Tillförlitlighet och säkerhet" /15/.

MTTF = Mean Time To Failure, medeltid till fel

MTTR = Mean Time To Reparation, medeltid till reparation

A = Medeltillgänglighet, beräknas ur ekvation nedan

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

MTBF definieras som $MTBF = MTTF + MTTR$

Således behövs värden på MTTF för ett system innan funktionssannolikheten kan beräknas. Denna är beroende av antalet komponenter i systemet samt systemets utformning. Komponenterna kan ha olika livslängdsfunktioner och vara olika beroende av varandra vilket påverkar funktionssannolikheten. MTTF beräknas ur följande ekvation /15/.

$$MTTF = E(T) = \int_0^{\infty} R_T(t) dt = \int_0^{\infty} t f_T(t) dt$$

$E(T)$ = Genomsnittlig livslängd, väntevärdet av livslängden T.

$R_T(t)$ = Funktionssannolikheten som stokastisk tidsberoende variabel (sannolikheten att att en enhet fungerar vid tiden t). Denna är lika med $1 - F_T(t)$.

$F_T(t) = P(T \leq t)$ = Fördelningsfunktionen för den stokastiska variabeln T.

$f_T(t)$ = Täthetsfunktionen för den stokastiska variabeln T.

Observera att $R_T(t)$ är funktionssannolikheten vid olika tider för hela systemet och beror av systemets komponenter och systemets utformning. Vid användande av livslängdsfunktionen kan naturligtvis även andra fraktiler för tid till fel tas fram än medelvärdet på MTTF om detta bedöms intressant.

De värden på MTBF som presenteras motsvarar olika brandlarmspaneler som varit i bruk olika lång tid. Värdena är exempel som erhållits från en stor brandlarmstillverkare. Värdena har beräknats utifrån ingående komponenter i brandlarmspaneler och representerar således

specifika system. Det är okänt hur systemen är uppbyggda och vilka livslängdsfunktioner som använts för de olika komponenterna och således skall inte dessa värden användas för att ta fram generella funktionssannolikheter för brandlarmspaneler. Denna metod kan dock användas för att få en uppfattning om hur ett brandlarmssystem teknologiskt och organisationens underhåll av anläggningen påverkar tillgängligheten och funktionssannolikheten för ett brandlarmssystem. De angivna värdena utgör exempel för beräkning av medeltillgängligheten hos en brandlarmspanel. På grund av skillnader i definition av MTTF och MTBF motsvarar de erhållna värdena på MTBF det som ovan definierades som MTTF. Med anledning av detta används benämningen MTTF för dessa data. Värdena presenteras i tabell 5.6.

Tabell 5.6 MTTF med avseende på brandlarmspanelens tid i bruk.

Brandlarmspanelens tid i bruk	MTTF, medianvärde
≥ 5 år	208 år
2-5 år	53 år
< 2 år	68 år

Värdena antyder att de yngre systemen har kortare MTTF. Enligt uppgift beror detta på att de nyare systemen har fler komponenter samt i viss mån även på att vissa komponenter i dessa system är nya och därför har kortare livslängdsfunktioner. Medeltillgängligheten blir olika för olika tider till reparation. Ett system som testas en gång per år kan förväntas vara ur bruk i genomsnitt ett halvår innan detta upptäcks. Tiden från upptäckt till dess att enheten är reparerad kan naturligtvis också variera beroende på rutiner och grad av säkerhetstänkande i organisationen. Som beräkningsexempel antas att denna tid är 2 månader. Totalt blir då $MTTR = 8$ månader vilket ger värden enligt tabell 5.7 på medeltillgängligheten:

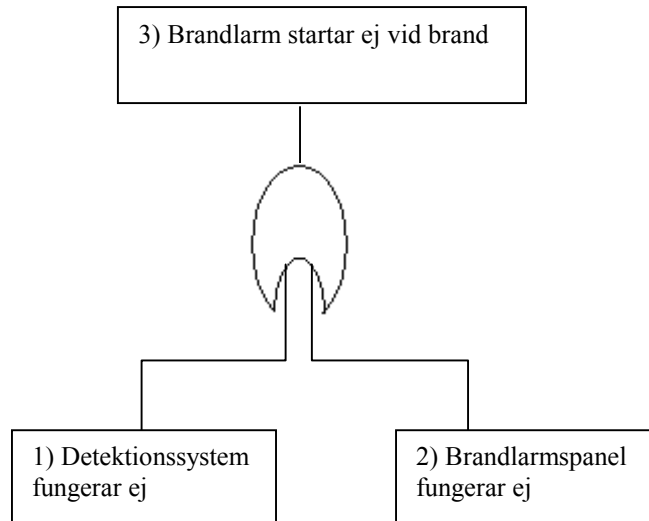
Tabell 5.7 Exempel på beräkning av medeltillgänglighet med avseende på brandlarmspanelens tid i bruk.

Brandlarmspanelens tid i bruk	MTTF, medianvärde	MTTR	A, medeltillgänglighet
≥ 5 år	208 år	8 månader	0,9968
2-5 år	53 år	8 månader	0,9876
< 2 år	68 år	8 månader	0,9903

Dessa värden beror i hög grad på vilken MTTR som antas och ger alltså endast medeltillgängligheten för ett system. För att kunna bedöma tillgängligheten alternativt funktionssannolikheten vid en viss tidpunkt för ett system behövs kunskap om systemets uppbyggnad samt kontrollintervall och förväntad tid till reparation. Ett sätt att bestämma sannolikheten att ett system fungerar vid en viss tidpunkt är att bestämma $R_T(t)$ utifrån systemets utformning och använda denna funktion vid olika tidpunkter.

5.3.4 Felträdsanalys för brandlarmssystemets funktion

Ett sätt att angripa funktionssannolikheten för ett brandlarmssystem är att genom felträdsanalys uppskatta sannolikheten att brandlarmet inte startar vid brand. Detta kan göras på olika detaljeringsgrad, allt från att studera samtliga komponenter i brandlarmspanelen, detektorerna och överföringen mellan detektor och panel. Nedan används ett angreppssätt där endast detektorer och brandlarmspaneler studeras, vilket ger ett enkelt felträd med endast en "eller"-grind, se figur 5.1. I felintensiteten för brandlarmspanelen finns då invägt hur denna är uppbyggd och funktionssäkerheten hos denna. Beräkningarna som utförs är endast att betrakta som exempel på metodiken.



Figur 5.1 Förenklat felträd för brandlarmssystems funktion.

Då tophändelsen inträffar om händelse 1 eller 2 inträffar, kan sannolikheten för tophändelsen beskrivas:

$$p_3 = p_1 + p_2 - p_1 \cdot p_2$$

Sannolikheten för icke fungerande detektionssystem antas kunna beskrivas med sannolikheten för felfunktion hos detektorerna i systemet. Vidare beskrivs brandlarmspanelens funktionssannolikhet med begreppet tillgänglighet som kan beräknas enligt kapitel 5.3.3. För dessa beräkningar krävs information om systemets MTTF (Mean Time To Failure), vilken beror på komponenterna i systemet, och dess MTTR (Mean Time To Reparation) vilken är en organisatorisk faktor som beror på hur ofta systemet testas och hur lång tid det kan förväntas ta från upptäckt fel till dess det är åtgärdat. Beräkningsexemplet nedan gäller för ett system med MTTF = 50 år och MTTR = 8 månader. Vidare kontrolleras olika detektionssystemens inverkan på den totala funktionssäkerheten. Funktionssannolikheter för olika detektortyper hämtas ur kapitel 5.3.2.

$$1 - A = p_2 = 1 - \frac{50}{50 + \frac{8}{12}} = 0,013$$

Utifrån detta beräknas nu felsannolikheter för ett brandlarmssystem där brandlarmspanelens egenskaper ger den beräknade p_2 ovan medan p_1 varierar beroende på detektortyp och testintervall och resultaten visas i tabell 5.8 - 5.10. Återigen betonas att dessa beräkningar endast utgör exempel på en metodik för att beräkna felsannolikheten för ett brandlarmssystem.

Tabell 5.8 Felsannolikhet för exemplarsystemet vid testintervall vart tredje år för detektorer.

Detektortyp	Felsannolikhet p_1	Felsannolikhet p_3 givet $p_2=0,013$
Värmedetektor	0,086	0,098
Rökdetektor	0,13	0,141
Flamdetektor	0,242	0,252

Tabell 5.9 Felsannolikhet för exempelsystemet vid testintervall en gång per år för detektorer.

Detektortyp	Felsannolikhet p_1	Felsannolikhet p_3 givet $p_2=0,013$
Värmedetektor	0,003	0,016
Rökdetektor	Joniserande = 0,065	0,077
	Optisk = 0,0242	0,037
Flamdetektor	0,0002	0,013

Tabell 5.10 Felsannolikhet för exempelsystemet vid testintervall var femte sekund (moderna detektorsystem) för detektorer.

Detektortyp	Felsannolikhet p_1	Felsannolikhet p_3 givet $p_2=0,013$
Värmedetektor	$2,3 \cdot 10^{-7}$	0,013
Rökdetektor	$2,3 \cdot 10^{-7}$	0,013
Flamdetektor	$7,2 \cdot 10^{-7}$	0,013

Beräkningarna visar att felsannolikheten varierar i stor utsträckning beroende på detektortyp och testintervall. Variationerna blir ännu större om olika felsannolikheter för brandlarmspaneler studeras. Slutsatsen av detta är att det är viktigt att ha bra underlag för bestämning av detektorers felsannolikhet och brandlarmspanelers MTTF och förväntad MTTR. MTTF kan erhållas för olika brandlarmspaneler från större brandlarmstillverkare, medan MTTR bedöms utifrån organisationens säkerhetskultur. Det är också viktigt att notera att de felsannolikheter för olika detektorer som anges här är grovt indelade efter underhållsintervall och typ och skillnader mellan olika märken etc beaktas inte. Detta ger upphov till osäkerheter i beräkningarna, varför det bör eftersträvas att så noggranna och specifika uppgifter som möjligt för det aktuella systemet erhålls vid användande av denna metod.

5.4 Sprinklersystem

5.4.1 Allmänt

Då sprinklersystem studeras är det viktigt att skilja på tillförlitlighet och effektivitet. Med tillförlitlighet menas hur ofta sprinklerutlösning sker då detta är önskvärt. I många fall innebär det även att sprinklern lyckas släcka branden. Med effektivitet menas om sprinklerutlösningen får önskad effekt, om den släcker, begränsar eller inte ger någon reduktion av branden.

I studerad statistik är det dock olika om denna uppdelning görs. I vissa fall genomförs inspektion och det erhålls på detta sätt en uppfattning om systemet är funktionsdugligt. I andra fall krävs det att sprinklersystemet släckt en uppkommen brand för att det skall klassas som funktionsdugligt. Grunden till detta kan till viss del ligga i att sprinklersystem dimensioneras på olika sätt i olika länder. På vissa ställen installeras sprinkler främst med syftet att kontrollera branden och förhindra ytterligare spridning innan räddningstjänsten kommer till platsen, medan systemet på andra ställen utformas för att släcka uppkommen brand.

Uppgifter om sprinklers tillförlitlighet och olika typer av fel finns att studera i litteratur. I nedanstående kapitel följer en sammanställning av uppgifter i studerad litteratur.

5.4.2 Tillförlitlighet

Nedan redovisas statistik som baseras dels på uppkomna bränder och dels på inspektioner i anläggningar med automatiskt sprinklersystem. Statistiken är hämtad från olika länder och undersökningarna är gjorda under olika tidsperioder. Vid studie av nedan redovisad statistik är det viktigt att tänka på att undersökningarna genomförts på olika sätt. Vissa uppgifter på felfunktion är resultat från inspektioner medan andra syftar till om systemet fungerat

tillfredställande vid uppkommen brand eller ej. Statistiken grundar sig på studier under olika långa tidsperioder vilket ger en spridning i noggrannheten då tillförlitlighetsvärdena i vissa fall baseras på väldigt få inträffade händelser.

I de olika undersökningarna finns skillnader i vad som klassas som funktionsdugliga system. I den mån detta har kunnat utläsas från aktuell källa har det även redovisats här.

Nedan redovisad statistik berör både funktionsduglighet samt vanliga problem och orsaker till dessa, vilka leder till mindre funktionsdugliga system.

USA

Tillförlitligheten för sprinklersystem enligt NFPA anges till 96 % baserat på perioden 1925-1996 /26/. Samma siffra från FM är 86 % /36/. Sprinklers tillförlitlighet i statistiken från FM visar på betydligt sämre resultat jämfört med övrig statistik. Anledningen till detta är att FM:s statistik grundar sig på bränder inrapporterade till försäkringsbolag. Många fastighetsägare rapporterar inte mindre bränder som släckts av sprinklersystemet för att undvika ökade försäkringspremier. Detta leder till att ett betydande antal bränder där sprinklern släckt branden inte räknas med i statistiken.

Tabell 5.11 baserar sig på 3134 bränder, inrapporterade till NFPA under åren 1925-1996, där sprinklern inte fungerade tillfredställande /36/. Tabellen anger vad som var problemet, orsaken till problemet och hur stor andel av fallen de olika kategorierna utgjorde.

Tabell 5.11 Problem och orsak, med givna andelar, vid bränder där sprinklersystemet ej fungerat tillfredställande /36/.

Problem och orsak	Andel av fallen (%)
Misslyckande att upprätthålla verksam funktion av systemet	53,4
- Vatten avstängt	35,4
- Otillräckligt underhåll	8,4
- Hinder i vattentillförseln	8,2
- Systemet fruset	1,4
Misslyckande att säkerställa tillräcklighet av systemet för fullständig skydd m a p aktuell brandrisk	21,6
- Systemet inte tillräckligt för brandrisken i objektet	13,5
- Systemet endast dimensionerat för att skydda del av objektet	8,1
Brist, som inte innefattar, men som påverkar sprinklersystemet	15,9
- Otillräcklig vattentillförsel	9,9
- Felaktig byggnadskonstruktion	6,0
Otillräckligt funktion av själva sprinklersystemet	5,6
- Föråldrat system	2,1
- Långsam funktion	1,8
- Bristfällig torrörsventil	1,7
Annan	3,6
- Brandexponerat	1,7
- Annat eller okänt	1,9

En detaljerad litteraturstudie av tillgängliga tillförlitlighetsdata från sprinklersystem i hela världen är utförd i USA. Resultatet från undersökningen, som redovisas i tabell 5.12, visar sprinklers tillförlitlighet i olika verksamhetstyper med medelvärde och i vissa fall även 95 % konfidensintervall. /37/

Tabell 5.12 Sprinklertillförlitlighet redovisat med medelvärde och 95 % konfidensintervall för olika verksamhetstyper /37/.

Verksamhetstyp	Tillförlitlighet	Antal källor
Bostad	0,966	1
Sjukhus	0,966	1
Handel	0,881<0,931<0,981	9
Annat	0,939<0,960<0,981	7
Alla kategorier	0,922<0,946<0,971	18

Finsk statistik

Finland hade cirka 2,6 miljoner sprinklerhuvuden 1995 (cirka 1,5 miljoner 1985). Huvuddelen av alla industri- och handelsbyggnader är sprinklade. /36/

Mellan åren 1985-1995 var det endast i fyra fall, av totalt 800 bränder, som sprinkler ej fungerade som avsett vid brand. Detta ger en tillförlitlighet på 99,5 %. Studeras tillförlitligheten vid inspektion, som utförs på cirka 500 sprinklersystem per år, visar detta att 2 % av systemen inte är funktionsdugliga. En stor del av felen beror på stängda ventiler. Anledningen till att en lägre tillförlitlighet visas vid inspektioner är att dessa förekommer oftare än bränder, vilket även innebär att detta är ett mer statistiskt säkerställt värde. Som värde för tillförlitligheten för sprinkler, enligt finsk statistik, används 98 %. /36/

Norsk statistik

SINTEF (The Foundation for Scientific and Industrial Research at the Norwegian Institute of Technology) har studerat 67 bränder och vid bara två tillfällen fungerade inte sprinklersystem som avsett. Detta ger en tillförlitlighet på 0,97. Felen berodde dock på att bränderna uppstod på taket av byggnaderna vilket inte sprinklersystemet vad dimensioner att för att släcka. /38/

Norsk brannvern forening (NBF) har lång erfarenhet av kontroll av sprinklersystem. Dessa kontroller visar att en stor del av sprinklersystemen har stora avvikelser i förhållande till de krav som ställs. Tabell 5.13 visar resultatet av denna undersökning. De vanligaste felen vid dessa kontroller som kan få stor betydelse vid brand är feldimensionerat sprinklersystem i förhållande till verksamheten, exempelvis lagring av för mycket material med för hög lagringshöjd eller ändring av lagringsmaterial i lagerbyggnader. Ett annat exempel är för liten vattentillförsel vilket kan bero på ändringar i byggnation i närområdet. /39/

Tabell 5.13 Storlek på avvikelser vid kontroll av sprinklersystem /39/.

Storlek på avvikelse i förhållande till krav	Andel anläggningar med denna avvikelse
Stor (dvs stor sannolikhet för felfunktion vid brand)	10-20 %
Mellan (dvs avvikelse som kommer att medföra märkbara konsekvenser vid brand)	40 %
Liten	90 %

Tysk statistik

I Tyskland besiktigas alla sprinklersystem årligen. Mellan åren 1989-1993 besiktigades totalt 73878 system och på dessa upptäcktes brister, vilka dock ej i samtliga fall bedöms resultera i funktionsodugligt system, på 15983 stycken. Detta ger ett värde på med säkerhet, för aktuell verksamhet, funktionsdugliga system i 78,4 % av fallen. Detta är en jämförelsevis låg siffra på

tillförlitligheten och förklaringen är att här räknas alla typer av fel in, även mindre fel som inte leder till att systemet inte fungerar alls.

År 1993 fördelades typerna av fel, som hittats vid besiktning, på olika orsaker enligt tabell 5.14. Exempel på fel är att ett sprinklerhuvud inte fungerar, vilket inte leder till att hela systemet fallerar utan endast eventuellt kan resultera i fördröjning av aktiveringstiden. Beror dock felet på bristande underhåll eller liknande finns risk för att det finns fler brister i sprinklersystemet vilket kan ge allvarigare följd än bara fördröjd aktivering av exempelvis ett specifikt sprinklerhuvud. Även förändring av verksamheten vilket gör sprinklersystemet feldimensionerat räknas till dessa fall även om det inte utgör ett tekniskt fel i systemet. Skulle sistnämnda fall tas bort skulle siffran för funktionsdugliga system, år 1993, stiga från 76 % till 80,7 %. Om även fel på larmsystem räknas bort stiger värdet på tillförlitligheten år 1993 till 86,6 %. /36/

Mellan åren 1971-1992 studerades 1490 bränder i sprinklade fastigheter. I 1459 av dessa fall fungerade sprinklersystemet som avsett. Detta ger en tillförlitlighet på 97,9 %.

Med ledning av ovanstående resonemang väljs tillförlitligheten för sprinklersystem, från tysk statistik, till 98 %.

Tabell 5.14 Orsak till fel på besiktigade system, med angivna andelar, år 1993 /36/.

Orsak till felfunktion	Andel av fallen (%)
Vattenförsörjning	12,2
Huvudventil	2,9
Larmsystem	24,5
Förändring av verksamhet (utilisation)	20,0
Vattendistribution till sprinklerhuvuden	40,4

Engelsk statistik

I BS 9999-2 /40/ presenteras en undersökning där brandförsvaret under en treårsperiod varit på 4130 incidenter i sprinklade byggnader. Vid dessa incidenter fungerade sprinklersystemet i 1770 av fallen. Effekten i de fall där sprinklersystemet fungerade visas i tabell 5.15. I de fall sprinklersystemet inte fungerade visas orsaken till detta i tabell 5.16.

Tabell 5.15 Effekt vid fungerande sprinkler /40/.

Effekt	Incidenter	
	Antal	%
Släckte	393	22,2
Kontrollerade	1064	60,1
Kontrollerade inte	208	11,8
Inte angett	105	5,9

Tabell 5.16 Orsak till ej fungerande sprinklersystem /40/.

Orsak	Incidenter	
	Antal	%
Liten brand (som ej genererat tillräckligt med värme för sprinkleraktivering)	2063	87,4
Brand i maskineriet	49	2,1
Brand ovanför sprinklerhuvuden	22	7,2
Brand i osprinklad del	20	
Sprinklersystemet avstängt	112	
Sprinklersystemet defekt	8	
Sprinklersystemet fruset	5	
Lågt tryck i ledning	2	
Annat	52	3,3
Okänt	27	

Att branden är för liten och inte genererar tillräckligt med värme för sprinkleraktivering kan inte anses vara tekniskt fel och därför påverkas inte tillförlitligheten av detta. Värdet på tillförlitligheten för sprinklersystem enligt BSI har därför valts till $(1770+2063)/4130 \approx 93\%$.

Europeisk statistik

Mellan åren 1985-1994 studerades ett antal sprinklade anläggningar i 13 länder i Europa (Österrike, Belgien, Danmark, Storbritannien, Finland, Frankrike, Tyskland, Nederländerna, Italien, Norge, Sverige, Schweiz, Turkiet).

Det uppskattas att 4-5 % av sprinklersystemen inte fungerar som det är avsett. Hälften av felen på dessa system beror på dåligt underhåll och mänskliga misstag (t.ex. stängda ventiler). ¼ beror på fel i vattenförsörjningen och den resterande ¼ beror på att sprinklersystemet inte är dimensionerat på ett riktigt sätt med avseende på verksamheten eller att det är utformat endast som punktskydd.

Bland de studerade sprinklersystemen är anledningen till felfunktion i ett antal fall vattenläckage. För systemen med vattenläckage fördelade sig orsakerna till detta enligt tabell 5.17. /36/

Tabell 5.17 Typ av fel som lett till vattenläckage /36/.

Typ av fel	Andel av fallen (%)
Mekaniskt tryck	28
Korrosion	23
Överhettning	15
Frost	15
Olika orsaker	19

Australisk statistik

Den australiska statistiken behandlar den totala prestandan av automatiska sprinklersystem i 9022 bränder, mellan åren 1986-1996, där detaljerade rapporter finns att tillgå. Av dessa bränder var det endast i 49 fall som branden ej kunde kontrolleras. Denna information leder till en tillförlitlighet för sprinklersystem på 99,5 %. /36/

Sammanställning

En sammanställning av ovan redovisade värden, samt ett antal övriga ger en grov översikt av tillförlitligheten för automatiska sprinklersystem enligt tabell 5.18.

Tabell 5.18 Statistik för sprinklers tillförlitlighet från olika länder och organisationer.

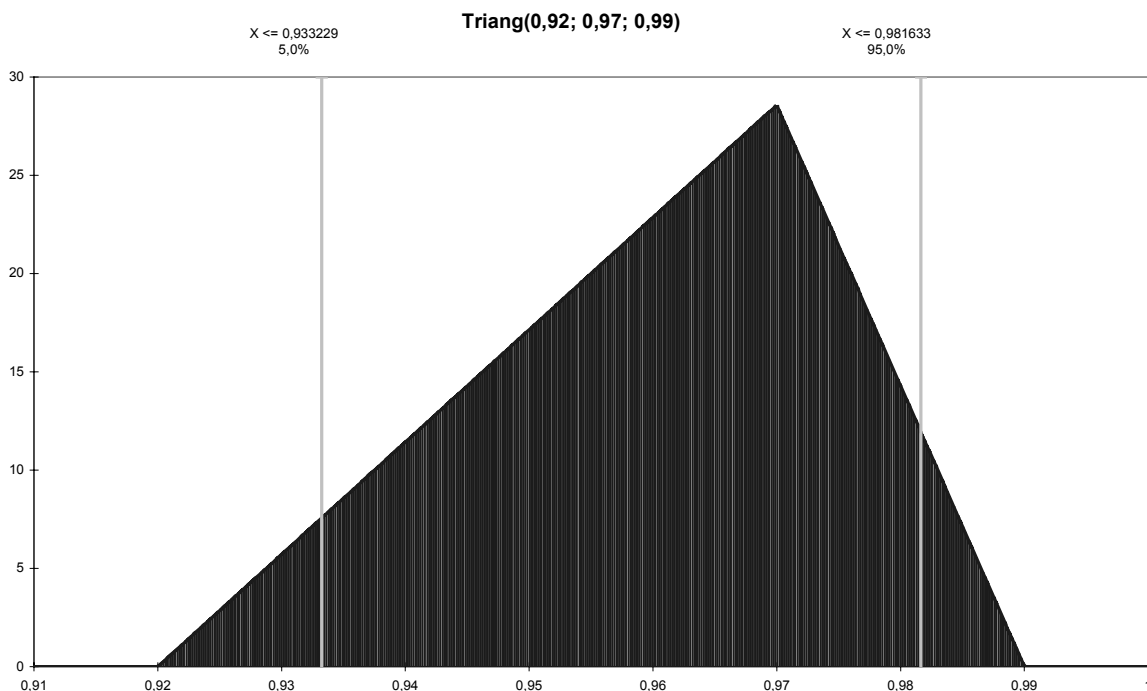
Sprinklers tillförlitlighet	Antal bränder	Tidsperiod	Land, stad, organisation	Referens
0,96		1925-1996	USA, NFPA	/36/
0,985			USA, Fire Protection Association	/41/
0,86			FM	/36/
0,982		1952-1980	Department of Energy (DOE)	/42/
0,98 (helsprinklat)		1975-1992	Industrial Risk Insurers	/42/
0,92 (delsprinklat)		1975-1992	Industrial Risk Insurers	/42/
0,995	800	1985-1995	Finland	/36/
0,98	ca 5000 inspektioner	1985-1995	Finland	/36/
0,97	67		Norge	/38/
0,98	1490	1971-1992	Tyskland	/36/
0,93	4130		England	/40/
0,95-0,96		1985-1994	Europa	/36/
0,995	9022	1886-1986	Australien	/36/
0,99			Australien	/43/
0,998		1886-1968	Australien och Nya Zeeland	/42/
0,993		1968-1977	Australien och Nya Zeeland	/42/
0,98			New York	/36/
0,94			Storbritannien	/36/
0,95	15000	1967-1973	Storbritannien	/44/
0,985		1978-1982	Storbritannien	/45/
0,95			Storbritannien	/46/
0,918		1965-1969	England (Fire and loss statistics)	/42/
0,782		1966-1972	England (Fire and loss statistics)	/42/
1,0 (Inga dokumenterade funktionsfel på 15 år)			Schweiz	/36/

Det finns även en skillnad i sannolikheten för lyckad sprinkleraktivering vid olika typer av bränder. I "Fire Engineering Guidelines" /26/ anges värden för sannolikheten för lyckad sprinkleraktivering vid glödbland, icke övertänd brand samt övertänd brand. Dessa värden redovisas i tabell 5.19.

Tabell 5.19 Sannolikhet för lyckad sprinkleraktivering vid olika typer av brand /26/.

Typ av brand	Sannolikhet för lyckad sprinkleraktivering
Glödbrand	0,5
Icke övertänd brand	0,95
Övertänd brand	0,99

Sannolikheten för felfunktion kan, precis som för brandlarmssystem, anges för ett sprinklerhuvud. I ”Fire Engineering Guidelines” /26/ uppskattas sannolikheten för felfunktion för nya sprinklerhuvuden till $3,1 \cdot 10^{-2}$ och sannolikheten för felfunktion för gamla sprinklerhuvuden till $5,1 \cdot 10^{-2}$. Här uppskattas även sannolikheten för felfunktion för sprinklersystem i kontorsbyggnad till 0,0184.



Figur 5.2 Fördelning för sprinklersystems tillförlitlighet.

Med ledning av studerad litteratur, vilken sammanfattas i tabell 5.18, väljs sprinklers tillförlitlighet till en triangelfördelning för att beskriva osäkerheten i medelvärdet. Vid triangelfördelningar finns ett minsta värde parameter kan anta, ett mest sannolikt värde och ett maximalt värde. Dessa värden väljs till 0,92; 0,97; 0,99, vilket även visas i figur 5.2 och beskrivs i tabell 5.20. Vid valet av dessa värden används tabell 5.18, dock tas de två högsta och de två lägsta värdena bort. Därefter väljs parametrar som täcker in den kvarvarande statistiken, och det mest sannolika värdet väljs så att det ungefär motsvarar medelvärdet av kvarvarande statistik.

Tabell 5.20 Beskrivning av fördelning för sprinklers tillförlitlighet.

Parameter	Erhållen fördelning
Sprinklersystems tillförlitlighet	Triang (0,92 ; 0,97 ; 0,99)

5.5 Utrymningsvägars tillgänglighet

Utrymningsvägar kan i en utrymningsituation av olika anledningar vara otillgängliga. En sådan anledning är att branden uppkommit i närheten av utgången och förhindrar personer att använda den. Dessutom kan utrymningsvägen vara låst eller blockerad av föremål, något som

ofta förekommer vid alternativa utrymningsvägar via lager eller dylikt då området framför utrymningsvägen används som uppställningsplats för varor. Att utrymningsvägar ibland är låsta kan bland annat bero på risken för inbrott och stölder.

Att bedöma sannolikheten för att en brand blockerar en utrymningsväg kan göras genom att beräkna ett minsta avstånd från utrymningsvägen som branden ej får uppstå inom om utrymningsvägen skall gå att använda. Till detta används beräkningar av strålning mot de utrymnande. Vidare antas då också att sannolikheten för uppkomst av brand är lika på alla platser i lokalen.

Att däremot bestämma en sannolikhet för att en utrymningsväg är låst eller blockerad av föremål är mer komplicerat. Detta styrs i hög grad av säkerhetstänkande i den organisation som sköter utrymningsvägen. Generellt kan sägas att samtliga utrymningsvägar som även används kommersiellt eller dagligen av personal (huvudentréer, personalingångar etc.) löper obetydlig risk att blockeras av föremål. Personalingångar kan dock vara låsta eller försedda med kortläsare eller dylikt. De utgångar som mest sannolikt blir blockerade eller låsta är de som inte fyller någon annan funktion än att just vara utrymningsväg, det vill säga bakkantsutrymningar från butiker etc. Denna sannolikhet är dock mycket svår att bedöma, och att sätta ett generellt värde eller fördelning på denna är inte möjligt. För att möjliggöra bedömning av detta är noggrannare studier av olika verksamhetstyper nödvändiga och en bedömning av organisationens säkerhetstänkande bör göras. Ännu viktigare än att kvantifiera denna parameter är naturligtvis att skapa förutsättningar för att minimera denna sannolikhet. Detta genom att utforma utrymningsvägar på ett sådant sätt att sannolikheten minskar (undvika utrymning över lager etc.) samt att se till att de som sköter utrymningsvägen inser vikten av att den är tillgänglig.

Kvantifiering av denna parameter görs inte i denna rapport då det inte bedöms applicerbart generellt. Bedömning får istället göras utifrån aktuella förutsättningar i utformningen i aktuellt objekt och vilket säkerhetstänkande som bedöms finnas i den organisation som skall nyttja/nyttjar objektet.

5.6 Resultat

5.6.1 Allmänt

Vid problem med tolkning av de resultat som presenteras i detta kapitel föreslås en genomläsning av hela kapitel 5. Detta är även viktigt för bedömning av applicerbarheten av resultaten.

5.6.2 Brandcellsgränser

Ur ”Fire Engineering Guidelines” /26/ hämtas tabell 5.21 för funktionssannolikhet för brandcellsavskiljande konstruktioner.

Tabell 5.21 Maximala funktionssannolikheter för olika konstruktioner /26/.

Typ av konstruktion	Funktionssannolikhet	
	Inte övertändning	Övertändning
Utan dokumenterat brandmotstånd, ingen öppning	0,80	0,50
Med brandmotstånd, ingen öppning	0,95	0,95
Utan dokumenterat brandmotstånd, öppningar utan dörrstängare	0,60	0,30
Med brandmotstånd, öppningar med dörrstängare	0,90	0,90

5.6.3 Brand- och utrymningslarm

För bedömning av brand- och utrymningslarms felsannolikhet presenteras två olika metoder. En är mer generell och kan användas då detaljerad information om det aktuella systemet saknas. Den andra grundar sig på specifika uppgifter om brandlarmssystemet, detektorerna och nivå på säkerhetstänkande i den organisation som skall handha systemet.

Den mer generella delar in systemet efter servicenivå. Värdena i tabell 5.22 gäller för ett helt brandlarmssystem.

Tabell 5.22 Felsannolikheten för ett brandlarmssystem beroende på servicenivå /34/.

Servicenivå	Felsannolikhet (vid behov)
Service enligt standard utförd av godkänd firma.	0,03
Service, ej enligt standard utförd av godkänd firma.	0,076
Service utförd av ej godkänd firma.	0,147

Vidare finns generell statistik angående funktion hos olika detektionssystem beroende på typ av detektorer och testintervall. Dessa sannolikheter, som visas i tabell 5.23 och tabell 5.24, gäller dock endast för detektorerna och inte för hela brandlarmssystemet och är alltså inte synonymt med sannolikheten att brandlarmet inte startar vid brand.

Tabell 5.23 Felsannolikheter (per detektor) för två typer av detektorer /33/.

Typ av detektor	Felsannolikhet (vid behov)
Värme- och rökdetektorer	0,1
Flamdetektorer	0,24

Tabell 5.24 Jämförelse av felsannolikheter för olika detektortyper och detektorsystem vid olika testintervall /35/.

Detektortyp	Felsannolikhet	Felsannolikhet för konventionella detektorsystem, Sverige	Felsannolikhet för moderna detektorsystem, Sverige
Testintervall	Vart tredje år	En gång per år	Var 5:e sekund
Värmedetektor	0,086	0,0003	$2,3 \cdot 10^{-7}$
Rökdetektor	0,13	Joniserande = 0,065 Optisk = 0,0242	$2,3 \cdot 10^{-7}$
Flamdetektor	0,242	0,0002	$7,2 \cdot 10^{-7}$

Om detaljerad information om systemets detektorer och brandlarmspanel finns kan ett annat angreppssätt användas. Om funktionssannolikheten för enskilda detektorer, p_1 , kan bestämmas och medeltillgängligheten för brandlarmspanelen kan beräknas genom information om MTTF och MTTR för systemet (se kapitel 5.3.3) kan felsannolikheten beräknas genom en förenklad felträdsanalys. Detta ger följande uttryck :

$$p_3 = p_1 + p_2 - p_1 * p_2$$

p_3 = Felsannolikhet för brandlarmssystem

p_1 = Felsannolikhet för enskild detektor i systemet

p_2 = Felsannolikhet för brandlarmspanel = $1 - a$

$$a = \text{Medeltillgänglighet} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

MTTF = Mean Time To Failure, medeltid till fel. Beror av komponenter i panelen.

MTTR = Mean Time To Reparation, medeltid till reparation. Beror av hur ofta systemet kontrolleras samt hur länge det kan förväntas dröja innan ett uppkommet fel åtgärdas

Denna metod tar hänsyn till vilken typ av detektorer som används, hur ofta de testas, brandlarmspanelens utformning samt organisationens benägenhet att testa, underhålla och reparera sitt brandskydd. Detta kräver dock att *MTTF* kan bestämmas, eventuellt utifrån tillverkarens uppgifter samt att *MTTR* kan uppskattas på ett trovärdigt sätt. En möjlig metod är att föreslå testintervall, det är dock komplicerat att kontrollera uppfyllandet av detta.

5.6.4 Sprinkler

De sammanställda värdena som redovisas i tabell 5.18 har erhållits vid olika typer av undersökningar som utförts i olika omfattning, vid olika tidpunkter och för olika tidsperioder. Detta gör att samtliga värden inte bedöms ha lika stor pålitlighet.

Det är stor skillnad i hur mycket information som finns om de undersökningar som legat till grund för värden redovisade värden i tabell 5.18. Detta gör att det är mycket svårt att bedöma giltigheten av värdena. Med ledning av redovisade resultat väljs en triangelfördelning för att beskriva osäkerheten i medelvärde för automatiska sprinklersystems tillförlitligheten. Vid triangelfördelningar finns ett minsta värde parameter kan anta, ett mest sannolikt värde och ett maximalt värde. Dessa värden väljs till 0,92; 0,97; 0,99, se även tabell 5.25.

Tabell 5.25 Beskrivning av fördelning för sprinklers tillförlitlighet.

Parameter	Erhållen fördelning
Sprinklersystems tillförlitlighet	Triang (0,92 ; 0,97 ; 0,99)

5.6.5 Utrymningsvägars tillgänglighet

Sannolikheten att en brand blockerar en utrymningsväg kan bedömas med hjälp av strålningsberäkningar mot de utrymmande. Här beaktas att strålningen inte får uppnå kritiska nivåer. Sannolikheten för att en brand uppstår inom ett område som påverkar utrymningsvägen måste då bedömas.

Ingen bedömning görs av sannolikheten att en utrymningsväg är låst, blockerad av föremål eller otillgänglig av andra anledningar. Detta bedöms vara helt beroende av säkerhetstänkande hos den organisation som sköter utrymningsvägen, och att sätta ett generellt värde blir missvisande. För bedömning av detta krävs således att förutsättningarna i den aktuella lokalen studeras särskilt.

5.7 Diskussion

5.7.1 Brandcellsgränser

Det är svårt att göra en generell bedömning av funktionssannolikheten för en brandcellsgräns. Anledningarna till detta är flera. Funktionssannolikheten beror i stor grad på hur brandcellsgränsen är utformad med förekomst av till exempel glaspartier och dörrar, något som inte kan vägas in och bedömas i varje enskilt fall. Exempelvis är det större risk för att en vägg med t.ex. genomföringar och dörrar inte håller sin funktion, än vad det är för att en helt solid vägg inte gör det. Även faktorer som byggnadens ålder och utformning samt vilken verksamhet den inhyser kan ha betydelse. Verksamheten och hyresgäster kan i sin tur påverka vilka rutiner för

kontroll av brandskyddsaspekter som finns, något som till stor del har inverkan på funktions-sannolikheten.

Samtliga redovisade värden angående passiva systems funktion bygger på generell statistik och informationen som ges är inte särskilt detaljerad. Varken antalet öppningar i brandcellsgräns eller typ av automatisk dörrstängare anges.

Det är vidare svårt att avgöra konsekvensen av icke fungerande brandcellsgräns eftersom denna beror av så många olika saker vilket ger en stor spridning på konsekvensen. En avgörande faktor är vad som gör att brandcellsgränsen inte håller uppfyllda krav; om det är en genomföring som är otät, en dörr som inte stängs eller en vägg som inte är utförd med angivet brandmotstånd. Andra faktorer som kan ha avgörande betydelse för konsekvensen är mellan vilka utrymmen i en byggnad brandspridning sker och brandens egenskaper. Icke fungerande brandcellsgränser anses i första hand påverka egendomsskyddet genom snabbare och mer omfattande brandspridning än vad som annars skett. Det finns dock ett antal exempel där icke fungerande brandcellgränser gett stora konsekvenser i form av personskador. Tillfällen då branden startat i ett obevakat utrymme där den växt i omfattning och sedan spridit sig vidare till angränsande publik lokal är exempel som kan ge stora konsekvenser i form av personskador.

5.7.2 Brand- och utrymningslarm

Det är svårt att ge förslag på generella värden för felfunktion på brand- och utrymningslarm eftersom funktionen påverkas av en mängd olika parametrar.

Olika larmsystem är utförda med olika typer av detektorer vilka har olika värden på felsannolikheten. Även testintervall och servicenivån av systemet, systemets ålder samt tillverkare påverkar felsannolikheten varför detta måste vägas in. Det är dock omöjligt att få fram statistik som är uppdelad i ovan nämnda aspekter varför det i dagsläget tyvärr inte är möjligt att få fram värden på felsannolikheten som är så väl specificerade för olika typer av system och omgivande parametrar. För att kunna sammanställa statistik från olika källor gäller det att det tydligt framgår hur undersökningarna gjorts, hur statistiken tagits fram och vad den gäller för. Generellt är det svårt att få fram statistik över när brandlarmssystem felfungerat då det skulle fungerat, det vill säga vid brand. Det finns åtskilligt mer dokumenterat för den omvända situationen, det vill säga när systemet gett signal trots att det inte varit brand som gett upphov till detektion.

Ingen statistik över funktionen för utrymningslarm har hittats, varför denna antas vara samma som för brandlarm. Brand- och utrymningslarm utförs ofta sammankopplade vilket gör felsannolikheterna borde vara i samma storleksordning.

Komplexiteten i systemen, samt den stora mängd ingående komponenter, gör det svårt att på komponentnivå försöka uppskatta sannolikheten för felfunktion. Felträdsanalys är dock ett verktyg för att göra en bedömning av felsannolikheten. Denna kan göras på olika detaljeringsnivå beroende på dels hur kunnig utföraren är om systemet dels hur utförlig statistik för felfunktion det finns för de ingående komponenterna.

Det är även svårt att uppskatta konsekvensen av felfunktion eftersom det kan innebära så skilda saker. Felfunktion kan vara att en detektor inte fungerar vilket kan leda till fördröjd detektion, men det kan också vara fel i t.ex. larmöverföring vilket leder till att larmet inte kopplas vidare till högtalare eller brandförsvar.

5.7.3 Sprinkler

Vid studier av statistik är det viktigt att kritiskt granska de data som finns att tillgå. Undersökningarna som ligger till grund för redovisad statistik av sprinklersystems tillförlitligheten är gjorda på olika sätt vilket tydligt påverkar det resultat som erhålls. En del av statistiken har tagits fram genom att undersöka i hur många av fallen där brand uppstått i sprinklade byggnader som sprinklern lyckats släcka branden, medan en del av statistiken bygger på observationer vid kontroller och inspektioner och vidare en bedömning av om systemet skulle fungerat om en brand uppstått. En del av statistiken bygger på bränder inrapporterade av privatpersoner till försäkringsbolag. Denna statistik visar på betydligt sämre sannolikhet att sprinklern lyckats släcka uppkommen brand. Anledningen till detta är att mindre bränder där sprinklern släckt branden, och eventuellt även bränder som självslocknat i fall där sprinklern ej fungerat, inte kommer med i statistiken då fastighetsägarna inte rapporterar incidenten för att undvika högre försäkringspremier.

Vidare skiljer det i undersökningarna på vad som klassas som felfunktion av sprinklersystemet. Det kan vara ett tekniskt fel eller en förändring av verksamheten i en lokal som lett till att systemet blivit feldimensionerat.

Det finns även skillnader i hur omfattande de mätningar eller studier som ligger till grund för erhållna värden är. I vissa fall är det ett mycket litet antal system som felfungerat under en kortare tidsperiod, vilket leder till stora osäkerheter av resultatets allmängiltighet. I andra fall baseras statistiken på data från system som felfungerat för mycket länge sedan och som antagligen inte har mycket gemensamt med dagens system. Detta gör det tveksamt om resultaten kan ligga till grund för en bedömning av tillförlitligheten av de sprinklersystem som finns i drift idag.

En annan viktig aspekt är att tillförlitligheten skiljer sig väsentligt mellan olika verksamheter och objekt och det är mycket svårt att välja ett värde som skall fungera generellt. Den viktigaste orsaken till ett bra fungerande sprinklersystem är en god utformning och bra underhåll /36/. Detta gäller alla typer av brandtekniska system men är samtidigt mycket svårt att mäta och ta hänsyn till vid bedömning av ett systems tillförlitlighet i en specifik byggnad.

5.7.4 Utrymningsvägars tillgänglighet

Att utrymningsvägar är blockerade i en utrymningssituation kan bero på olika saker. Utrymningsvägen kan vara låst eller blockerad av föremål, den kan vara igensatt för att minska risken för inbrott och stölder eller den kan blockeras av branden.

Att ge ett generellt värde på utrymningsvägars tillgänglighet är omöjligt, då detta till mycket hög grad beror av vilka rutiner och vilket säkerhetstänkande som finns i den verksamhet som nyttjar aktuell byggnad. För att möjliggöra en bedömning är noggrannare studier av olika verksamhetstyper och en bedömning av organisationens säkerhetstänkande för aktuellt objekt nödvändig.

6 Personfördelning

6.1 Allmänt

Personantalet i en byggnad varierar normalt sett över dygnet, och olika persontätheter är att förvänta vid olika tillfällen. Beroende på verksamhet kan denna fördelning se ut på olika sätt. Exempelvis kan ett varuhus förväntas ha mer kunder runt jul och andra högtider än normala dagar. Samlingslokaler som diskotek och liknande kan också antas inrymma fler personer kvällstid än dagtid, med särskilt höga personantal vissa kvällar. I en riskanalys kan antingen ett specifikt, konservativt värde på personantalet användas som dimensionerande, eller så kan en sannolikhetsfördelning över personantalet i lokalen användas. Denna fördelning kan vara såväl diskret som kontinuerlig, och bör bestämmas efter studier av liknande objekt.

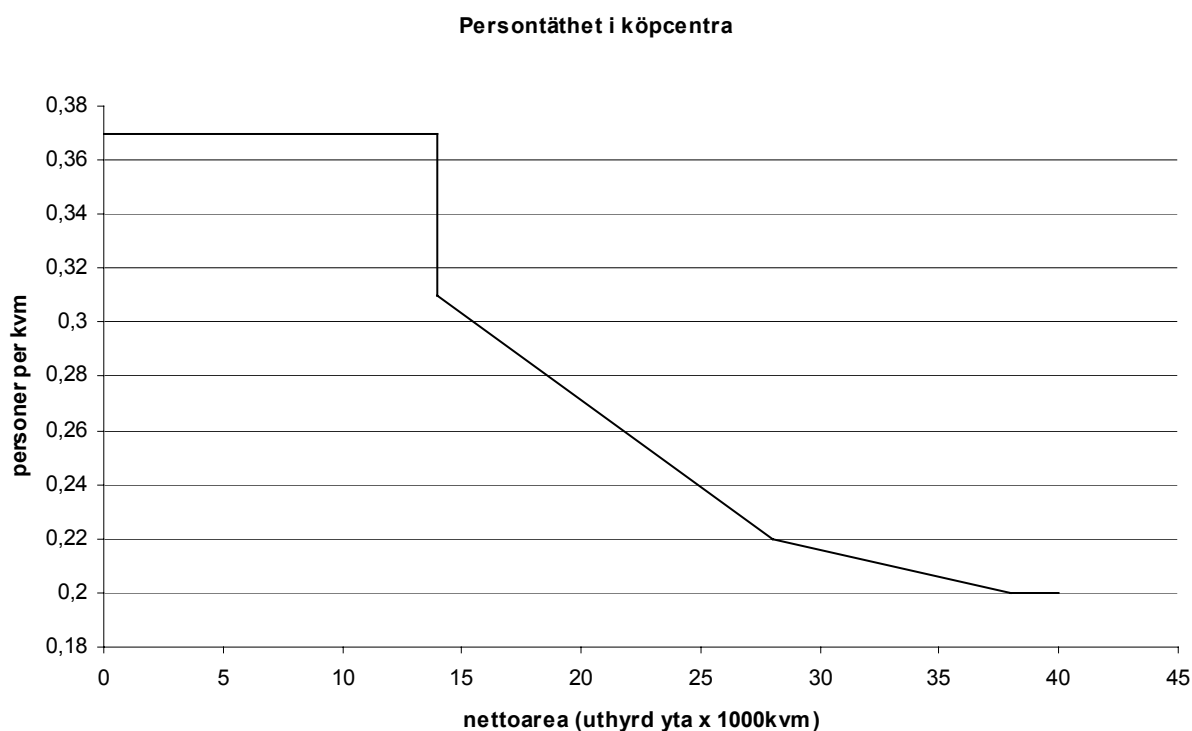
6.2 Persontätheter och personfördelningar

Olika sätt att hitta dimensionerande värden på personantalet med utgångspunkt i verksamhetstyp och golvarea finns. Dessa härrör sig till handel och olika samlingslokaler. I ”Utrymningsdimensionering” /9/ anges förslag till dimensionerande persontätheter vilka visas i tabell 6.1.

Tabell 6.1 Dimensionerande persontätheter för olika lokaltyper /9/.

Byggnadstyp	Personer per m ²
Samlingslokaler såsom teater, samlingssal och liknande – <i>med sittplatser</i>	1,7
Samlingslokaler såsom teater, samlingssal och liknande – <i>för stående och sittande</i>	2,5
Samlingslokaler såsom teater, samlingssal och liknande – <i>glest utan fasta sittplatser</i>	0,7*
Samlingslokaler såsom teater, samlingssal och liknande – <i>väntutrymme</i>	3,5*
Bibliotek	0,2*
Restaurang	1,0*
Varuhus – <i>i allmänhet</i>	0,5
Varuhus – <i>bottenvåning och källare</i>	0,4
Varuhus – <i>övriga våningar</i>	0,2
Kontor	0,1
Konferensrum	0,7*
Överbyggd affärsgata eller liknande	Se figur 6.1

* Nettoarean minskas med area som upptas av inredning



Figur 6.1 Persontäthet i köpcentrum som funktion av uthyrd yta /9/.

För köpcentrum finns också tre undersökningar gjorda på A6 Center i Jönköping, Mariebergs centrum i Örebro samt Väla centrum utanför Helsingborg. Dessa presenteras av Johansson /2/ som ger förslag på lognormalfördelningar som beskriver de respektive persontätheterna. Lognormalfördelningarna redovisas i tabell 6.2.

Tabell 6.2 Personfördelningar i olika köpcentrum /2/.

Köpcentrum	Medelvärde (pers/m ²)	Standardavvikelse (pers/m ²)
A6	0,09	0,03
Marieberg	0,13	0,08
Väla	0,63	1,8

Vidare presenterar Angerd /30/ sannolikhetsfördelningar över persontätheter i konsumbutiker av olika storlekar, dessa redovisas i tabell 6.3. Värdena avser lognormalfördelningar.

Tabell 6.3 Personfördelningar i olika konsumbutiker /30/.

Butiksstorlek (m ²)	Medelvärde (pers/m ²)	Standardavvikelse (pers/m ²)
300	0,09	0,11
600	0,10	0,16
900	0,10	0,15

Dessutom ger Angerd /30/ förslag på en generell fördelning för persontäthet i byggnadskategorin handel, vilken visas i tabell 6.4. Även denna beskrivs som en lognormalfördelning. Här bör beaktas att det kan finnas stora avvikelser inom byggnadskategorin handel. Till grund för denna fördelning ligger studier av personfördelning i butiker och köpcentrum.

Tabell 6.4 Förslag på personfördelning i byggnadskategorin handel /30/.

Byggnadskategori	Medelvärde (pers/m ²)	Standardavvikelse (pers/m ²)
Handel	0,09	0,11

Det finns fall där det förväntade personantalet kan vara lättare att bedöma, exempelvis vårdavdelningar med ett känt antal patienter och personal vid olika tidpunkter på dygnet eller biosalonger och teatrar med känt antal platser.

6.3 Resultat

6.3.1 Allmänt

Vid problem med tolkning av de resultat som presenteras i detta kapitel föreslås en genomläsning av hela kapitel 6. Detta är även viktigt för bedömning av applicerbarheten av resultaten.

6.3.2 Persontätheter och personfördelningar

Då persontätheten i en byggnad ofta varierar och kan vara svår att bedöma i förväg bör vid val av dimensionerande personantal ett konservativt värde väljas som täcker in de flesta personantal som kan tänkas uppstå i lokalen. Om utförlig objektsspecifik information saknas kan dimensionerande personantal väljas ur tabell 6.1.

Om noggrannare information finns att erhålla kan personfördelningar bestämmas utifrån exempelvis förväntade besökarantal vid olika tidpunkter, och på så vis kan personantalet beskrivas med en kontinuerlig sannolikhetsfördelning. Antalet personer i byggnaden tillåts då variera och olika antal ges olika sannolikheter. Sådana undersökningar har gjorts vid olika köpcentrum. Resultaten från dessa är inte att betrakta som allmängiltiga för andra köpcentrum utan får tjäna som exempel. Ett förslag på dimensionerande fördelning över persontätheten i byggnadskategorin handel ges av Angerd /30/. Förslaget bygger på undersökningar av persontätheter i butiker och köpcentrum. Det bör observeras att vissa av undersökningarna visat på betydligt högre persontätheter än vad som föreslås i denna rapport. Föreslagen fördelning bör därför användas med försiktighet, och speciella förutsättningar beaktas. Värdena gäller för lognormalfördelning, se tabell 6.5.

Tabell 6.5 Förslag på personfördelning i byggnadskategorin handel /30/.

Byggnadskategori	Medelvärde (pers/m ²)	Standardavvikelse
Handel	0,09	0,11

För andra kategorier än handel saknas liknande förslag till personfördelningar varför det i dessa fall blir nödvändigt att särskilt undersöka detta.

6.4 Diskussion

Val av dimensionerande persontäthet eller personfördelning bör alltid göras utifrån studier av liknande objekt. För varuhus, affärer och andra liknande objekt finns ett stort underlag för dessa bedömningar. Detta beror till stor del på att butiker och stora köpcentrum ofta själva av kommersiella skäl har ett intresse av att registrera hur många besökare som befinner sig i lokalerna vid en viss tidpunkt. För andra objektstyper kan bedömningen vara svårare att göra och det kan då vara aktuellt att närmare studera de förhållanden som föreligger för att få ett underlag för dessa bedömningar. Vid exempelvis tågstationer och flygplatser eller liknande

finns ofta förväntade antal passagerare att undersöka vilket kan utgöra underlag för en bedömning.

Det är viktigt att det valda värdet på persontätheten eller personfördelningen motsvarar de förhållanden som förväntas i det objekt som studeras. Detta för att undvika att det i objektet uppstår persontätheter som är väsentligt större än de som anges i olika tabeller eller uppskattas genom dessa.

7 Personflöden, gånghastigheter och val av utgång vid utrymning

7.1 Allmänt

För att kunna göra en bedömning, eller alternativt en beräkning, av hur lång tid det tar att utrymma en byggnad krävs att vissa personegenskaper kvantifieras. I detta kapitel studeras personflöden som funktion av fri bredd i utrymningsvägar samt personers gånghastighet till en utrymningsväg. Den tid som åtgår innan personer påbörjar utrymning berörs i kapitel 8. Personflöden för allmänna lokaler tas upp, och dessa ligger sedan till grund för beräkning av den tid som åtgår för att förflytta personer ut ur byggnaden.

Vid beräkning av gångtider krävs också att en bedömning görs av i vilken utsträckning de olika utrymningsvägarna utnyttjas. Denna faktor påverkar de beräknade tiderna i hög grad.

7.2 Personflöden

7.2.1 Flödesberäkningar

Det finns olika källor ur vilka olika personflöden kan hämtas. Nedan beskrivs och jämförs två av dessa källor. De ekvationer som presenteras beräknar personflödet i personer per sekund beroende av bredd i aktuell utrymningsväg. Ekvationerna baseras på diagram i /9/.

Personflöde genom dörröppning där personen har god lokalkännedom:

$$P = \frac{10}{9} D$$

Personflöde genom dörröppning där personen har dålig lokalkännedom:

$$P = \frac{10}{9} D * \frac{2}{3}$$

Personflöde nerför trappa vid hög persontäthet:

$$P = 1,0 D$$

Personflöde uppför trappa vid hög persontäthet:

Vid utrymning uppför trappa är gånghastigheten ungefär 70 % av gånghastigheten vid utrymning nedför trappa. Detta medför att flödet vid utrymning uppför trappa antas vara 70 % av flödet för motsvarande trappa nedåt, det vill säga:

$$P = 0,7 D$$

Vid användandet av dessa ekvationer gäller att:

P = personflöde i antal personer/sekund

D = fri bredd i meter

Med hög persontäthet avses fall då persontätheten framför dörröppningar samt i trappor är drygt 3 personer/m².

Vidare kan studier av andra försök ge något annorlunda resultat. Dessa försök, som presenteras av Köpenhamns Brandväsen /47/ har visat att ett maximalt flöde i trappor uppnås vid persontätheter i utrymningsvägen omkring och strax under 3 personer/m². För utrymning uppför trappa var detta värde något högre. Vid större persontätheter minskar flödet på grund av köbildning och att gånghastigheten minskar när personer får gå väldigt tätt i trappan. Försöken visade på mycket höga flöden (upp till 3,5 personer/(m*s) nerför och 2,5 personer/(m*s) uppför) vilket förklaras med att de som ingick i försöken var soldater i bra fysisk form. De var dessutom väl bekanta med lokalerna och de andra utrymmande.

Även andra aspekter än flöden tas upp i rapporten, och det varnas för höga persontätheter i trappor då detta leder till försämrade flöden, risk för fall, och därmed försämrade utrymningstider. Några utav dessa synpunkter finns redovisade nedan då de i viss mån är en förutsättning för att ekvationerna skall anses gälla.

I ovan nämnd rapport visas ett antal diagram där förslag på dimensionerande flöden ges. De dimensionerande flödena är framtagna genom en sammanvägning av de danska resultaten och tidigare genomförda försök. Dessa diagram kan sammanfattas med följande ekvationer:

Personflöde genom dörröppning där personen har god lokalkännedom:

$$0,75m \leq D < 1m$$

$$P = 3,2 D - 2,2$$

$$1m \leq D < 1,2m$$

$$P = 1,67 D - 0,67$$

$$1,2m \leq D < 2.5m$$

$$P = 1,15 D - 0,05$$

$$2,5m \leq D \leq 3m$$

$$P = 2,34 D - 3,02$$

Personflöde genom dörröppning där personen har dålig lokalkännedom:

$$0,75m \leq D < 0,9m$$

$$P = 2,0 D - 1,3$$

$$0,9m \leq D < 1,2m$$

$$P = 1,11 D - 0,5$$

$$1,2m \leq D < 2.5m$$

$$P = 0,77 D - 0,09$$

$$2,5m \leq D \leq 3m$$

$$P = 1,87 D - 2,84$$

Personflöde nerför trappa vid normal respektive hög persontäthet:

Utrymning via trappor bör dimensioneras så att trappan har minst lika stor och gärna något större kapacitet än anslutande dörrar för att undvika köbildning i trappan som kan innebära att personer lättare ramlar och att proppar uppstår. Flödet i trappan minskar då persontätheten blir större i trappan. Samtliga värden gäller effektiv trappbredd. Följande flöden kan utläsas /47/:

$$P = 1,15 D$$

För att ta hänsyn till att flödena kan minska vid stora persontätheter i trappan bör ett lägre flöde användas när detta blir fallet. Detta bör exempelvis användas vid dimensionering av diskotek och konsertlokaler med ståplatspublik. Även i fall då dörrkapaciteten något överstiger trappkapaciteten kan detta appliceras. Följande värde föreslås därför för dessa fall:

$$P = 0,9 D$$

Det är viktigt att vid beräkningar och simuleringar studera persontätheten i trappor, vid mycket stora tätheter bör utformningen ändras.

Personflöde uppför trappa vid normal respektive hög persontäthet:

Även här observerades problemen med lägre flöden vid höga persontätheter. Följande föreslås vid normal persontäthet:

$$P = 0,6 D$$

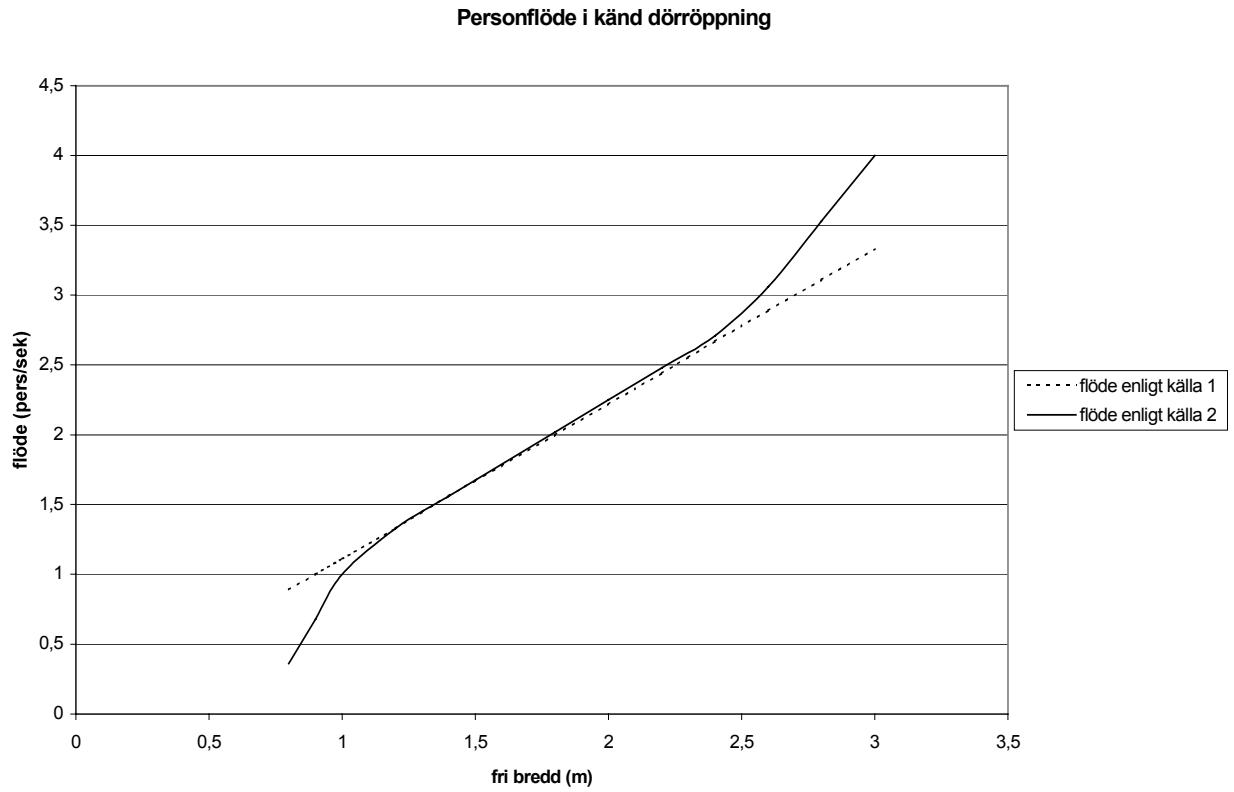
Vid höga persontätheter kan istället följande användas:

$$P = 0,45 D$$

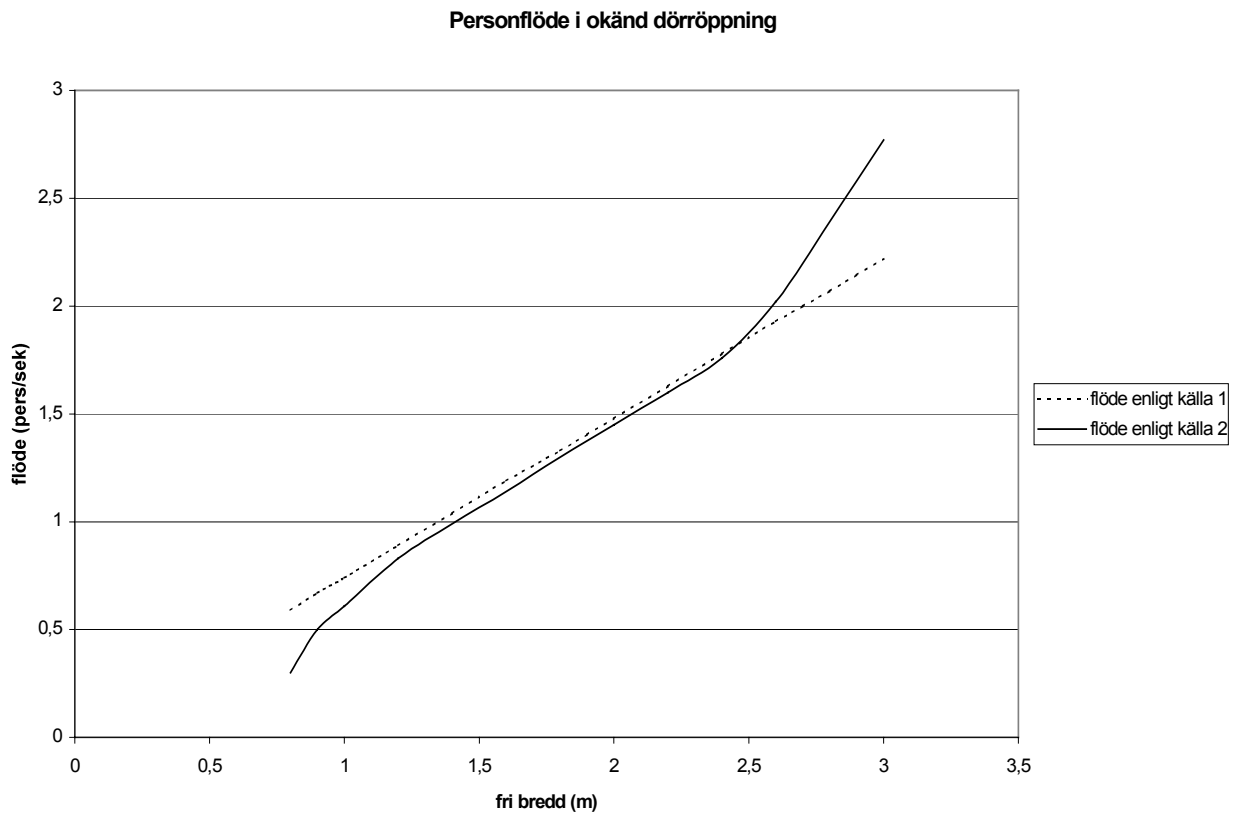
Att tänka på vid utrymning uppför, och nedför, trappa är att flödet sjunker om de utrymmande måste gå flera trappor och blir trötta under utrymningen.

7.2.2 Jämförelser av flöden

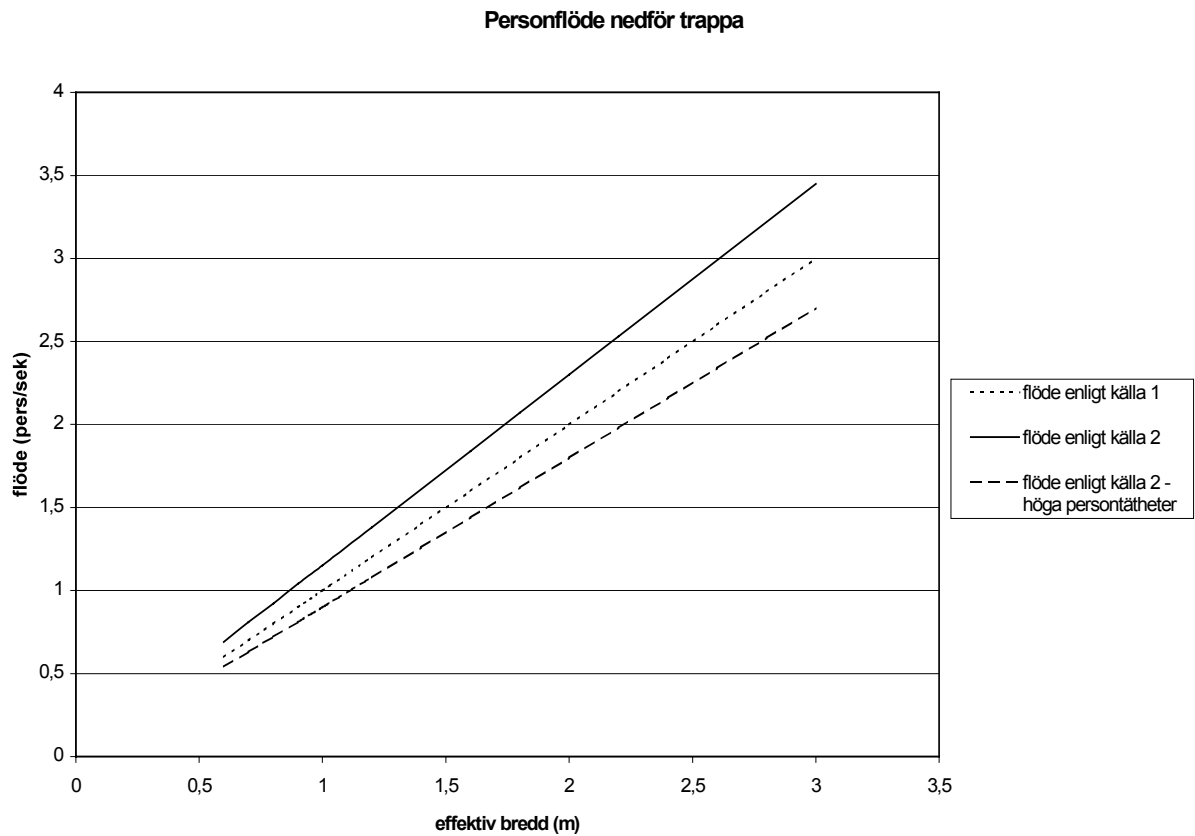
Följande figurer, figur 7.1-7.5, är en jämförelse mellan flöden beräknade enligt Boverkets rekommendationer (i figurerna benämnd som källa 1) /9/ och den danska rapporten (i figurerna benämnd som källa 2) /47/:



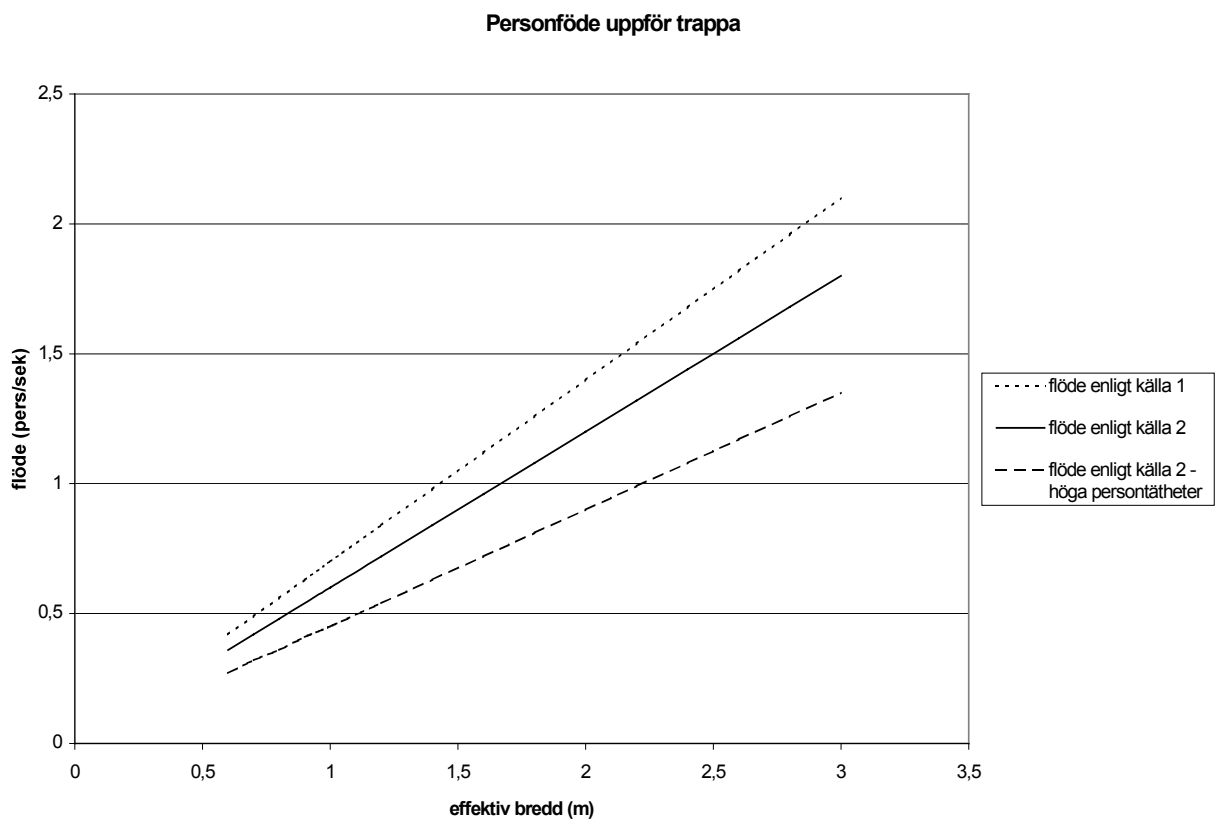
Figur 7.1 Personflöde i känd dörröppning som funktion av fri bredd i dörröppningen.



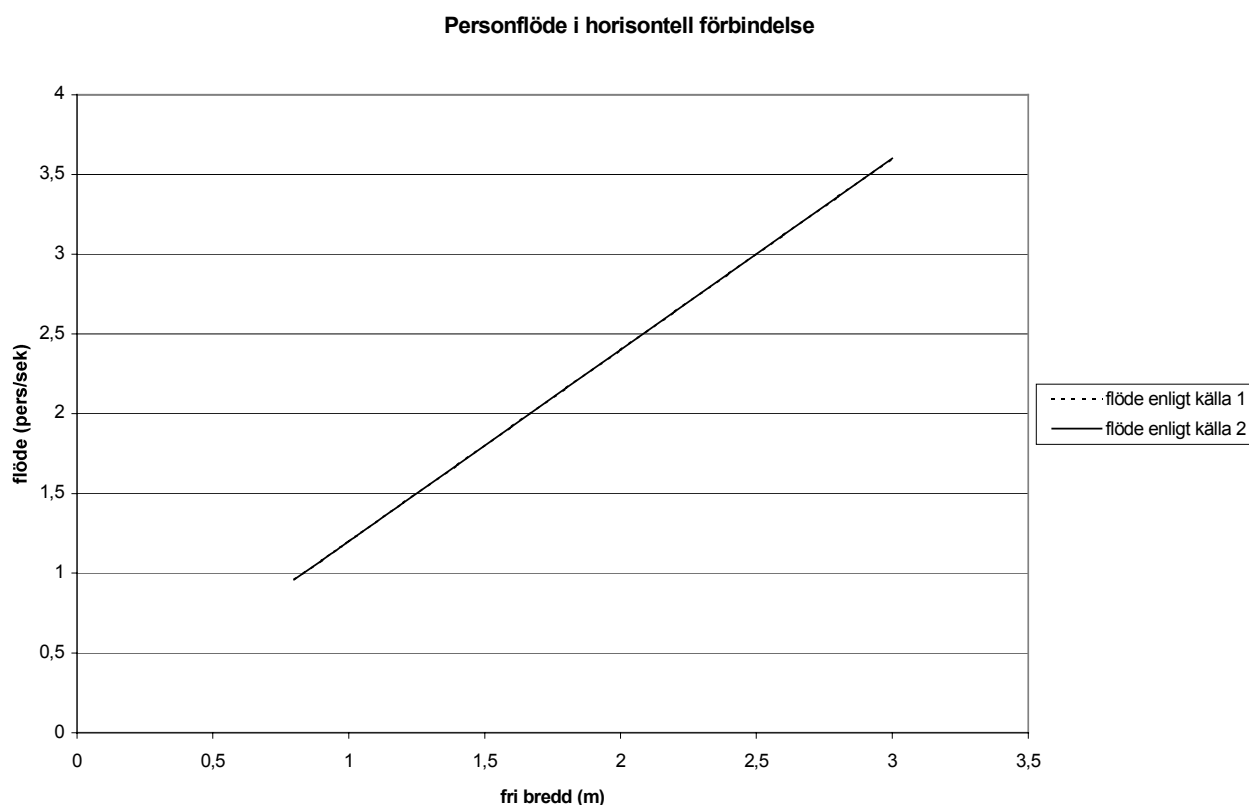
Figur 7.2 Personflöde i okänd dörröppning som funktion av fri bredd i dörröppningen.



Figur 7.3 Personflöde vid utrymning nedåt i trappa som funktion av effektiv bredd i trappan.



Figur 7.4 Personflöde vid utrymning uppåt i trappa som funktion av effektiv bredd i trappan.



Figur 7.5 Personflöde i horisontell förbindelse som funktion av fri bredd.

Som figur 7.5 visar är personflödet i horisontell förbindelse identiskt i de båda källorna.

I figur 7.1-7.5 är källa 1 ”Utrymningsdimensionering” /9/ och källa 2 är ”Brand og brandsikkerhed i forsamlingslokaler – et fælles ansvar” /47/.

7.2.3 Val av dimensionerande flöden

De värden som används som dimensionerande är de som presenteras av Köpenhamns Brandväsen /47/ då insynen i dessa försök bedömts vara störst och resultatet mest tillförlitligt, se tabell 7.1.

Tabell 7.1 Personflöden (pers/s) med avseende på passagebredd och typ av passage.

Bredd (m), (trappa=effektiv bredd)	Känd dörr	Okänd dörr	Trappa ned	Trappa ned, hög täthet	Trappa upp	Trappa upp, hög täthet	Horisontell förbindelse
0,6	-	-	0,69	0,54	0,36	0,27	-
0,7	-	-	0,81	0,63	0,42	0,32	-
0,8	0,36	0,30	0,92	0,72	0,48	0,36	0,96
0,9	0,68	0,50	1,04	0,81	0,54	0,41	1,08
1,0	1,00	0,61	1,15	0,90	0,60	0,45	1,20
1,2	1,33	0,83	1,38	1,08	0,72	0,54	1,44
1,4	1,56	0,99	1,61	1,26	0,84	0,63	1,68
1,6	1,79	1,14	1,84	1,44	0,96	0,72	1,92
1,8	2,02	1,30	2,07	1,62	1,08	0,81	2,16
2,0	2,25	1,45	2,30	1,80	1,20	0,90	2,40
2,2	2,48	1,60	2,53	1,98	1,32	0,99	2,64
2,4	2,71	1,76	2,76	2,16	1,44	1,08	2,88
2,6	3,06	2,02	2,99	2,34	1,56	1,17	3,12
2,8	3,53	2,39	3,22	2,52	1,68	1,26	3,36
3,0	4,00	2,77	3,45	2,70	1,80	1,35	3,60

Vid bredder mellan de i tabellen angivna hänvisas till ekvationer från ”Brand og brandsikkerhed i forsamlingslokaler – et faelles ansvar” /47/ i föregående kapitel. För trappor gäller att det är den effektiva bredden som avses. Avdrag görs med 15 cm från vägg och 9 cm från räcke. För en vanlig trappa med vilplan och vägg på en sida och räcke på en sida skall alltså dras av 24 cm från den verkliga trappbredden innan flödet bestäms. För trappor med väggar på båda sidorna skall 30 cm dras av. Värdena för hög persontäthet används när persontätheten i lokalen är hög och då persontätheten i trappan blir stor, runt 3 personer/m². Typiska användningsområden kan vara diskotek, konsertlokaler och andra lokaler i fall där dörrbredden ger större kapacitet än trappan kan ta hand om. Detta bör dock undvikas för att minimera snubbelrisken. Flödena för dörrar vid de större bredderna skall endast användas om en öppning med aktuell bredd erhålls utan dörrstolpe i mitten. Exempelvis om två 1,2 meters dörrar finns som slås upp så att en 2,4 meters dörröppning erhålls skall flödet för en 2,4 meters dörr användas. Är det däremot en dörrstolpe mellan skall flödet beräknas som två 1,2 meter breda dörrar.

7.3 Gånghastigheter

Gånghastigheten hos utrymmande kan uppskattas till kring 1,3 meter per sekund vid beräkning av utrymningstid. För att ta hänsyn till att vissa förflyttar sig med en lägre hastighet, exempelvis barn och äldre, kan även en hastighet på omkring 1,0 meter per sekund användas för en del av de utrymmande. Vid beräkning av utrymningsförlopp är det sällan gånghastigheten som är dimensionerande, flödet i utrymningsvägarna styr istället resultaten.

7.4 Val av utgång

De utrymmandes val av utgång styr i vilken grad de olika utgångarna belastas. Detta påverkar i sin tur kötiderna vid de olika utgångarna och detta får effekt på de beräknade gångtiderna. Flera försök och undersökningar indikerar att personer vid utrymning föredrar att lämna byggnaden via kända utgångar, exempelvis samma utgång som de använde för att komma in i

byggnaden. Försök visar också att personalen kan hjälpa till att visa de utrymmande mot alternativa utrymningsvägar och på så sätt avlasta de stora huvudentréerna.

En vanlig uppskattning som görs är att cirka 70 % av de utrymmande lämnar byggnaden genom den utgång de använde för att gå in i byggnaden. Sandberg /48/ redovisar försök från varuhus där personalen varit utbildad för att vid larm underlätta utrymning genom att hänvisa till alternativa utrymningsvägar. De utrymmande svarade med motivering enligt tabell 7.3 av sitt val av utgång:

Tabell 7.3 Val av utgång vid försök med evakuering av varuhus /48/.

Anledning till valet	Andel, Marks & Spencer i Sprucefield	Andel, Marks & Spencer i Belfast
Samma väg som användes för att komma in	10 %	18 %
Utgången var känd	3 %	12 %
Närmaste utgång	60 %	30 %
Visades av personal	26 %	31 %
Visades av annan	1 %	9 %

Vidare har försök utförda av Frantzich /20/ visat liknande resultat. Vid utrymning av tre Ikea-varuhus där personalen var utbildad för att underlätta utrymning gav de utrymmande motivering enligt tabell 7.4 till sitt val av utgång. De utrymmande fick ange flera skäl.

Tabell 7.4 Motiv för val av utgång vid utrymningsförsök av Ikea-varuhus /20/.

Motiv	Andel i %		
	Örebro	Västerås	Älmhult
Det var den väg jag annars skulle gå	11	16	6
Mot den närmaste vägen ut	29	50	40
Dit alla andra gick	7	0	8
Dit personalen sa åt mig att gå	47	47	49
Dit utgångsskyltarna pekade	13	9	31
Jag visste att där fanns en utgång	13	9	8
Annat	5	0	0

Sime /49/ presenterar också material som visar på igenkännandets betydelse för val av utgång baserat på försök genomförda på ett varuhus i Manchester. I dessa försök använde besökarna till drygt 90 % kända trappor och rulltrappor som användes normalt av besökare. Personalen använde i mycket högre utsträckning, nästan 70 %, de alternativa utrymningsvägarna då dessa användes normalt av personal för ut- och inpassering i varuhuset.

7.5 Resultat

7.5.1 Allmänt

Vid problem med tolkning av de resultat som presenteras i detta kapitel föreslås en genomläsning av hela kapitel 7. Detta är även viktigt för bedömning av applicerbarheten av resultaten.

7.5.2 Personflöden

Personflöden i utrymningsvägar bedöms utifrån försök presenterade i ”Brand og brandsikkerhed i forsamlingslokaler – et faelles ansvar” /47/ och beskrivs i form av ett personflöde i personer/sekund som funktion av bredden i utrymningsvägen. Se tabell 7.1. De ekvationer som ligger till grund för tabell 7.1 presenteras i kapitel 7.2.1.

7.5.3 Gånghastigheter

Gånghastigheten hos utrymmande uppskattas till kring 1,3 meter per sekund. Vissa förflyttar sig med en lägre hastighet, exempelvis barn och äldre, och således kan även en hastighet på omkring 1,0 meter per sekund användas för en del av de utrymmande.

7.5.4 Val av utgång

Val av utgång hos de utrymmande är mer komplicerad att bedöma, och analysen visar att det är viktigt att ta hänsyn till speciella förhållanden hos olika objekt då denna parameter kan variera mycket. Generellt sett väljer de flesta att lämna byggnaden genom kända utgångar, detta kan dock påverka i stor omfattning genom att leda personer mot alternativa utrymningsvägar och åstadkomma en jämnare belastning av utgångarna. En bedömning att cirka 70 % av de utrymmande utrymmer via kända utgångar som normalt används för in- och utpassering görs ofta. Försök har dock visat att det går att få fler att använda alternativa utrymningsvägar om de hänvisas av personal och i byggnader där det kan förväntas finnas en fungerande organisation som underlättar utrymningen är det inte orimligt att anta att 50-60 % använder närmaste utgång eller annan alternativ utrymningsväg till vilken personal hänvisat.

7.6 Diskussion

De ekvationer som presenteras för beräkning av flöden i utrymningsvägar uppvisar inga större skillnader, delvis beroende på att de i ”Brand og brandsikkerhed i forsamlingslokaler – et faelles ansvar” /47/ utgör en sammanvägning av olika resultat, bland annat de som presenteras i ”Utrymningsdimensionering” /9/. Med anledning av detta bedöms dessa ekvationer kunna användas som dimensionerande vid beräkningar. Det förekommer naturligtvis osäkerheter och naturliga variationer i personflöden till följd av skillnader i egenskaper hos de personer som skall utrymma. Bedömningen är dock att vid framtagande av föreslagna ekvationer för personflöden har hänsyn tagits till dessa variationer genom att olika försökspersoner använts och säkerhetsmarginaler använts i de fall försökspersoner bedömts vara i för god fysisk form för att representera allmänheten. Värdena anses gälla som goda uppskattningar på medelvärdena av dessa parametrar. Variationer i personflöden skulle kunna användas i exempelvis utrymningsmodeller för att beräkna spridning i utrymningstider vid olika personantal, dock förutsätter detta att information finns för att bedöma dessa variationer. De beräkningar och simuleringar som följer om hänsyn tas till dessa variationer är betydligt mer omfattande än om förenklingen görs att personflödena bestäms med fixa värden.

Det är emellertid viktigt att påpeka att de specifika förhållandena i en byggnad kan vara sådana att ekvationerna inte bör användas. Gånghastigheter och flöden ändras väsentligt för personer som inte kan utrymma själva utan behöver hjälp av vårdare eller dylikt. Utrymning av funktionshindrade omfattas ej heller av de försök som ligger till grund för de framtagna ekvationerna.

Vidare är en viktig faktor vid beräkning av gångtider de utrymmandes val av olika utrymningsvägar. Vid utrymningsförsök har observerats att merparten utrymmer samma väg som de kom in i byggnaden. Detta förhållande kan dock påverkas genom att personal hänvisar

till och öppnar övriga utgångar avsedda för utrymning. På så sätt kan fler personer ledas mot alternativa utrymningsvägar och avlasta de stora huvudentréerna som annars i huvudsak används av de utrymmande. Bedömningar av hur personer fördelar sig mot olika utgångar innehåller stora osäkerheter då variationer i underlag för dessa bedömningar förekommer. Detta beror i hög grad på hur de alternativa utrymningsvägarna är placerade. Om de utrymmande kan se var de leder, exempelvis om det framgår att utrymningsvägen leder direkt till det fria, är den sannolikt mer attraktiv för utrymmande än utrymningsvägar genom långa korridorer och över lager.

8 Varseblivnings- samt reaktions- och beslutstid

8.1 Allmänt

Tiden som åtgår från brands uppkomst tills dessa att utrymning påbörjas brukar delas in i olika faser, se kapitel 2.2.3 för närmare beskrivning. I detta kapitel görs ett försök att genom studier av statistik och undersökningar på området samt beräkningar ge ett underlag för bedömning utav dessa tider.

Tiden innan utrymning påbörjas benämns varseblivningstid samt reaktions- och beslutstid. Begreppet ”premovement time” förekommer också och motsvarar hela den tid som åtgår från brandstart till påbörjad utrymning.

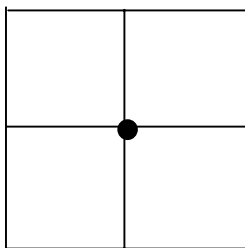
8.2 Tid till detektion

8.2.1 Allmänt

Normalt sett beräknas tid till detektion med uppskattningar eller med hjälp av beräkningsprogram där branden placeras på den minst gynnsamma platsen i förhållande till detektorer. Här presenteras ett annat sätt att beräkna tid till detektion utifrån teorin att sannolikheten är lika stor för brands uppkomst oavsett placering i förhållande till närmaste detektor. Tid till detektion är dock inte alltid samma som varseblivningstiden. Brandlarmet fungerar exempelvis inte alltid, det kan vara fördröjt genom larmlagring och även då det fungerar kan det behövas ytterligare information för att personer i byggnaden skall anses ha varseblivit att en brand utbrutit.

8.2.2 Beräkning av avståndsfördelning

En sannolikhetsfördelning över brands avstånd till detektor erhålls på följande sätt (för ett system med detektorer som täcker 100 m^2 var).

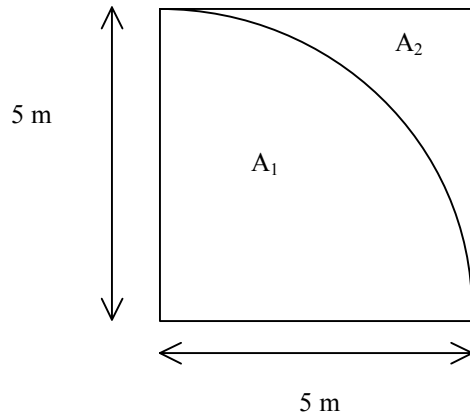


Figur 8.1 Förklaring av modell för beräkning av avståndsfördelning.

Varje ruta är 5×5 meter, se figur 8.1. Symmetrin gör att endast en ruta behöver studeras. Branden bedöms kunna uppstå med samma sannolikhet i varje punkt i rutan. Detta innebär att ju fler punkter som befinner sig på samma avstånd från detektorn, desto större är sannolikheten för att branden uppstår på detta avstånd från detektorn. Det är enkelt att inse att sannolikheten stiger upp till 5 m , för att sedan avta och vara noll vid $5\sqrt{2} \text{ m}$. Detta då sannolikheten för att branden uppstår på ett visst avstånd d från detektorn är linjärt beroende av antalet punkter som befinner sig på det avståndet från detektorn. I området $0 \leq d \leq 5$ meter är detta detsamma som att sannolikheten för att branden placeras sig på avståndet d är linjärt beroende av längden på den cirkelsektor som har radien d . Detta då cirkelsektorns längd kan beskrivas med ekvationen:

$$\text{Längden} = 2 \cdot d \cdot (90/360) \cdot \pi$$

Från detta dras slutsatsen att sannolikhetsfördelningen växer linjärt från 0 till 5 m, för att sedan avta mellan 5 m och $5\sqrt{2}$ där sannolikheten åter är 0, detta åskådliggörs i figur 8.2. Hur denna avtagande funktion ser ut återstår att ta reda på.



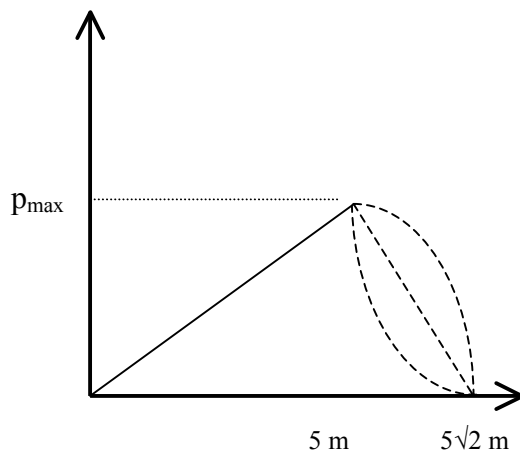
Figur 8.2 Täckyta för detektor.

Ur figuren kan utläsas att:

$$\frac{A_1}{A_{tot}} = \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot \frac{90}{360}}{5 \cdot 5} = 0,7854$$

$$\frac{A_2}{A_{tot}} = 1 - \frac{A_1}{A_{tot}} = 0,2146$$

Detta innebär att sannolikheten att branden uppstår inom en 5-metersradie från detektorn är 0,7854, och att den uppstår i intervallet utanför får sannolikheten 0,2146. Detta används för att skissa upp sannolikhetsfördelningen för avståndet till detektorn, se figur 8.3.



Figur 8.3 Skiss över tänkbara utseenden för sannolikhetsfördelningen.

Osäkerheten kring hur den avtagande funktionen ser ut löses på följande sätt:

Då sannolikheten för att branden hamnar i området $0 \leq d \leq 5$ meter är 0,7854 enligt tidigare beräkningar ger detta även att integralen av funktionen ovan i området $0 \leq d \leq 5$ är 0,2146. Denna löses enkelt då det är en linjär funktion och ger att p_{\max} i figuren kan lösas ut:

$$\frac{5 * p_{\max}}{2} = 0,7854 \Rightarrow p_{\max} = 0,31416$$

Denna information innebär också att integralen för uttrycket i intervallet $5 < d \leq 5\sqrt{2}$ har resultatet 0,2146, det vill säga sannolikheten att branden uppstår i detta intervall är 0,2146, vilket visades i beräkningar ovan. Ett antagande om att funktionen är linjärt avtagande i detta område ger följande resultat:

$$\frac{5\sqrt{2} - 5 * 0,31416}{2} = 0,3253$$

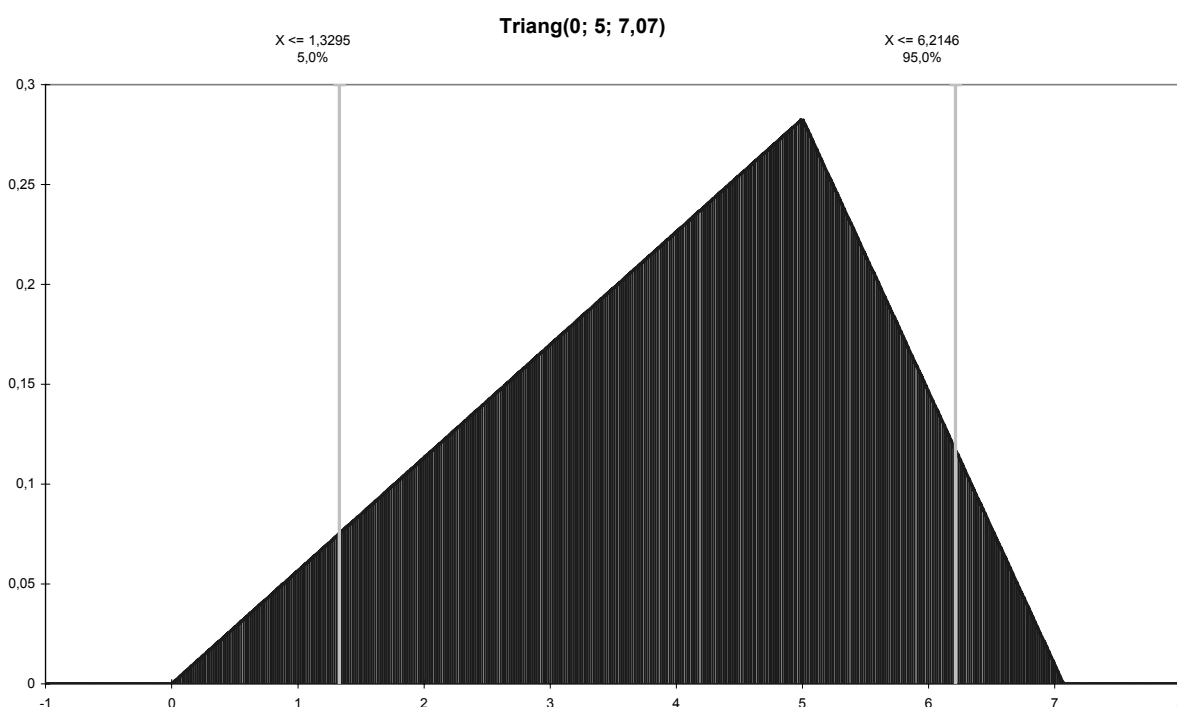
Detta ger alltså ett något för högt resultat, vilket tyder på att sambandet snarare ser ut som den nedersta utav de streckade linjerna i figur 8.3. Sambandet kan lösas ut genom att nedanstående differentialekvation löses:

$$f(5\sqrt{2}) = 0$$

$$f(5) = 0,31416$$

$$\int_5^{5\sqrt{2}} f(x) dx = 0,2146$$

Ur detta kan exponenten med vilken funktionen avtar lösas ut. Dock försvårar detta användandet av Monte Carlo-simuleringar där standardiserade fördelningar används. En triangelfördelning bedöms bäst motsvara avståndsfördelningen. Vid triangelfördelningar finns ett minsta värde parametern kan anta, ett mest sannolikt värde, och ett maximalt värde. Dessa har tidigare bestämts till 0, 5 och $5\sqrt{2}$ m. Triangelfördelningen visas i figur 8.4. och beskrivs i tabell 8.1.



Figur 8.4 Triangelfördelning för horisontellt avstånd mellan brand och detektor.

Tabell 8.1 Triangelfördelning för horisontellt avstånd mellan brand och detektor.

Parameter	Erhållen fördelning
Horisontellt avstånd från brand till detektor	Triang (0 ; 5 ; $5\sqrt{2}$)

8.2.3 Beräkning av detektionstid

För att koppla den framtagna avståndsfordelningen till en sannolikhetsfordelning över tid till detektion utförs en regressionsanalys av resultat från programmet DETACT-T2 /50/ som använder följande indata: α , avstånd till detektor och takhöjd. Ett regressionsuttryck tas fram med följande ansats:

$$t_d = k * \alpha^a * H^b * d^c;$$

α = Brandens tillväxthastighet, beskrivs med framtagna fördelning

H = Takhöjd, fixt värde som är objektsspecifik

d = Horisontellt avstånd från branden, beskrivs med framtagna triangelfördelning

k, a, b, c = Regressionkonstanter

I simuleringarna används sex olika värden på α och H samt åtta olika värden på d vilket innebär att ungefär 300 simuleringar genomförs. Vid beräkningarna antas detektion ske då temperaturen vid detektorn stigit 10°C från omgivningens temperatur. Det kan tyckas vara konstigt att approximera detektionstiden för en rökdetektor med en temperaturhöjning, och detektionstiden kommer att variera beroende på sotproduktionen hos det material som brinner. För en brand i material med rökpotentialen 300 m²/kg har dock beräkningar visat att en temperaturhöjning av 10°C motsvarar nödvändig siktnedsättning för att en rökdetektor skall kunna utlösa /51/. Vidare antas ofta en temperaturökning av 10°C som kriterium för detektion då brandgaser vid denna temperatur kan antas stiga mot taket och detektorerna. Det finns en

del osäkerheter i denna approximation, exempelvis ger bränder i olika bränslen olika detektionstider, och olika detektorer kan ha olika inställningar vad gäller tröghet vid detektion.

Ovan nämnda ansats blir felaktig då det horisontella avståndet närmar sig noll eftersom uttrycket då går mot noll, vilket inte överensstämmer med vare sig det verkliga fallet eller beräknade resultat från DETACT-T2. Därför används en annan ansats för området $0m < d < 1m$:

$$t_d = k_2 + a_2\alpha + b_2H + c_2d$$

Regressionen för området $0m < d < 1m$ utförs således som en linjär regression, medan regressionen för området $1m \leq d$ utförs med linjär regression av variablernas logaritmerade värden. Regression av logaritmerade värden har den fördelen att det är lättare att anpassa ett uttryck till befintlig indata med god överensstämmelse med denna metod. Överensstämmelsen blir således sämre när vanlig linjär regression genomförs för området $0m < d < 1m$, dock krävs denna indelning för att ansatsen skall kunna ta hänsyn till detektionstider då branden uppstår nära eller rakt under detektorn.

Resultat från regression

Resultatet från regressionsanalysen presenteras i form av två regressionsuttryck med vilka tid till detektion kan approximeras. De båda uttrycken används i olika intervall för det horisontella avståndet till detektor.

$$t_d = 17,346 + 14,6d + 11,367H - 0,284\alpha; 0m < d < 1m; R = 0,773$$

$$t_d = 84,756\alpha^{-0,34435} * H^{0,463708} * d^{0,474794}; 1m \leq d; R = 0,99$$

R = Mått på regressionens överensstämmelse med materialet

Ekvationerna gäller för ett detektionssystem där detektorer har en täckyta av 100 m^2 . De värden på de olika parametrarna som använts i simuleringarna redovisas i tabell 8.2.

Tabell 8.2 Värden på de olika parametrarna som används i simuleringarna.

α (W/s^2)	H (m)	d (m)
3	2,4	0
12	3,0	1
25	3,6	2
47	4,2	3
100	4,8	4
190	5,4	5
-	-	6
-	-	7

Ekvationerna bör inte extrapoleras utanför dessa intervall. För resultat från simuleringar, se bilaga B.

Överensstämmelsen i området $0m < d < 1m$ är betydligt sämre än i intervallet $1m \leq d$. Dock är detektionstiderna i detta område korta, varför en stor procentuell avvikelse inte innebär stora avvikelser på detektionstiden i reella tal. Dessutom motsvarar detta område en liten del

(omkring 3 % enligt framtagen avståndsfördelning) av de brandfall som detektorn täcker, varför detta inte bedöms ha någon större effekt på resultatet från riskanalysen.

T_d ingår sedan liksom tid till kritiska förhållanden i uttrycket för säkerhetsmarginalen. α ingår då både i fördelningen över tid till skadliga förhållanden (framtaget via datorprogram) och i fördelningen över varseblivningstiden, vilket innebär att en snabb brandtillväxt också ger att utrymning påbörjas tidigare.

8.3 Varseblivningstid

I de fall då detektionssystemet fungerar och ett utrymningslarm finns kopplat till detta kan varseblivningstiden antas överensstämma med den framräknade detektionstiden enligt kapitel 8.2. I ”Utrymningsdimensionering” /9/ anges varseblivningstid för olika verksamheter beroende på förekomst av automatiskt brandlarm. Dessa bygger på så kallade delphiundersökningar, det vill säga experter på området har fått ange värden på dessa och resultaten har sammanvägts. Här tas dock ingen uttrycklig hänsyn till takhöjden, och brandens tillväxthastighet inverkar inte heller på resultatet. Vid bedömning av varseblivningstid för de fall då utrymningslarmet ej fungerat kan dock tabell 8.3 användas för en första bedömning.

Tabell 8.3 Varseblivningstid för olika lokaltyper /9/.

Lokaltyp	Varseblivning (min)	
	Automatiskt brandlarm	
	Nej	Ja
Varuhus	3	1,5
Restaurang	2,5	1,5
Danslokal	5	2
Biograf	5	-
Vårdlokal	-	2
Hotell	-	2

Dessa tider kan dock uppfattas som något långa, och beroende på lokalens geometri och brandförloppsberäkningar kan andra uppskattningar göras av vid vilken tidpunkt personer i byggnaden kan antas ha varseblivit branden. Angerd /30/ använder för butiker med olika golvareor där larm ej aktiverats följande tider:

- För en butik med golvarea 300 m² antas att varseblivningstiden kan beskrivas med fördelningen lognormal (60,15) sekunder, det vill säga en lognormalfördelning med väntevärdet 60 sekunder och standardavvikelse 15 sekunder.
- För en butik med golvarea 600 m² antas att varseblivningstiden kan beskrivas med fördelningen lognormal (90,30) sekunder, det vill säga en lognormalfördelning med väntevärdet 90 sekunder och standardavvikelse 30 sekunder.
- För en butik med golvarea 900 m² antas att varseblivningstiden kan beskrivas med fördelningen lognormal (120,45) sekunder, det vill säga en lognormalfördelning med väntevärdet 120 sekunder och standardavvikelse 45 sekunder.

Ovanstående finns sammanställt i tabell 8.4.

Tabell 8.4 Varseblivningstid vid ej larm framtaget för butiker med olika golvareor.

Golvarea (m ²)	Varseblivningstid, ej larm (s)
300	Lognormal (60 ; 15)
600	Lognormal (90 ; 30)
900	Lognormal (120 ; 45)

Dessa fördelningar bygger i hög grad på antaganden och är framtagna för en specifik genomförd analys. De föregås dock av en studie av andra underlag.

8.4 Reaktions- och beslutstid

8.4.1 Allmänt

Tiden för reaktion och beslut är den faktor i utrymningsförloppet som är svårast att uppskatta. Stora variationer kan uppkomma beroende på egenskaper hos de personer som skall utrymma, agerande hos personal och andra auktoriteter i lokalen, visuell kontakt med branden etc. I denna fas är det viktigt med information om vad som förväntas av dem som vistas i lokalen. Ett informativt utrymningslarm tillsammans med välutbildad personal minskar således denna tid då personer i byggnaden ej själva behöver undersöka situationen och på så sätt erhålla tillräcklig information för att påbörja utrymning.

Olika källor finns för bedömning av detta. Gemensamt för många utav dessa är att de är generella och i vissa fall kan uppfattas som konservativa i överkant. Det underlag som finns bygger till stor del på olika expertbedömningar (så kallade delphiundersökningar). Detta är oundvikligt då omfattande statistik från inträffade bränder saknas och försök som genomförs av naturliga skäl inte kan göras för verklighetstroga.

Det är dock även möjligt att studera olika försök som gjorts och utifrån detta dra slutsatser om vilka tider som bör användas. Det är då viktigt att studera förutsättningarna för försöken i form av insats från personalen, persontäthet, utförande av utrymningslarm, de utrymmandes grad av bekantskap med lokalen etc. Dessa försök är inte utförda för att tider skall hämtas och utan eftertanke appliceras på andra objekt, utan en djupare studie av flera olika försök bör göras innan beslut fattas.

Reaktionstiden betraktas ofta som gemensam för samtliga utrymmande. I själva verket finns en spridning mellan olika personer i lokalen där vissa påbörjar utrymning i ett mycket tidigt skede medan andra reagerar först senare.

8.4.2 Generella metoder

I kapitel 8.3 presenteras en tabell för bedömning av varseblivningstid baserad på en delphiundersökning. I samma rapport, "Utrymningsdimensionering" /9/, anges även reaktions- och beslutstider baserat på samma delphiundersökning, se tabell 8.5.

Tabell 8.5 Tid för reaktion och beslut /9/.

Lokaltyp	Reaktion och beslut (min)			
	Utrymningslarm			
	Nej	Larmklocka	Talat meddelande	Personal
Varuhus	5	3	2	2
Restaurang	3	2,5	2	2
Danslokal	5	4	3	3
Teater	5	4	3	3
Biograf	5	4	2	2
Vårdlokal	3	2	2	1
Hotell	4	4	3	3

Även här anges tider som kan uppfattas som långa, och bedömningarna är väldigt generella.

8.4.3 Resultat från olika försök och studier

Vidare ger Sandberg /48/ ett förslag där tiden innan utrymning påbörjas beskrivs med en lognormalfördelning med medelvärde 32 sekunder och standardavvikelse 15 sekunder. Detta ger avsevärt snabbare utrymningstider än vid användandet av värden i ”Utrymningsdimensionering” /9/. Att tänka på här är att fördelningen är framtagen med hjälp av försök på varuhus i Nordirland och Wales. Personalen var här tränad till att underlätta utrymningen. Den framtagna tiden gäller från det att larm aktiverats.

Frantzich /20/ anger även olika tider för reaktion och beslut baserat dels på utrymningsförsök av tre Ikea-varuhus och ett antal biografier, dels på ytterligare en delphiundersökning där olika experter i omgångar fått uppskatta reaktions- och beslutstider för objektstyperna varuhus, nattklubb och sjukhus.

För Ikeaförsöken konstateras att personalen är väl utbildad i brandskyddsfrågor och således påverkade detta utrymningsförloppet. Samtliga varuhus är utrustade med både automatiskt brandlarm och ett utrymningslarm i form av ett talat meddelande. Reaktionstider presenteras uppdelat i olika delar, se tabell 8.6.

Tabell 8.6 Tid för reaktion och beslut vid utrymningsförsök på olika Ikea-varuhus /20/.

Plats	Örebro	Västerås	Älmhult
Varuhusdelen	30 s (19-54 s)	27 s (9-46 s)	26 s (15-50 s)
Restaurang	50 s (35-73 s)	51 s (40-67 s)	62* s (45-100 s)
Kassan*	50 s (51-57 s)	31 s (27-38 s)	83 s (35-130 s)

*Baseras på ett fåtal observationer

Angerd /30/ använder reaktions- och beslutstider där hänsyn tas till golvarean på den studerade lokalen. De föreslagna fördelningarna är även här lognormalfördelningar och används för butiker med golvareor enligt tabell 8.7.

Tabell 8.7 Fördelningar för tid för reaktion och beslut /30/.

Golvarea (m ²)	Typ av larm	Reaktions- och beslutstid (s)
300	Talat meddelande	Lognormal (45 ; 45)
600	Talat meddelande	Lognormal (60 ; 60)
900	Talat meddelande	Lognormal (90 ; 60)
600	Larmklocka	Lognormal (150 ; 60)
600	Larmklocka och utbildad personal	Lognormal (60 ; 30)

Dessa fördelningar bygger i hög grad på antaganden och är framtagna för en specifik genomförd analys. De föregås dock av en studie av andra underlag.

8.4.4 Specificerad delphiundersökning

Den delphiundersökning som presenteras i ”Tid för utrymning vid brand” /20/ ger förslag på tider för reaktion och beslut för de olika verksamheter som beskrivs nedan. Bedömningarna har gjorts baserat på väl definierade objekt, och motsvarar således inte generella bedömningar för hela verksamhetstyper. De objekt som bedömningarna gäller presenteras kortfattat nedan, för en utförligare presentation hänvisas till ”Tid för utrymning vid brand” /20/. Presentationen görs för att en bedömning av applicerbarhet av de resultat som presenteras skall kunna göras.

Varuhus

Varuhuset är i ett plan med cirka 4 m takhöjd. Lokalen är så stor att man inte kan se tvärs över den. Inte heller är det möjligt att se ytterväggarna om man står mitt i lokalen. Lokalen kan antas vara 80x60 m². Lokalen har inga innerväggar, men varuhyllor skymmer sikten. Varuhyllorna är drygt 2 m höga, vilket innebär att det inte går att se över dem. Det upplevs som att det finns många kunder där, cirka 500. Exempel på denna typ av varuhus är Robin Hood, Obs! och B&W.

Det är glest med personal, kunder förutsätts fatta beslut om utrymning själva. Två grupper av kunder finns i lokalen, de som kan se branden och de som inte kan den. Kunderna har varit i butiken förut, men kan inte förutsättas känna till alla utrymningsvägar.

Vidare presenteras olika fall för utformning av utrymningslarm. Dels görs bedömningar när larmet är utformat med ringklocka, dels då det är utfört som ett enkelt talat meddelande som anger tekniskt fel som skäl till utrymning. Slutligen görs även en bedömning för ett fall med ett mer informativt talat meddelande som varnar för brand.

En brand som växer kontinuerligt förutsätts, vilket innebär att personer som inte ser branden förr eller senare kommer att komma i kontakt med rök. Bedömningar görs för det fall då ett utrymningslarm startar samt när larmet inte fungerar. Dessutom bedöms tider för personer som är i brandens direkta närhet och som kan förväntas inleda utrymning innan utrymningslarmet startar.

Nattklubb

Lokalen är i ett plan men har flera rum. Bedömning görs för en person som befinner sig i ett annat rum än det där branden startar. Lokalen är 400 m² i yta och har en takhöjd på 4-5 m. Det är gott om personal i lokalen, men utbildningsnivån är skiftande. Flertalet har ingen träning av utrymning av ett större antal personer. Det är totalt 500 personer i lokalen, och alkoholkonsumtionen är omfattande. DJ:n har i uppgift att i händelse av upptäckt brand:

- stänga av musiken
- tända ljuset
- läsa ett meddelande i högtalarsystemet för att varna för brand och uppmana till utrymning via utrymningsvägar

Ett annat alternativ är att DJ:n sätter på en CD med det talade meddelandet istället för att själv läsa det. Dessutom görs bedömningen för det fall då ett utrymningslarm finns som aktiveras manuellt och utgörs av en ringklocka. Då utrymningen är beroende av personalens agerande görs även bedömningar av hur lång tid det tar för personalen att reagera och börja agera.

Sjukhus

Reaktions- och beslutstiden bedöms för personal på en vårdavdelning. Två olika geometrier studeras, en där vårdavdelningen är utformad med en korridor med utgångar i vardera ände och en där avdelningen består av två parallella korridorer med utgångar i alla ändar, totalt fyra stycken. Den tid som bedöms är från det att larm startar alternativt att personalen upptäcker branden. Båda avdelningarna har cirka 20 patienter. På natten jobbar 2 sköterskor på avdelningen, på morgonen 8 och på eftermiddagen 4. Avdelningarna är försedda med rökdetektorer i samtliga vårdrum samt värmedetektorer i korridorer och förrådsrum. Detektorerna är kopplade till en ringsignal på avdelningen. Alternativt görs också en bedömning utifrån en mer informativ signal som dessutom anger från vilket rum larmet utlösts. Denna information visas i ett textfönster i korridoren. Vidare uppskattas också sannolikheten för att personalen upptäcker branden före det automatiska brandlarmet.

Sammanställningen över de parametrar som bedöms ser ut på följande sätt, se tabell 8.8 - 8.12.

Tabell 8.8 Studerade fall för reaktions- och beslutstid för varuhuset.

Variabelnummer	Typ av larm	Person kan se branden
1a	Inget larm	Ja
1b	Ringklocka	Ja
1c	Enkelt meddelande	Ja
1d	Informativt meddelande	Ja
2a	Inget larm	Nej
2b	Ringklocka	Nej
2c	Enkelt meddelande	Nej
2d	Informativt meddelande	Nej

Tabell 8.9 Studerade fall för start av utrymning av varuhus.

Inleds utrymning innan larmet startar?	
Variabelnummer	Person kan se branden
3	Ja
4	Nej

Tabell 8.10 Studerade fall för reaktions- och beslutstid för nattklubb.

Variabelnummer	Typ av larm	Person som avses
5a	Manuell ringklocka	Personal
5b	Manuell ringklocka	Gäst
5c	DJ:s meddelande	Personal
5d	DJ:s meddelande	Gäst
5e	Förinspelat meddelande	Personal
5f	Förinspelat meddelande	Gäst

Tabell 8.11 Studerade fall för reaktions- och beslutstid för sjukhusavdelningen.

Variabelnummer	Typ av larm	Typ av avdelning
6a	Ringklocka	En korridor
6b	Ljudsignal och textmeddelande	En korridor
6c	Ringklocka	Dubbla korridorer
6d	Ljudsignal och textmeddelande	Dubbla korridorer

Tabell 8.12 Studerade fall för brandens upptäckt på sjukhus.

När upptäcks en brand (före, samtidigt eller efter ett automatiskt brandlarm)?		
Variabelnummer	Personalstyrka	Typ av avdelning
7a	2	En korridor
7b	4	En korridor
7c	8	En korridor
8a	2	Dubbla korridorer
8b	4	Dubbla korridorer
8c	8	Dubbla korridorer

Resultat

Resultat från expertbedömningarna sammanfattas i tabeller nedan. Bedömningarna gjordes i olika grupper och i flera omgångar där grupperna fick ta del av de andras bedömningar för att sedan eventuellt omvärdera sina egna bedömningar. Resultaten presenteras med medelvärden och olika mått på spridningen i svaren, se tabell 8.13-8.15.

Tabell 8.13 Resultat från undersökningen av tid för reaktion och beslut för olika objektstyper.

Variabel	Medelvärde	Standardavvikelse	25 %	Median	75 %	Min	Max
1a	1:30	0:40	1:00	1:15	2:00	0:45	3:30
1b	1:21	0:28	1:00	1:10	1:30	0:45	2:30
1c	1:04	0:26	0:45	1:00	1:15	0:30	2:00
1d	0:46	0:14	0:30	0:45	1:00	0:30	1:10
2a	3:59	1:10	3:00	4:00	5:00	1:00	6:00
2b	3:26	0:49	3:00	3:30	4:00	1:30	4:30
2c	2:20	0:44	2:00	2:00	3:00	1:00	4:00
2d	1:18	0:31	1:00	1:00	1:30	1:00	3:00
5a	1:49	0:43	1:15	1:30	2:00	1:00	3:00
5b	4:40	1:13	4:00	5:00	5:00	3:00	7:30
5c	1:27	0:34	1:00	1:30	2:00	0:40	2:30
5d	2:55	0:50	2:20	3:00	3:30	1:30	4:00
5e	1:20	0:31	1:00	1:00	2:00	0:30	2:00
5f	2:39	0:43	2:20	2:45	3:00	1:00	4:00
6a	2:06	0:49	2:00	2:00	2:20	0:30	4:00
6b	1:14	0:31	1:00	1:00	1:30	0:15	2:10
6c	2:34	1:07	1:45	3:00	3:30	0:30	4:00
6d	1:24	0:35	1:00	1:30	2:00	0:15	2:15

Tabell 8.14 Resultat från undersökningen ”Inleds utrymningen innan larmet startar?”

Variabel	Ja	Nej
3	43 %	57 %
4	0 %	100 %

Tabell 15 Resultat från undersökningen ”När upptäcks branden av personalen jämfört med ett automatiskt brandlarm?”

Variabel	Före	Samtidigt	Efter
7a	0	0	100 %
7b	0	24 %	76 %
7c	33 %	43 %	24 %
8a	0	0	100 %
8b	0	14 %	86 %
8c	14 %	53 %	33 %

8.5 Resultat

8.5.1 Allmänt

Vid problem med tolkning av de resultat som presenteras i detta kapitel föreslås en genomläsning av hela kapitel 8. Detta är även viktigt för bedömning av applicerbarheten av resultaten.

8.5.2 Varseblivningstid

Då ett fungerande utrymningslarm finns kan varseblivningstiden förväntas överensstämma med detektionstiden, vilken kan beräknas med hjälp av framtagna ekvationer som visas i tabell 8.16.

Tabell 8.16 Ekvationer för beräkning av varseblivningstid.

Parameter	Föreslagen ekvation
Tid till detektion	$t_d = 17,346 + 14,6d + 11,367H - 0,284\alpha$; $0m < d < 1m$; $R = 0,773$
	$t_d = 84,756\alpha^{-0,34435} * H^{0,463708} * d^{0,474794}$; $1m \leq d$; $R = 0,994$

α = Brandens tillväxthastighet i W/s^2

H = Takhöjd i meter

d = Horisontellt avstånd från branden i meter

R = Mått på regressionens överensstämmelse med materialet

Ekvationerna anses gälla inom följande intervall:

$$3 \leq \alpha \leq 190 \text{ (W/s}^2\text{)}$$

$$2,4 \leq H \leq 5,4 \text{ (m)}$$

$$0 \leq d \leq 5\sqrt{2} \text{ (m)}$$

Det horisontella avståndet från brand till detektor, d i ovanstående ekvationer, kan beskrivas med en triangelfördelning för ett detektionssystem där varje detektor har täckytan 100 m^2 . Triangelfördelningen beskrivs i tabell 8.17.

Tabell 8.17 Horisontellt avstånd från brand till detektor.

Parameter	Erhållen fördelning
Horisontellt avstånd från brand till detektor	Triang (0 ; 5 ; $5\sqrt{2}$)

För det fall då larm ej finns eller av någon anledning ej har aktiverats är underlaget för bedömning mindre omfattande. Angerd /30/ antar fördelningar för varseblivningstiden för dessa fall gällande för butiker med olika golvareor, vilka redovisas i tabell 8.18. Fördelningarna är inte resultat utav försök utan bygger i hög grad på antaganden varför de bör användas med försiktighet. Varseblivningstiden då larm ej aktiverats beror på personers förmåga att se branden och den tid som åtgår för att varna andra i lokalen. Den tid som åtgår innan personer upptäcker branden beror på persontätheten i lokalen och hur överblickbar lokalen är. Med anledning av detta bedöms de föreslagna fördelningarna vara likvärdigt applicerbara även på andra verksamheter med förhållandevis öppna ytor och hög persontäthet.

Tabell 8.18 Varseblivningstid vid ej aktiverat larm för lokaler liknande butik med avseende på persontäthet och orienterbarhet.

Golvarea (m^2)	Varseblivningstid, ej larm (s)
300	Lognormal (60 ; 15)
600	Lognormal (90 ; 30)
900	Lognormal (120 ; 45)

8.5.3 Reaktions- och beslutstid

Analysen påvisar en avvikelse mellan generella föreslagna värden och erfarenheter från utrymningsförsök. Försök på olika varuhus har visat att då personal är utbildad att underlätta utrymning kan denna påbörjas tidigare. Hänsyn till detta bör tas vid genomförande av riskanalys. Sandberg /48/ föreslår utifrån försök utförda i varuhus på Nordirland att reaktions- och beslutstiden beskrivs med en lognormalfördelning med medelvärde 32 sekunder och

standardavvikelse 15 sekunder. Vidare ger Frantzich /20/ reaktions- och beslutstider för utrymning av tre Ikea-varuhus. Dessa varierar mellan cirka 25-85 sekunder för olika delar av varuhusen med en tyngdpunkt på värden runt cirka 30-50 sekunder. Gemensamt för alla dessa försök var att det fanns gott om personal som var utbildade och hade tydliga uppgifter för att underlätta utrymningen.

Mot bakgrund av detta föreslås tiden för reaktion och beslut kunna beskrivas av en lognormalfördelning med medelvärde 40 sekunder och standardavvikelse 15 sekunder. Detta gäller för det fall där det finns en organisation som är utbildad att påskynda utrymning och som har tillräckligt med personal för att genomföra detta. Detta förutsätter också att det finns ett informativt utrymningslarm i byggnaden. Observera här att försöken gjorts på varuhus och vid applicering bör det beaktas att förutsättningarna inte skiljer sig avsevärt vad gäller persontätheter, personalens agerande samt besökares allmäntillstånd. Fördelningen kan ej anses gälla generellt i varuhus.

Då det i flera källor används lognormalfördelningar för att beskriva reaktions- och beslutstider antas här att detta kan appliceras på de fiktiva objekt som behandlas i den specificerade delphiundersökningen i kapitel 8.4.4. Detta innebär då att parameter 1-6 i denna undersökning ges lognormalfördelade reaktions- och beslutstider med de medelvärden och standardavvikelser som anges. Det skiljs mellan varuhus och butiker då reaktions- och beslutstiden för butiker delas in efter golvarea. Detta redovisas i tabell 8.19 och 8.20.

Figur 8.19 Reaktions- och beslutstid i varuhus under olika förutsättningar.

Typ av larm	Person kan se branden	Utbildad personal i fungerande organisation	Fördelning	Median	25 %-fraktil	75 %-fraktil
Talat medd.	Nej	Ja	Lognorm (40;15)	37	29	48
Inget larm	Ja	Nej	Lognorm (90;40)	82	62	110
Ringklocka	Ja	Nej	Lognorm (81;28)	77	61	96
Enkelt medd.	Ja	Nej	Lognorm (64;26)	59	46	77
Inform. medd.	Ja	Nej	Lognorm (46;14)	44	36	54
Inget larm	Nej	Nej	Lognorm (239;70)	229	189	278
Ringklocka	Nej	Nej	Lognorm (206;49)	200	171	235
Enkelt medd.	Nej	Nej	Lognorm (140;44)	134	109	164
Inform. medd.	Nej	Nej	Lognorm (78;31)	72	56	94

Figur 8.20 Reaktions- och beslutstid i butik under olika förutsättningar.

Typ av larm	Golvarea	Person kan se branden	Utbildad personal	Fördelning	Median	25 %-fraktil	75 %-fraktil
Talat medd.	300	*	Nej	Lognorm (45;45)	32	18	56
Talat medd.	600	*	Nej	Lognorm (60;60)	42	24	74
Talat medd.	900	*	Nej	Lognorm (90;60)	75	50	113
Larmklocka	600	*	Nej	Lognorm (150;60)	139	107	181
Larmklocka	600	*	Ja	Lognorm (60;30)	54	39	84
Talat medd.	oavsett	Nej	Ja	Lognorm (40;15)	37	29	48

* Då hänsyn tas till golvarea tas även hänsyn till att det tar olika lång tid innan personer ser branden. Branden har dock uppstått i butiken vilket innebär att personer som vistas där förr eller senare kommer att upptäcka den visuellt.

För butik antas också fördelningen för varuhus kunna användas för fallet med larm i form av talat meddelande och utbildad personal. Ingen sådan undersökning finns för butiker, men de undersökningar som ligger till grund för varuhus innefattar även butiker i varuhus varför det förefaller rimligt att även applicera denna fördelning på butiker. Hänsyn tas då ej till golvarea.

Resultat från delphiundersökning för reaktions- och beslutstid på nattklubb /20/ redovisas i tabell 8.21.

Figur 8.21 Reaktions- och beslutstid på nattklubb under olika förutsättningar.

Typ av larm	Avsedd person	Utbildad personal	Fördelning	Median	25 %-fraktil	75 %-fraktil
Manuell ringklocka	Personal	Se kap 8.4.4	Lognorm (109;43)	101	78	131
Manuell ringklocka	Gäst	Se kap 8.4.4	Lognorm (280;73)	271	228	322
DJ:s meddelande	Personal	Se kap 8.4.4	Lognorm (87;34)	81	63	104
DJ:s meddelande	Gäst	Se kap 8.4.4	Lognorm (175;50)	168	139	203
Förinspelat med.	Personal	Se kap 8.4.4	Lognorm (80;31)	65	58	96
Förinspelat med.	Gäst	Se kap 8.4.4	Lognorm (159;43)	153	128	184

Här bör observeras att dessa tider gäller för en gäst som inte befinner sig i det rum där branden startar. Det blir således sannolikt en fördröjning i reaktionstiden jämfört med om personen befunnit sig i det rum där branden startat. Vidare är personalen till större delen ej utbildad för att utrymma ett större antal människor. Larmsystemet är uppbyggt så att de talade utrymningslarmen måste startas manuellt med hjälp av DJ som antingen skall läsa ett meddelande eller sätta på en CD med ett meddelande. Dessutom måste han först stänga av musiken och tända ljuset. Detta innebär att även en viss del av varseblivningstiden för den besökare som tiden avser ingår i de föreslagna fördelningarna. Personen som avses ser ej branden och varseblir således inte att något inträffat förrän DJ:n fått larm om brand, reagerat på detta och stängt av musiken, tänt ljuset och satt på en CD-skiva med det förinspelade meddelandet. Det förefaller rimligt att reaktionstiden blir kortare om detta sker automatiskt via styrningar vid detektion. Vidare bör ytterligare förbättringar kunna uppnås om samtliga i personalen är utbildade i brandskydd och utrymning. Med anledning av detta kan andra värden föreslås för dessa fall.

8.6 Diskussion

Den beräknade fördelningen för avstånd till närmaste detektor tar hänsyn till att bränders placering kan variera, och tillsammans med de ekvationer som presenteras för detektionstid ger detta även variationer i varseblivningstid. Avståndsfördelningen gäller dock endast för detektorsystem där detektorerna har en täckyta av 100 m². Beräkningsmetoden är idealiserad så till vida att den förutsätter att väggar, balkar och liknande inte förhindrar brandgaserna från att sprida sig längs taket. Det är också viktigt att notera att mindre rum med en detektor inte omfattas av avståndsfördelningen då avståndet till detektorn då är mindre. Osäkerheter föreligger dels i DETACT-T2:s beräkningsresultat och i regressionen utav dessa.

Övriga tider för varseblivnings samt reaktions- och beslutstid som arbetats fram genom försök och delphiundersökningar är naturligtvis också behäftade med osäkerheter. Hänsyn tas inte i alla undersökningar till huruvida personer kan se branden, något som med stor sannolikhet påverkar dessa tider. De tider som presenteras pekar på vikten av utbildad personal som hjälper till att påbörja utrymning och hänvisar till nödutgångar. Försök visar att tiden för reaktion och beslut kan sjunka långt under de tider som föreslås av delphiundersökningar om

en väl fungerande organisation finns som underlättar utrymningen. Det är därför viktigt att studera organisationen som en faktor i riskanalysen och låta detta påverka indata.

Den fördjupade delphiundersökning som presenteras ger intressanta resultat för de fiktiva objekt som studeras. Det är dock viktigt att studera förutsättningarna för bedömningarna innan dessa används. En möjlig metod är att utgå ifrån dessa bedömningar och sedan göra egna bedömningar av vad som skiljer det fiktiva fallet från det aktuella och försöka kvantifiera skillnaden. Viktigt att tänka på är även att tiderna representerar olika personers bedömningar, och således inte har något att göra med verkliga försök.

I de underlag till förslag på reaktionstid som studerats tas inte någon hänsyn till brandens tillväxthastighet eller takhöjden i lokalen. Detta får betraktas som en brist då en snabb brandtillväxt med snabb brandgasspridning som följd sannolikt ger en kortare reaktionstid.

9 Metodik för genomförande av riskanalys

9.1 Allmänt

I kapitel 10 presenteras ett exempel på utförande av riskanalys med hjälp av den metodik och de förslag på indata som presenteras i rapporten. Indata hämtas ur de tidigare kapitlens studier, och simuleringar genomförs av brand- och utrymningsförlopp för genomförande av konsekvensanalys enligt metodik som beskrivs i detta kapitel. Viktigt att tänka på vid genomförandet av en riskanalys är att indata som används i form av exempelvis olika funktionssannolikheter och brandens tillväxthastighet, kan appliceras endast i den mån de aktuella förhållandena bedöms motsvara de som ligger till grund för informationen i tillräcklig utsträckning.

För beräkning av olika mått på risk krävs information om vilka konsekvenser som kan uppkomma och med vilken sannolikhet eller frekvens de bedöms inträffa. Således behövs en frekvens- och en konsekvensanalys. Frekvensanalysen baseras på ett händelsetråd och konsekvensanalysen bygger på datorsimuleringar av brand- och utrymningsförlopp. I frekvensanalysen analyseras de olika scenarion som kan uppkomma vid brand utifrån de tekniska system som finns och utifrån övriga förutsättningar. I konsekvensanalysen studeras de konsekvenser som uppstår vid de olika scenarierna. Den metod som presenteras nedan innebär att osäkerheter i frekvensanalysen behandlas genom att indata till denna anges som sannolikhetsfördelningar som främst representerar kunskapsosäkerheter. Även i konsekvensanalysen anges indata som sannolikhetsfördelningar, vilket innebär att de olika scenarierna inte får en deterministisk konsekvens utan kan få olika konsekvenser med olika sannolikhet. Hänsyn tas till detta i riskberäkningar. Osäkerheterna i indata till konsekvensanalysen beror till största del på naturliga variationer, i exempelvis personantal i lokalen och brandens egenskaper.

9.2 Beräkningsmodeller för genomförande av frekvens- och konsekvensberäkningar

9.2.1 Allmänt

Olika beräkningsmodeller kan användas för genomförandet av frekvens- och konsekvensberäkningar. I det exempel som genomförs i kapitel 10 utförs brandförloppsberäkningar i FAST 3.1.6 /52/, medan utrymningsberäkningar görs med hjälp av datorprogrammet STEPS /53/. Monte Carlo-simuleringar används för osäkerhetsberäkningar i såväl frekvens- som i konsekvensanalysen. Dessa utförs med programvaran @RISK /54/ som ingår i programvarupaketet Decision Tools. Även andra delar av detta paket används som stöd för beräkningarna. Precision Tree /55/ används för uppbyggnad av händelsetråd och Bestfit /29/ används för anpassning av utdata från @RISK till kontinuerliga sannolikhetsfördelningar.

9.2.2 FAST 3.1.6

FAST är ett datorprogram som bygger på en så kallad tvåzonsmodell och beräknar bl. a. brandgasspridning och temperaturförhållanden. Tvåzonsmodellen bygger på att rummet delas in i en varm övre brandgasfylld zon och en undre kall brandgasfri zon. Approximationen innebär att allt antas ske homogent i zonerna. Ett exempel på approximationens begränsning är att temperaturen i brandgaslagret antas vara densamma i hela zonen. Detta innebär t.ex. att den beräknade temperaturen i brandgaserna inte är högre rakt ovanför brandhärden än en bit ifrån denna. I verkligheten avtar brandgasernas temperatur ju längre bort från branden de

kommer. Utvärderingar av programmets korrelation med försöksresultat visar även att temperaturen i brandgaslagret ofta övervärderas i beräkningarna.

Som indata anges ursprungstemperaturer, rumsgeometrier, öppningar såsom dörrar och fönster samt när och hur dessa öppnas. Branden anges som frigjord värmeeffekt som funktion av tiden. Programmet kräver relativt kubiska rum. Vid avlånga geometrier, till exempel korridorer, måste dessa därför delas upp i flera rum. Programmet kan programmeras med upp till 15 stycken rum, men tillförlitligheten i beräkningsresultaten sjunker ett par rum bort från branden. Det är viktigt att vid beräkningarna studera temperaturskillnaden mellan övre och undre lagret. Vid skillnader mindre än cirka 10-15°C är antagandet om en tvåzonsbildning ej giltigt.

9.2.3 STEPS 1.0.6.4

För att undersöka gångtider och kötider för olika fall används datorprogrammet STEPS för simulering av utrymningsförlopp. STEPS har tagits fram av ingenjörsföretaget Mott MacDonald i Storbritannien och bygger på de riktlinjer som NFPA (National Fire Protection Association) har tagit fram för utformning av byggnaders utrymningsvägar och beräkning av utrymningsförlopp. Modellen illustrerar grafiskt i tre dimensioner de utrymnandes förflyttning i byggnaden. Modelleringen ger information om evakueringstider samt var flaskhalsar uppstår.

De utrymnande väljer utgång enligt ett poängsystem där följande faktorer värderas:

- avstånd till utgången
- om utgången är bekant
- köbildning
- personens otålighet vid en kö
- flöde i utgången

Detta innebär att personerna kan ändra sitt vägval under simuleringen om köer uppstår och alternativ utrymningsväg finns i närheten.

Det bör tilläggas att de tider som anges av STEPS som resultat endast avser den tid det tar för människor att gå ut ur byggnaden (t_g). Som indata använder STEPS den simulerade lokalens geometri samt personflöden i dörrar och trappor. Dessa flöden anges av användaren, vilket innebär att framtagna forskningsresultat gällande personflöden i utrymningsvägar med hänsyn till fri bredd och till utformning kan användas, se kapitel 7.2.

9.2.4 Monte Carlo-simuleringar i @RISK och Decision Tools

Monte Carlo-simuleringar används för såväl konsekvens- som frekvensberäkningar. Vid Monte Carlo-simuleringar görs beräkningar av olika uttryck där stokastiska variabler ingår. Programvaran @RISK utför ett antal beräkningar av uttrycket där värden väljs utifrån de sannolikhetsfördelningar som angetts för de stokastiska variablerna. Samtliga resultat sparas och utgör observationer för resultatet av det studerade uttrycket. Detta resultat ges då ett medelvärde och en spridning. Ju fler iterationer programmet gör desto fler observationer fås av det eftersökta resultatet. De olika iterationerna av resultatet kan anpassas till en kontinuerlig fördelning, detta görs i rapporten med hjälp av programmet Bestfit.

Monte Carlo-simuleringar genomförs vid användande av denna metodik exempelvis vid beräkning av säkerhetsmarginal då tid till kritiska eller dödliga förhållanden ställs mot tid till utrymning. Resultaten från dessa beräkningar ger då exempelvis svar på i hur många utav fallen som säkerhetsmarginalen blir negativ utifrån de ekvationer och sannolikhetsfördelningar som används för dessa beräkningar. Vidare kan även, utifrån storleken på den negativa säkerhetsmarginalen, bedömningar göras av frekvensen för olika storlekar på en viss given konsekvens. Detta presenteras noggrannare i kapitel 9.4.

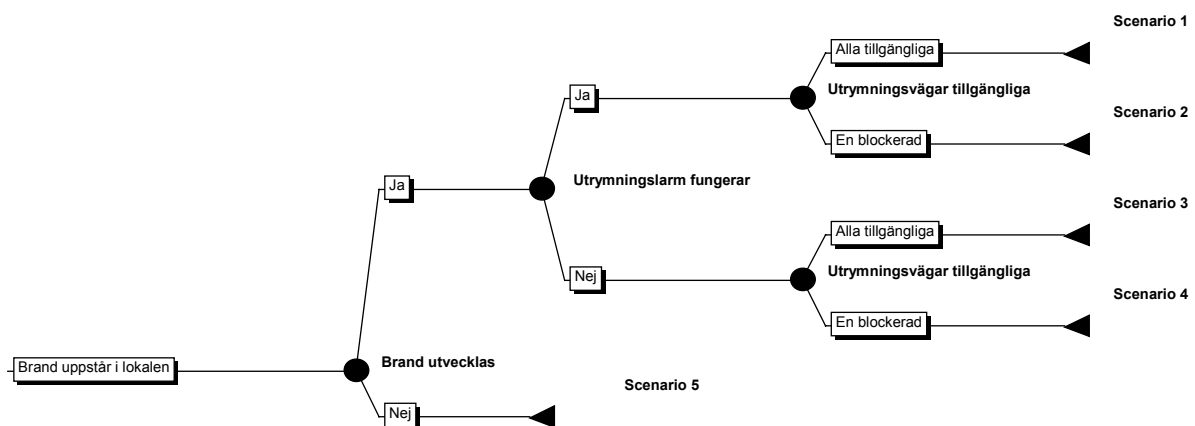
9.3 Metod för frekvens- och sannolikhetsanalys

9.3.1 Allmänt

För att möjliggöra en bedömning av med vilken frekvens olika scenarion kan förväntas uppkomma i en lokal analyseras vilka scenarier som kan uppkomma vid en brand. Detta görs genom att ett händelsetråd byggs upp, och sannolikheter för olika scenarier i grenarna bedöms. En bedömning av frekvensen för starthändelsen i händelsetrådet görs också. De olika scenarierna ger i sin tur upphov till olika konsekvenser vilka studeras i konsekvensanalysen.

9.3.2 Händelseträdsuppbyggnad

Ett händelsetråd byggs upp med starthändelsen ”brand uppstår”. Händelsetrådet delas in i olika grenar utifrån vilka scenarier som kan uppkomma baserat på exempelvis personalens agerande, förekomst av detektions- och släcksystem. De olika scenarierna, sluthändelserna, analyseras sedan i konsekvensanalysen då de representerar olika beräkningsfall i denna. Exempel på uppbyggnad av händelsetråd ges i figur 9.1 nedan.



Figur 9.1 Exempel på utseende för händelsetråd.

9.3.3 Frekvensanalys

Händelsetrådets olika scenarier bedöms uppkomma med olika frekvens. Sluthändelsens frekvens beräknas genom att frekvensen för starthändelsen multipliceras med sannolikheten för de olika grenarna i händelsetrådet. Används deterministiska värden som indata ges de olika scenarierna frekvenser i form av deterministiska värden. Används sannolikhetsfördelningar som indata kan de olika scenariernas frekvenser beräknas med hänsyn till ingående osäkerheter genom att Monte Carlo-simuleringar genomförs. Uttrycken för de olika scenariernas frekvens simuleras då och resultatet kan redovisas med spridning.

9.4 Metod för konsekvensanalys

9.4.1 Allmänt

För att möjliggöra en bedömning av konsekvenser vid olika scenarier måste en konsekvensanalys genomföras. I denna görs en bedömning av de konsekvenser i form av antal exponerade för exempelvis kritiska eller dödliga förhållanden de olika scenarierna i händelseträdet får. Till hjälp för detta används datorsimuleringar av brand- och utrymningsförlopp där utrymningstiden ställs mot den tid det tar från brands uppkomst till förhållandena i den studerade lokalen bedöms vara kritiska eller dödliga.

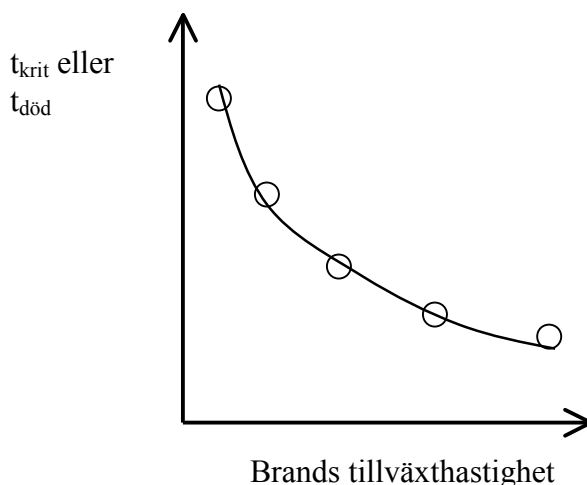
Indata till dessa beräkningar ges som sannolikhetsfördelningar. Då endast ett begränsat antal simuleringar genomförs krävs matematiska samband för att via simuleringar koppla en fördelning över brandens egenskaper till en fördelning över tid till kritiska förhållanden. På samma sätt krävs att resultat från utrymningssimuleringar kan kopplas till fördelningar över personantal.

En bedömning av konsekvensen görs i de fall då utrymningstiden överstiger tiden till kritiska förhållanden.

9.4.2 Tid till kritiska eller dödliga förhållanden

Förenklingar görs i simuleringarna genom att alla bränder antas följa ett α^2 -samband. En sannolikhetsfördelning för α i olika lokaler tas fram genom undersökningar av statistik från inträffade bränder och testförsök, se kapitel 4.

Från ansatt α -fördelning simuleras ett antal olika bränder för det objekt som analyseras. Dessa medför ett lika stort antal tider till kritiska eller dödliga förhållanden. Ett samband mellan dessa kan fås med hjälp av regression i Excel. Således kan tiden till kritiska eller dödliga förhållanden beskrivas som en matematisk funktion av brandens tillväxthastighet α , se figur 9.2. Brandens tillväxthastighet beskrivs i sin tur av framtagen sannolikhetsfördelning.



Figur 9.2 Samband mellan tid till kritiska alternativt dödliga förhållanden och brandens tillväxthastighet.

9.4.3 Tid till utrymning

På samma sätt som för branden simuleras ett antal olika utrymningsfall. Här varierar personantalet vilket ger olika gångtider, och denna gångtid t_g kan då beskrivas som en funktion av personantalet i byggnaden. En kontinuerlig fördelning över personantalet i den aktuella lokalen bestäms även. För att bestämma den totala utrymningstiden skall även tider för varseblivning och reaktion läggas till gångtiden. Även dessa beskrivs med framtagna sannolikhetsfördelningar.

9.4.4 Konsekvensbedömning

Ett uttryck för säkerhetsmarginalen tas fram där tid till kritiska eller dödliga förhållanden jämförs med den totala utrymningstiden. De olika fördelningarna kan nu Monte Carlo-simuleras enligt följande uttryck för att få ett mått på hur ofta tiden till utrymning överstiger tiden till kritiska eller dödliga förhållanden. Hur mycket tiden till utrymning överstiger tiden till kritiska eller dödliga förhållanden är även det intressant för att bedöma omfattningen av de konsekvenser som uppstår.

$$S = t_{krit} - t_v - t_r - t_g$$

S = säkerhetsmarginal (s)

t_{krit} = tid till kritiska förhållanden, beskrivs som funktion av brands tillväxrhastighet α , vilken beskrivs med framtagna sannolikhetsfördelning (s)

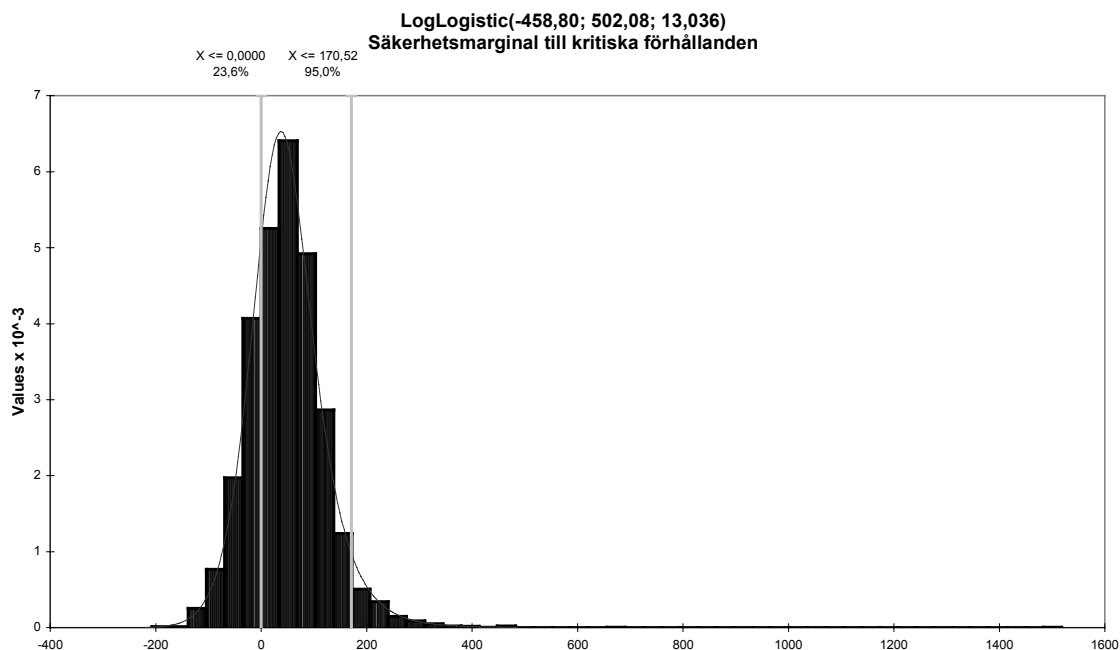
t_v = varseblivningstid, beskrivs med framtagna fördelning (s)

t_r = reaktionstid, beskrivs med framtagna fördelning (s)

t_g = gångtid, som funktion av personantal P , vilken beskrivs med framtagna fördelning (s)

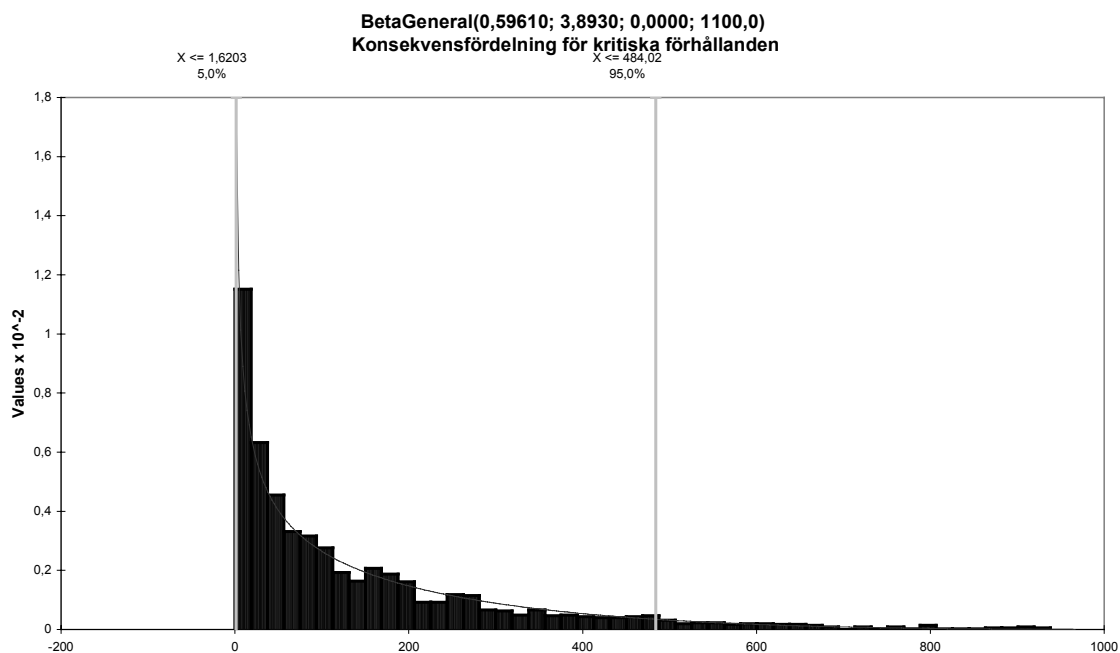
Olika scenarier i händelseträdet får olika uttryck för beräkning av säkerhetsmarginal. Exempelvis påverkas varseblivningstiden beroende på om utrymningslarm fungerar eller ej, gångtiden påverkas av huruvida samtliga utrymningsvägar är tillgängliga eller ej.

För varje scenarier i händelseträdet studeras hur stor andel av iterationerna i Monte Carlo-simuleringarna som får negativ säkerhetsmarginal vilket innebär att personer exponeras för kritiska eller dödliga förhållanden. Denna andel som ger konsekvens, a_k , är lägre i de fall de tekniska systemen fungerar som de skall och högre då olika system fallerar. Denna andel motsvarar sannolikheten att ett scenario resulterar i konsekvens i form av exponerade personer. Exempel på resultat från Monte Carlo-simulering av säkerhetsmarginal ges i figur 9.3. På x-axeln är säkerhetsmarginalen angiven i sekunder.



Figur 9.3 Exempel på utseende för resultat av Monte Carlo-beräkning av säkerhetsmarginal.

Vidare analyseras storleken på den negativa säkerhetsmarginalen så att denna översätts till ett antal exponerade. Denna omvandling görs med hjälp av utrymningssimuleringar där antalet personer som befinner sig i den studerade lokalen vid olika tidpunkter kan bedömas. Med hjälp utav detta kan en konsekvensfördelning tas fram vilken visar sannolikheten för olika antal exponerade givet att konsekvens uppstått för det aktuella scenariet. Denna kan anpassas till en kontinuerlig fördelning för riskberäkningar i form av förväntat antal exponerade per år. Vidare kan iterationerna användas för att ligga till grund för en riskprofil då sannolikheten för olika storlekar på konsekvensen kan beräknas som andelen iterationer med en viss konsekvens dividerat med det totala antalet iterationer. Dessa sätt att beräkna risk presenteras i kapitel 9.5. Exempel på utseende hos anpassning av konsekvensfördelning ges i figur 9.4.



Figur 9.4 Exempel på utseende för anpassning av konsekvensfördelning, antal exponerade på x-axeln.

9.5 Riskberäkningar

9.5.1 Allmänt

Beräkning av risk görs i denna rapport enligt två olika modeller. Förväntat antal exponerade per år beräknas, detta ger dock inte information om fördelningen mellan stora och mindre konsekvenser varför även riskprofiler tas fram. Dessa redovisar den frekvensen för N eller fler exponerade. Bedömning av antal omkomna görs inte i dessa fall utan kurvorna tas fram för antal exponerade för kritiska och dödliga förhållanden. Värdet på förväntat antal exponerade per år benämns medelrisk.

9.5.2 Beräkning av medelrisk

Beräkningen av förväntat antal exponerade för kritiska och dödliga förhållanden görs genom att frekvensen för de olika scenarierna multipliceras med konsekvensen. Samtliga scenariers bidrag till risken adderas för att få det totala förväntade antalet exponerade per år för starthändelsen, det vill säga att brand uppstår i lokalen. Då såväl frekvensen och konsekvensen för de olika scenarierna i händelseträdet, se exempelvis figur 9.1, beskrivs med fördelningar görs följande beräkning:

$$R_i = f_i * a_{k,i} * K_i$$

$$R_{tot} = \sum_{i=1}^n f_i * a_{k,i} * K_i$$

R_i = Sannolikhetsfördelning för medelrisken för scenario i

f_i = frekvens för scenario i, hämtas vid varje iteration ur händelseträd

$a_{k,i}$ = Andel iterationer i konsekvensberäkning som medför konsekvens för scenario i

K_i = Värde på konsekvens vid scenario i, hämtas vid varje iteration från konsekvensfördelning för scenario i

R_{tot} = Sannolikhetsfördelning för medelrisken avseende starthändelsen i händelseträdet

n = Antal scenarier i händelseträdet

Detta innebär att startfrekvens och sannolikheter i händelseträdet och värden från konsekvensfördelningen Monte Carlo-simuleras samtidigt. Vid varje iteration tas ett värde på varje scenarios frekvens, de olika scenarierna summeras i varje iteration till startfrekvensen för brands uppkomst. Dessa värden multipliceras först med a_k för de respektive scenarierna, det vill säga sannolikheten att konsekvens uppstår, samt även med det värde på konsekvensen som fås enligt konsekvensfördelningen. Riskbidrag från de olika scenarierna summeras och ett värde på R_{tot} erhålls. Detta upprepas ett stort antal gånger så att ett lika stort antal observationer av R_{tot} fås och denna medelrisk kan redovisas med spridning.

Användandet av a_k kan verka underligt då risk beräknas som sannolikhet alternativt frekvens multiplicerat med konsekvens. Detta görs dock eftersom konsekvensfördelningen K endast bygger på de iterationer som fått konsekvens i konsekvensanalysen. Om det exempelvis i ett scenario visar sig att ingen konsekvens uppstår i 80 % av iterationerna så skall dessa ej tas med i riskberäkningarna, utan hänsyn skall tas till att det endast är 20 % sannolikhet att konsekvens uppstår. Ett alternativt sätt att utföra beräkningen hade varit att beräkna risken som frekvens för ett scenario multiplicerat med värde från konsekvensfördelningen och anpassa denna fördelning så att den returnerar värdet 0 i den andel av fallen som motsvara sannolikheten att ingen konsekvens uppstår. Dessa två metoder ger samma resultat vilket

visas nedan. Användandet av a_k ger också ökade möjligheter att få en god anpassning av konsekvensfördelningen.

Motivering för användande av a_k

Följande beräkning görs: Medelrisken = $f * a_k * K_1$; detta innebär att scenariots frekvens multipliceras med sannolikheten för att konsekvens i form av exponerade besökare uppstår givet att scenariot inträffat och slutligen multipliceras med storleken på konsekvensen som beskrivs med sannolikhetsfördelningen K_1 . Skillnaden från en traditionell riskberäkning är således att varje scenario inte har en deterministisk konsekvens. I de flesta fall kanske det går bra på grund av långsamt tillväxande brand, låg personbelastning etc, vilket gör att konsekvens endast kommer uppstå i en mindre fraktion av fallen, denna fraktion motsvarar a_k . Vidare kan om konsekvens uppstår omfattningen hos denna variera, detta beskrivs med hjälp av K_1 .

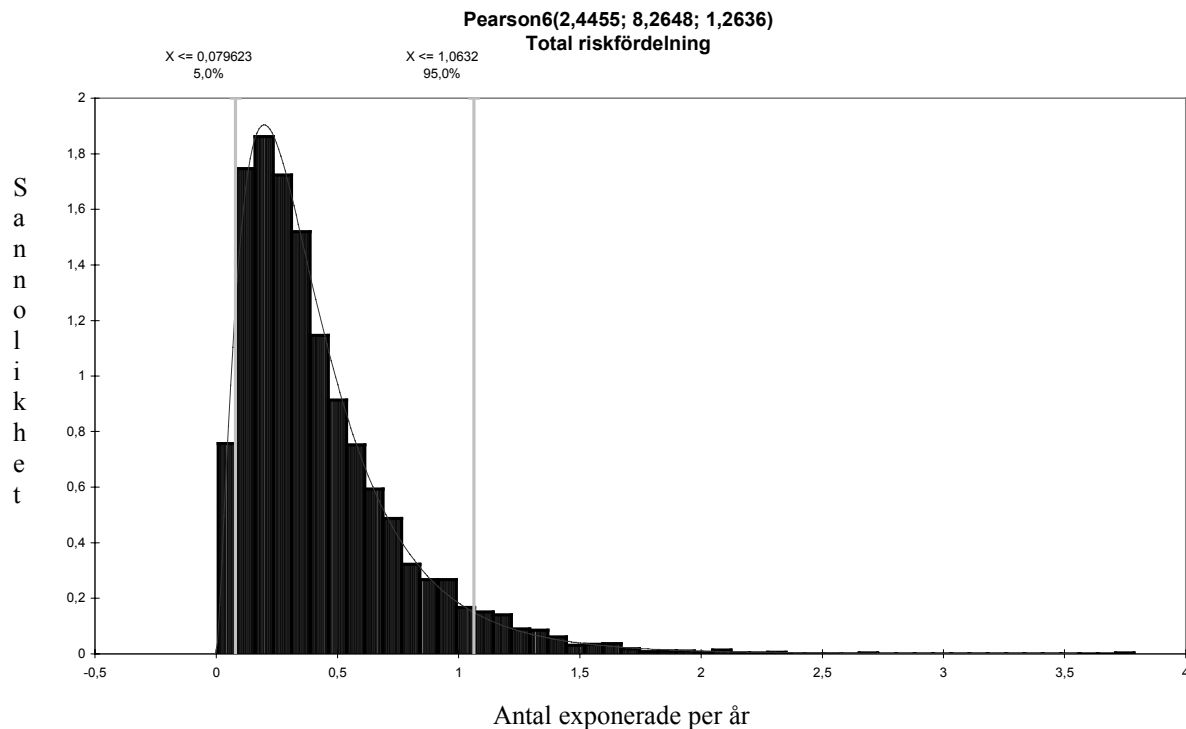
Om K_1 istället skulle beskrivas med en annan sannolikhetsfördelning K_2 som skulle vara sådan att den returnerade värdet 0 i den andel iterationer som gett 0 eller mindre exponerade i konsekvensanalysen och som returnerade ett värde enligt K_1 i den andel utav fallen som gett konsekvens i konsekvensberäkningarna skulle beräkningen se något annorlunda ut. Vi kan kalla använda andel med 0 eller mindre exponerade a_{ek} . Om ett stort antal iterationer för beräkning av risken genomförs fås följande:

Medelrisken = $f * a_{ek} * 0 + f * (1 - a_{ek}) * K_1 = f * (1 - a_{ek}) * K_1$; det är vidare lätt att inse att $1 - a_{ek} = a_k$ vilket också innebär att detta uttryck är identiskt med det uttryck som användes ovan varför metoderna ger samma resultat. Detta är under förutsättningen att frekvensen som räknas fram i händelseträdet inte är korrelerad med konsekvensen, det vill säga ett högt värde på frekvensen påverkar inte sannolikheten för konsekvens eller storleken på denna.

Ett annat sätt hade varit att göra en konsekvensfördelning för alla konsekvensutfall, det vill säga även tagit med de som ger negativt antal exponerade. I Monte Carlo-beräkningarna av riskmättet hade då villkoret kunnat läggas in att om konsekvensfördelningen returnerade ett negativt värde så skulle värdet 0 användas. Detta skulle inträffa med andelen a_{ek} . Detta är kanske egentligen den lösning som förefaller mest logisk, men den ger ett annat problem. Vid anpassningen av en konsekvensfördelning till samtliga beräknade konsekvenser så kommer den fördelning väljas som överensstämmer bäst för alla möjliga konsekvenser, det vill säga den kommer att försöka optimera längs hela skalan. Då det oftast finns en stor andel konsekvenser med negativt antal exponerade kommer dessa att bli extra viktiga vilket kan göra att överensstämmelsen i området för positivt antal exponerade sjunker. Detta är inte önskvärt då det är detta område som är intressant att studera för beräkning av medelrisken.

Presentation av medelrisk

R_{tot} är således det eftersökta riskmättet och redovisas i form av en sannolikhetsfördelning. Då såväl spridning i frekvens som konsekvens påverkar denna kan spridningen i detta mått bli förhållandevis stor. I figur 9.5 ges ett exempel på hur denna riskfördelning kan se ut.

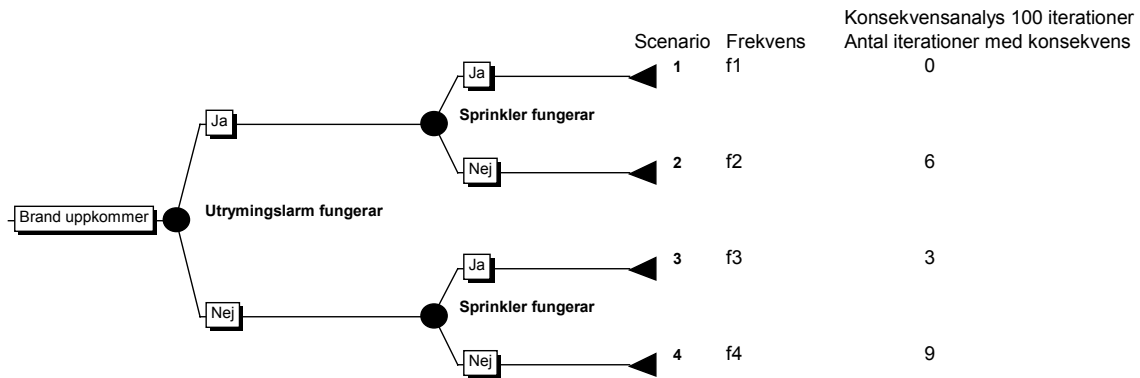


Figur 9.5 Exempel på utseende för riskfördelning i form av förväntat antal exponerade per år.

9.5.3 Beräkning av riskprofil

Principen för framtagande av riskprofil vid en deterministisk analys beskrivs kortfattat i kapitel 2.6. Den skillnad som uppstår vid användande av sannolikhetsfördelningar för osäkerhetsanalys är att varje scenarios frekvens varierar på grund av osäkerheter samt att varje scenario ger upphov till en uppsättning möjliga konsekvenser med olika sannolikhet istället för en enskild konsekvens. Detta innebär att förfarandet för framtagande av riskprofil blir något annorlunda, dock är principen densamma. Ett exempel används för att förklara tillvägagångssätt.

Beräkning av riskprofilens utseende görs genom att samtliga scenariers frekvens och konsekvens studeras. Varje scenario ger i konsekvensanalysen upphov till en mängd möjliga tänkbara konsekvenser av olika storlek. Detta beskrivs av framtagen konsekvensfördelning, se figur 9.4. Vid beräkning av riskprofiler används ej de anpassade konsekvensfördelningarna utan resultaten från de olika iterationerna i konsekvensanalysen används direkt. Konsekvensberäkningarnas resultat används på så sätt att om 10000 iterationer genomförs och 10 iterationer ger konsekvensen 200 exponerade i ett visst scenario så beräknas sannolikheten för 200 exponerade givet att scenariot uppkommit som $10/10000$, det vill säga 0,001. I själva verket kommer en konsekvensanalys att ge resultat i form av en mängd unika konsekvenser som samtliga kan beräknas inträffa med en frekvens som beräknas som det studerade scenariots frekvens dividerat med antalet iterationer i konsekvensanalysen. För att förklara förfarandet genomförs ett mycket förenklat exempel för ett händelseträd med fyra scenarier som samtliga har en uppsättning konsekvenser. Antalet konsekvenser har begränsats för att underlätta genomförandet av exemplet. Endast 100 iterationer har gjorts i konsekvensanalysen, vilket egentligen är för litet för att få ett tillräckligt underlag. De 100 iterationerna gör att endast ett fåtal konsekvensfall uppstått i beräkningarna.



Figur 9.6 Händelseträd för framtagande av riskprofil.

Som ses i figur 9.6 innebär samtliga scenarier utom scenario 1 en viss sannolikhet att konsekvens uppkommer. Denna sannolikhet kan beräknas som antal iterationer med konsekvens dividerat med totala antalet iterationer i konsekvensanalysen, det vill säga 100. Det som inte framgår i figuren är storleken på de uppkomna konsekvenserna, dessa presenteras i tabell 9.1.

Tabell 9.1 Konsekvensutfall för de olika scenarierna vid 100 iterationer i konsekvensanalysen.

Scenario	Konsekvens
2	35
2	15
2	7
2	5
2	2
2	1
3	9
3	4
3	2
4	39
4	30
4	23
4	17
4	12
4	8
4	5
4	4
4	2

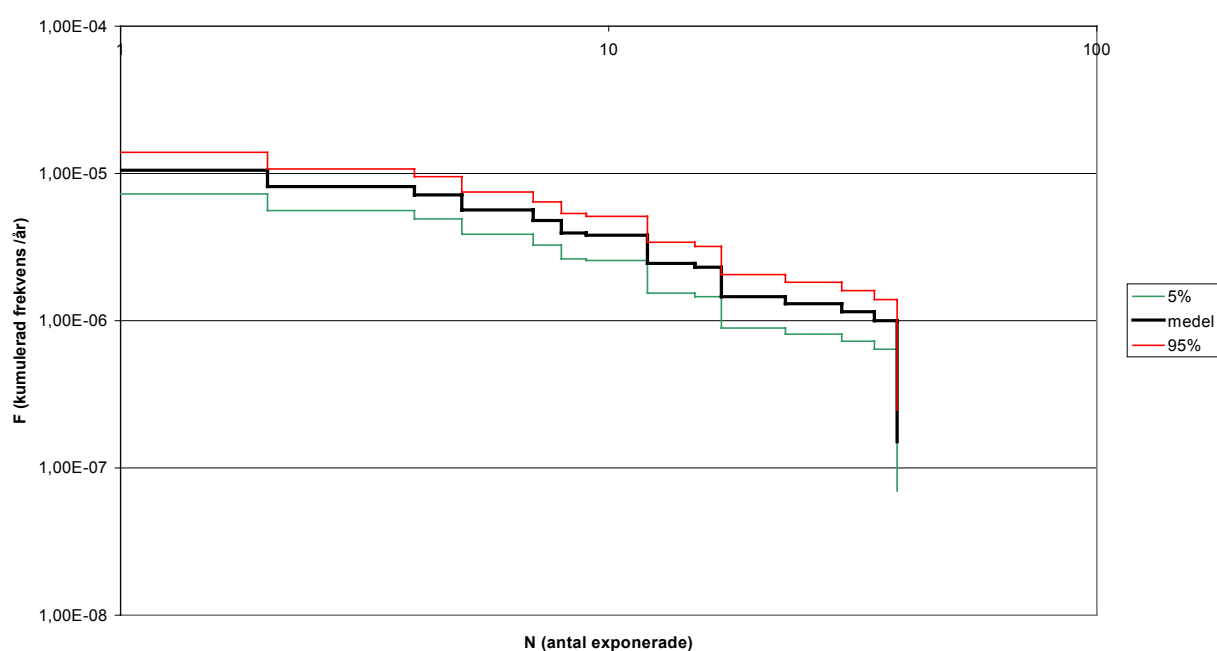
Dessa konsekvenser ordnas i storleksordning och ställs mot den frekvens med vilken den beräknas uppstå. Denna frekvens beräknas som frekvensen för det scenario konsekvensen härstammar ifrån multiplicerat med sannolikheten att denna konsekvens uppstår givet att det scenariot uppkommit. Exempelvis för konsekvensvärdet 35 så härstammar det från scenario 2 och dess frekvens beräknas då som $f_2 * (1/100)$, då sannolikheten för 35 exponerade givet scenario 2 är $1/100$. Slutligen skall också frekvenserna kumuleras för att motsvara N eller fler exponerade. Detta presenteras i tabell 9.2.

Tabell 9.2 Kumulerade frekvenser för respektive konsekvens.

Konsekvens N	Från scenario	Frekvens för denna konsekvens
39	4	$f_4/100$
35	2	$f_2/100$
30	4	$f_4/100$
23	4	$f_4/100$
17	4	$f_4/100$
15	2	$f_2/100$
12	4	$f_4/100$
9	3	$f_3/100$
8	4	$f_4/100$
7	2	$f_2/100$
5	2	$f_2/100$
5	4	$f_4/100$
4	3	$f_3/100$
4	4	$f_4/100$
2	2	$f_2/100$
2	3	$f_3/100$
2	4	$f_4/100$
1	2	$f_2/100$

Frekvenserna för de olika konsekvenserna kumuleras nu och händelseträdet Monte Carlo-simuleras så att värden på de olika scenariernas frekvens itereras fram och kumulerade frekvenser för samtliga konsekvenser beräknas vid varje iteration. På så sätt så kan de kumulerade frekvenserna redovisas med spridning i riskprofilen. I detta exempel skulle detta kunna se ut som i figur 9.7 nedan. I denna figur har sannolikhetsfördelningar antagits för frekvens för brands uppkomst och för sannolikheter för de olika grenarna i händelseträdet i figur 9.6 som används som exempel. Detta innebär att de olika scenariernas frekvens ges en spridning i Monte Carlo-simuleringen.

Riskprofil med osäkerheter, exempel



Figur 9.7 Riskprofil med spridning, exempel på utseende.

Detta exempel gav endast totalt 18 fall med konsekvens då 100 iterationer genomfördes för varje scenario i konsekvensanalysen. I exempelriskanalyserna i kapitel 10 utförs mellan 5000 och 20000 sådana iterationer, naturligtvis med fler konsekvensutfall som följd. Fler konsekvensutfall innebär att riskprofilen får fler och mindre steg. De beräkningar som utförs i kapitel 10 genomförs enligt samma princip som ovan, dock med en större datamängd.

Proceduren kan beskrivas i något mer allmänna ordalag med hjälp av följande beteckningar och ekvationer. Alla i konsekvensanalysen uppkomna konsekvenser betraktas som unika värden som uppkommer med en frekvens som kan beräknas som frekvensen för det scenario som gett upphov till konsekvensen dividerat med antalet iterationer i konsekvensanalysen. Uppkommer flera fall med samma konsekvens adderas dessa med denna metod i riskprofilen.

k = konsekvens

f_i = frekvens för scenario i , fås ur händelseträd

$f_{k,i}$ = frekvens för en viss konsekvens k från scenario i

$p_{k,i}$ = sannolikhet för en viss i konsekvensanalysens scenario i observerad konsekvens k givet att scenario i uppkommit

i_{ka} = antalet iterationer i konsekvensanalysen

$p_{k,i} = \frac{1}{i_{ka}}$ (multipliceras med antal k om det finns flera identiska konsekvenser k)

$f_{k,i} = f_i * p_{k,i}$

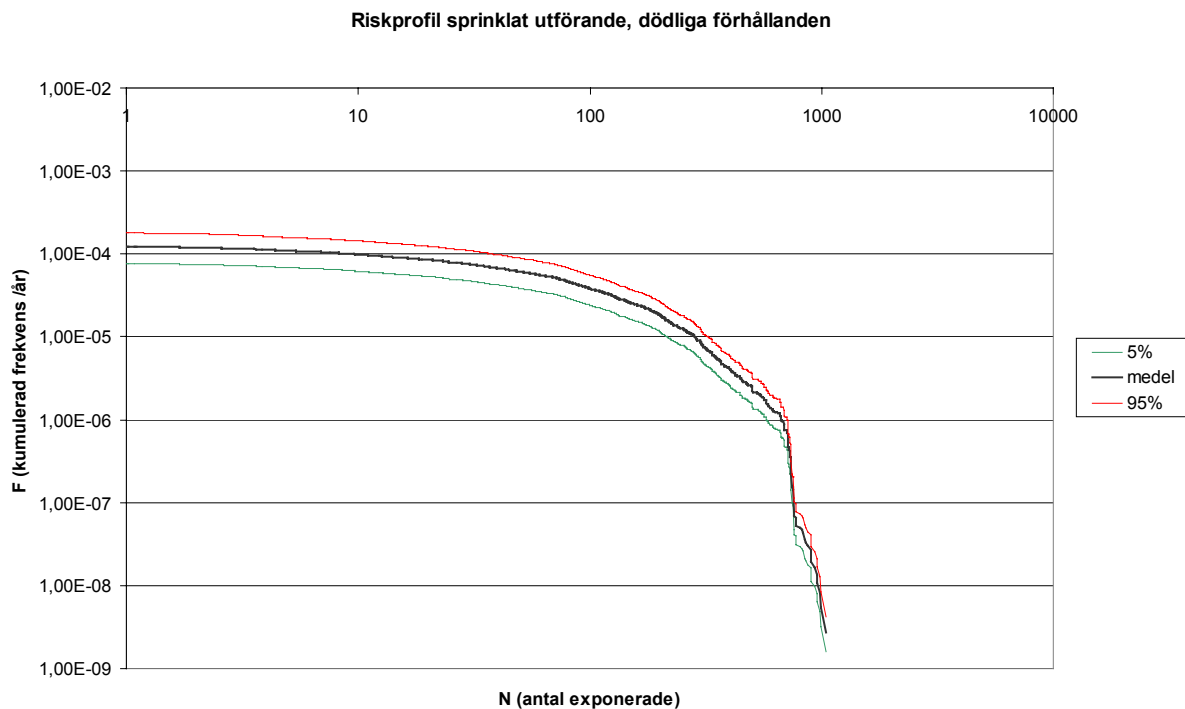
F_k = kumulerad frekvens för en viss konsekvens k , dvs frekvensen för k eller fler exponerade

För samtliga scenarier fås en samling konsekvenser som beräknas i konsekvensanalysen. Om exempelvis många värden erhålls för en konsekvens omkring 100 exponerade för ett visst scenario så är sannolikheten hög att detta scenario resulterar i omkring 100 exponerade givet att scenariot inträffar. Samtliga scenariers konsekvenser ordnas i storleksordning efter fallande storlek. Det är viktigt att varje konsekvens ej separeras från det scenario som givit upphov till den då denna information behövs för att kunna bedöma frekvens och kumulerad frekvens för den studerade konsekvensen. För varje konsekvens beräknas $f_{k,i}$ genom att Monte Carlo-simuleringar görs av frekvenserna f_i för de olika scenarierna från händelseträdet och dessa multipliceras med $p_{k,i}$. F_k beräknas sedan genom kumulering av $f_{k,i}$. Tabell 9.3 beskriver den information som behövs och de beräkningar som görs i varje iteration. Scenario i innebär i tabellen det scenario som är förknippat med den konsekvens som studeras och kan således vara olika för olika konsekvenser.

Tabell 9.3 Uppställning för beräkning av kumulerade frekvenser för olika konsekvenser.

Konsekvens (ordnad efter fallande storlek)	Frekvens för denna konsekvens	Kumulerad frekvens för denna konsekvens
k_1	$f_{k_1,i} (=f_i * p_{k_1,i})$	$f_{k_1,i}$
k_2	$f_{k_2,i}$	$f_{k_1,i} + f_{k_2,i}$
k_3	$f_{k_3,i}$	$f_{k_1,i} + f_{k_2,i} + f_{k_3,i}$
k_4	$f_{k_4,i}$	$f_{k_1,i} + f_{k_2,i} + f_{k_3,i} + f_{k_4,i}$
etc.	etc.	etc.

För varje iteration i Monte Carlo-simuleringen beräknas således frekvenserna f_i för de olika scenarierna vilket i sin tur gör det möjligt att beräkna $f_{k,i}$ och F_k för varje konsekvens. Den kumulerade frekvensen utgör utdata och efter simuleringen kan spridningen i kumulerad frekvens för samtliga konsekvenser utläsas ur resultaten och olika spridningsmått kan tas fram såsom medelvärde, 5%-fraktil och 95%-fraktil. Dessa presenteras sedan i en riskprofil genom att konsekvenserna plottas mot de kumulerade frekvenserna. Ett exempel på hur resultatet från ett sådant förfarande skulle kunna se ut ges i figur 9.8 nedan. Exemplet är hämtat ur en analys som genomförs i kapitel 10.



Figur 9.8 Riskprofil, exempel på utseende.

9.5.4 Känslighetsanalys

För att studera vilka parametrar som har störst inverkan på de beräknade resultaten kan en känslighetsanalys genomföras. @RISK genomför vid känslighetsanalys en regressionsanalys av de ingående parametrarna för att bestämma regressionskonstanter. Hänsyn tas då till parametrarnas inverkan på resultatet i de använda ekvationerna och till parametrarnas variation. Hur parametrarna varierar samt i vilken utsträckning dessa variationer påverkar resultaten värderas genom regressionen och parametrarna rangordnas sedan efter inverkan på resultatet. I kapitel 10.11 görs en sådan känslighetsanalys på säkerhetsmarginalen och konsekvensen för ett av de beräknade scenarierna samt på de parametrar i händelseträdet som påverkar de olika scenariernas frekvens i störst utsträckning. Känslighetsanalysen görs också på beräkning av medelrisken.

9.5.5 Diskussion

Vid användande av denna metodik för genomförande av brandteknisk riskanalys tas hänsyn till osäkerheter i olika indata och dessa kan redovisas som en osäkerhet i resultatet. Ytterligare osäkerheter finns vilka inte tas hänsyn till såsom modellosäkerheter och osäkerheter som uppstår vid anpassning av ekvationsuttryck för exempelvis tid till kritiska förhållanden som

funktion av brandens tillväxthastighet. Metodiken ger en bild av spridningen i de konsekvenser som kan uppstå samt vilka faktorer som är viktigast för utrymningssäkerheten. Då olika scenarier studeras tas konsekvensen av fallerande tekniska system med. Ytterligare diskussion kring fördelar och begränsningar med metodiken förs i kapitel 12.

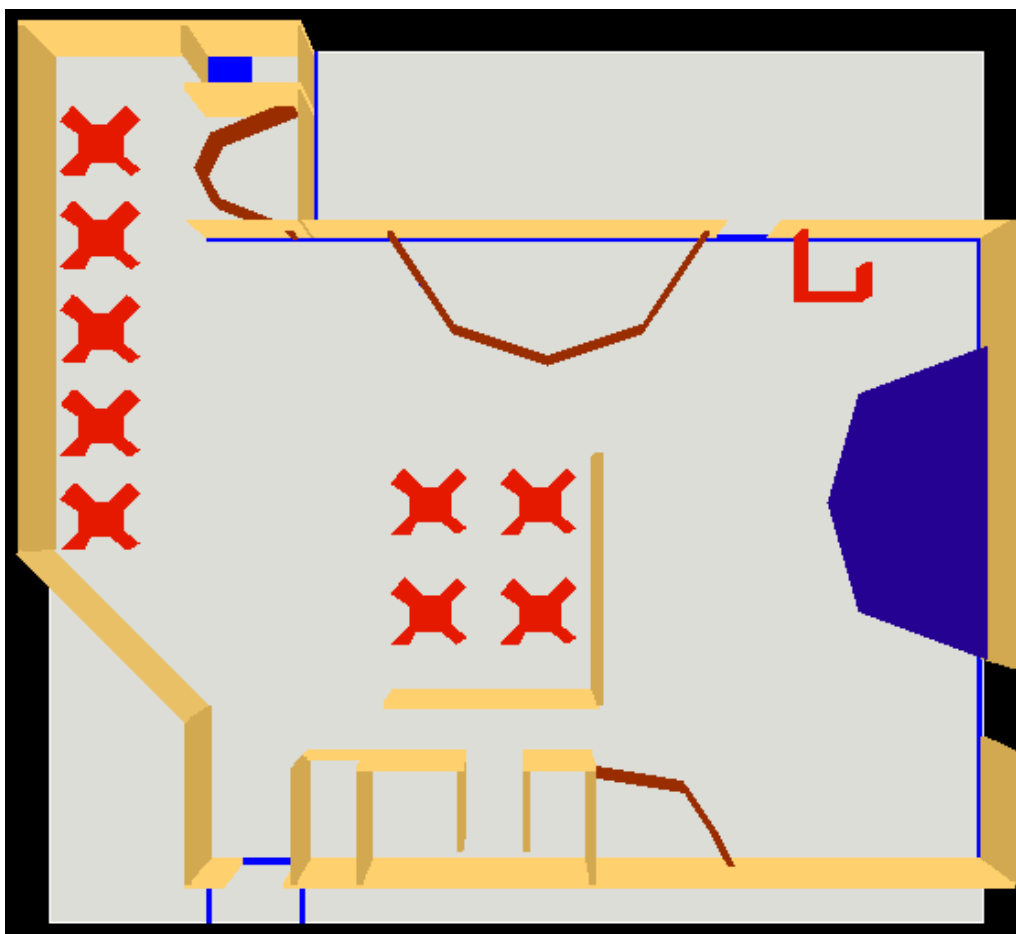
10 Genomförande av riskanalys - samlingslokal

10.1 Allmänt

En studie görs av en fiktiv samlingslokal för att studera olika utformningars inverkan på risknivå och utrymningsmöjligheter. Lokalen utgörs av diskotek kvällstid och restaurang dagtid. Kvällstid kan ett stort antal människor förväntas vistas i lokalen samtidigt. Inledningsvis antas samlingslokalen ha ett visst brandskydd och utformningen av detta beskrivs. Lokalens geometri beskrivs liksom hur olika indata till riskanalysen väljs utifrån de data och metoder som presenteras i rapporten. Ett händelseträd byggs upp som representerar olika scenarier. Olika ändringar i utformningen prövas för att se hur detta påverkar risknivån. Riskanalysen utgör exempel på användande av metodik beskriven i kapitel 9. Känslighetsanalys med framtagande av signifikanser görs endast på en av de studerade utformningarna, det sprinklade fallet. Kapitel 10.2-10.10 behandlar analysen för lokalens grundutförande, kapitel 10.11 innehåller analys för samma lokal med ett installerat sprinklersystem. I kapitel 10.12 genomförs analysen med en ökad utrymningsbredd från lokalen och slutligen jämförs utformningarnas risknivå i kapitel 10.13.

10.2 Geometri

Lokalen har en golvvarea på omkring 600 m², varav cirka 200 m² åtgår till scen, barer och andra ytor där persontätheten kan antas vara begränsad. Totalt inryms tre barer, en scen, ett dansgolv, garderob och toaletter. Takhöjden är 3,2 meter. Utseende illustreras i figur 10.1.

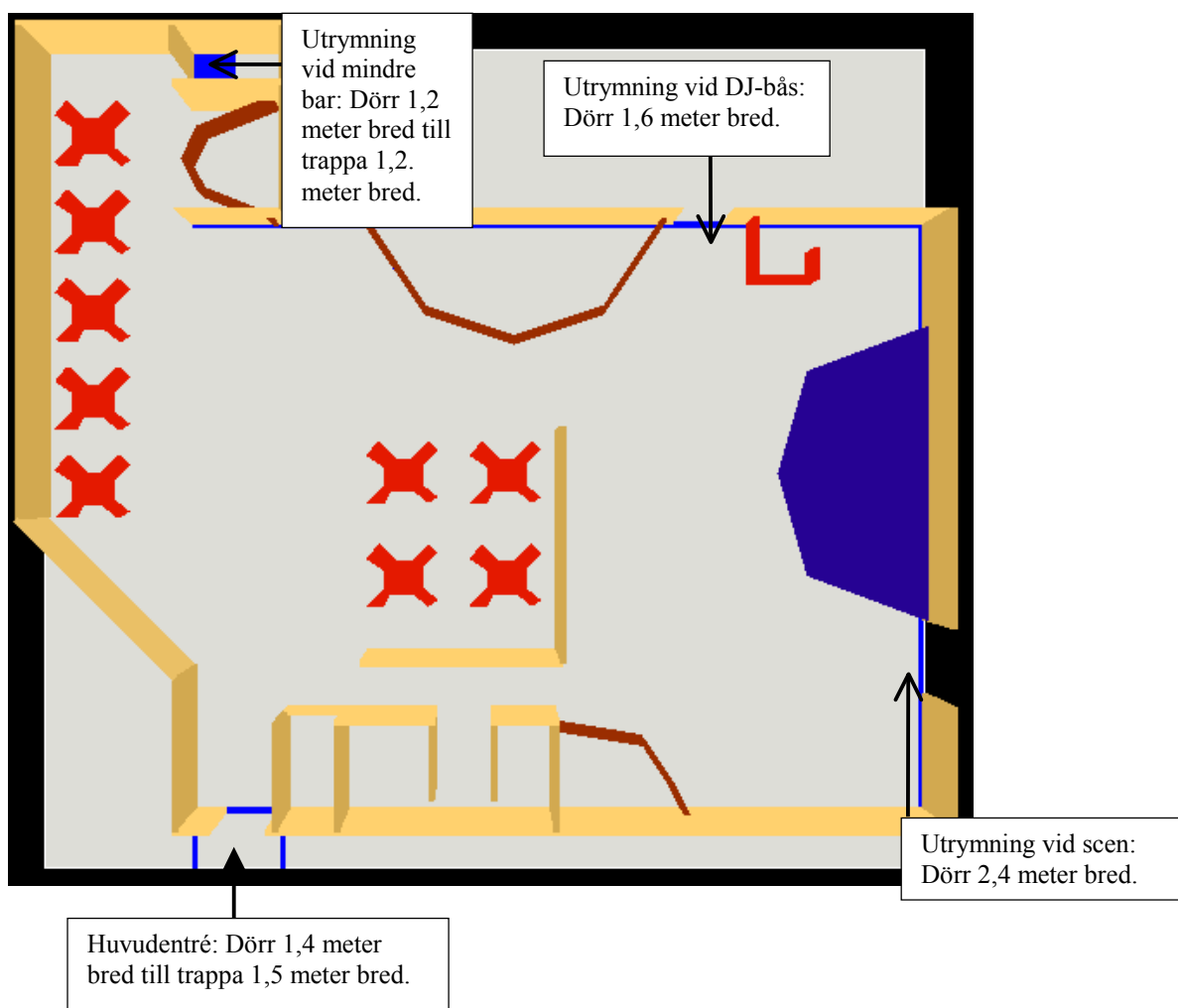


Figur 10.1 Utformning av fiktiv samlingslokal.

10.3 Lokalens brandskydd

Lokalen är utrustad med ett detektionssystem kopplat till brand- och utrymningslarm. Utrymningslarmet är utformat som ett talat meddelande och vid detektion stängs även musik av och ljuset i lokalen tänds. Varje detektor har en täckyta av 100 m^2 . Inget släcksystem finns installerat, och personalen är ej utbildad i brandskydd. Utrymningslarmet bygger på optiska rökdetektorer med testintervall en gång/år.

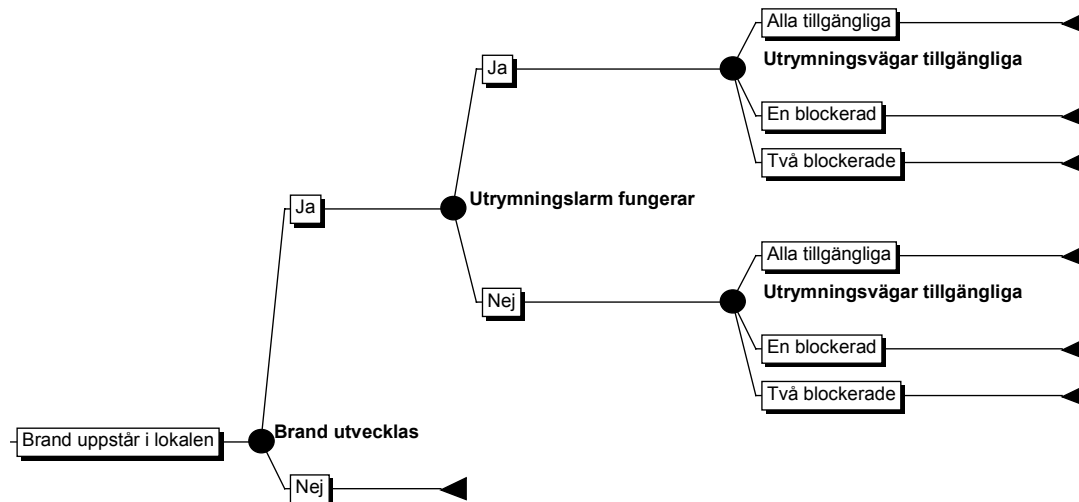
Utrymningen är utformad enligt gällande lagstiftning. För lokalen innebär detta att utrymningen dimensionerats utifrån en persontäthet om $2,5 \text{ personer/m}^2$ i de utrymmen som bedöms vara hårt belastade av besökare. Totalt maximalt tillåtet personantal är 1000 personer, vilket innebär att total utrymningsbredd är 6,7 meter. Utrymningsvägar finns i huvudentrén, vid scenen, vid DJ-båset samt vid en mindre bar. Utrymningsvägars placering och bredd framgår av figur 10.2 nedan.



Figur 10.2 Samlingslokalens utrymningsutformning.

10.4 Händelseträd

Ett händelseträd byggs upp utifrån de föreliggande förutsättningarna, se figur 10.3. De fall som studeras är huruvida branden utvecklas eller ej, utrymningslarmets funktion samt blockering av utrymningsvägar. Det bedöms vara så pass osannolikt att fler än två utrymningsvägar blockeras samtidigt att detta ej studeras.



Figur 10.3 Händelseträd, brand i samlingslokal.

De sannolikheter som anges i figuren bygger på den genomgång av de olika parametrarna som görs i kapitel 10.5.

10.5 Indata till frekvensanalys

10.5.1 Allmänt

Indata till de olika grenarna i händelseträdet hämtas dels ur den genomgång av parametrar som utförs tidigare i rapporten, dels görs nya beräkningar för bedömning av parametrar som är specifika för byggnaden.

10.5.2 Frekvens för brands uppkomst

I kapitel 3.4 tas frekvensen för brands uppkomst fram för samlingslokal motsvarande den i aktuellt exempel. Resultaten från detta visas i tabell 10.1.

Tabell 10.1 Frekvens för brands uppkomst.

Parameter	Framtagen fördelning (år ⁻¹)
Frekvens för brands uppkomst i samlingslokal	Normal (0,059 ; 0,01)

I kapitel 3.8 studeras hur stor del av uppkomna bränder som ej utvecklas för olika typer av lokaler. Resultatet för danslokaler visas i tabell 10.2.

Tabell 10.2 Andel bränder i danslokal som ej utvecklas.

Byggnadskategori	Andel (-)
Restaurang/Danslokal	Normal (0,305 ; 0,045)

10.5.3 Funktion hos de brandtekniska systemen

Endast ett tekniskt system finns installerat i grundutförandet, ett brand- och utrymningslarm. Funktionssannolikheten för detta system beror av systemets utformning och graden av underhåll och kontroll. I kapitel 5.3 görs en genomgång av olika underlag för bedömning av denna parameter beroende på olika faktorer. Det aktuella systemet antas vara utformat med optiska detektorer med testintervall 1 gång/år. Brandlarmspanelen har MTTF (Mean Time To Failure, se kap 5.3.4) = 50 år. MTTR (Mean Time To Reparation) bedöms vara åtta månader. Detta ger följande felfrekvens för brandlarmssystemet:

$$p_3 = p_1 + p_2 - p_1 * p_2$$

p_3 = Felsannolikhet för brandlarmssystem

p_1 = Felsannolikhet för enskild detektor i systemet

p_2 = Felsannolikhet för brandlarmspanel = $1 - a$

a = Medeltillgänglighet för brandlarmspanel = $\frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$

$$p_1 = 0,0242$$

$$1 - a = p_2 = 1 - \frac{50}{50 + \frac{8}{12}} = 0,013$$

$$p_3 = 0,0242 + 0,013 - 0,0242 * 0,013 = 0,037$$

Detta innebär att funktionssannolikheten för det aktuella systemet bedöms vara $1 - 0,037 = 0,963 \approx 0,96$.

Detta är ett förhållandevis högt värde på denna parameter vilket framförallt beror på de optiska detektorerna som testas 1 gång/år.

Denna parameter beaktas i analysen som ett punktvärde, se tabell 10.3. Analys av olika brandlarmssystem har visat en spridning i funktionssannolikhet beroende på underhåll och teknisk utformning av systemen. Naturligtvis finns också en kunskapsosäkerhet kring funktionssannolikheten för ett givet system, denna beaktas dock ej här.

Tabell 10.3 Funktionssannolikhet för studerat brand- och utrymningslarm.

Parameter	Värde (-)
Funktionssannolikhet brand- och utrymningslarm	0,96

10.5.4 Utrymningsvägars tillgänglighet

Vid bedömning av sannolikhet att en utgång blockeras av brand används strålningsberäkningar där kriteriet är att en utrymningsväg blir obrukbar då strålning når kritiska nivåer för längre exponering. Enligt "Brandskydd Teori & Praktik" /18/ kan 2,5 kW/m² användas som gränsvärde för långa exponeringstider innan outhärdlig smärta uppkommer.

För dessa beräkningar krävs information om brandens effektutveckling, flammhöjd och brandens diameter. Dessa är osäkra parametrar och kommer att variera beroende på vad det är som brinner. Material med lågt energiinnehåll kräver stora brinnande areor för att nå effektutvecklingar som ger strålningspåverkan. Dessa ger dock lägre flammhöjder. Högre

energiinnehåll i det brinnande materialet innebär mindre brinnande ytor och högre flammhöjder. Osäkerheterna i dessa beräkningar är betydande, varför några olika fall testas. Då brandförloppsberäkningar i kapitel 10.8.3 visar att kritiska förhållanden uppnås då branden nått 1,0-2,0 MW beroende på brandens tillväxthastighet används en effektutveckling av 1,5 MW för dessa beräkningar. Maximal effektutveckling i beräkningarna är 3 MW, detta är dock inte intressant att använda för strålningsberäkningarna då det i regel redan är kritiska och dödliga förhållanden i lokalen innan denna effektutveckling uppnås. Följande ekvationer, vilka är hämtade ur ”Enclosure Fire Dynamics” /23/, används för beräkning av flammans höjd och diameter.

$$\dot{Q} = A_f * \dot{m}'' * \chi * \Delta H_c$$

$$D = \sqrt{4 \frac{A_f}{\pi}}$$

D = Flammans diameter i meter

A_f = Den brinnande arean i m^2

\dot{Q} = Brandens effektutveckling, $1,5 * 10^6$ W

\dot{m}'' = massavbrinningshastighet i $kg/(m^2 * s)$, materialegenskap

χ = Förbränningseffektivitet $\approx 0,7$, dimensionslös

ΔH_c = Förbränningsvärme i J/kg, materialegenskap

Flammhöjden kan när D beräknats fås ur följande samband :

$$L = 0,235 \dot{Q}^{\frac{2}{5}} - 1,02 D$$

I den sista ekvationen används enheten kW för effektutvecklingen.

Några olika material med varierande energiinnehåll studeras, flammhöjder och brandens diameter för dessa beräknas vid effektutvecklingen 1,5 MW. Materialelegenskaper i form av massavbrinningshastigheter och förbränningsvärme hämtas ur ”Enclosure Fire Dynamics” /23/. Vidare beräknas även avstånd från flammen med dessa dimensioner till strålningsnivån $2,5 \text{ kW}/m^2$. Vid dessa strålningsberäkningar antas flammen ha en temperatur av 800°C . Temperaturen i flambasen har enligt experiment visat sig variera mellan $700-1200^\circ\text{C}$ och i flamtoppen mellan $500-600^\circ\text{C}$ /18/. Flammans emissivitet varierar med tjockleken på flammen och sotmängden i densamma. För alkoholer är emissiviteten låg och i beräkningarna används värdet $0,066$ /18/. För övriga flammor bestäms emissivitet utifrån flammtjockleken. Följande uttryck, hämtat ur ”Brandkydd Teori & Praktik” /18/, används.

$$\varepsilon = 1 - e^{-ad}$$

ε = Flammans emissivitet

a = Flammans absorptionkoefficient

d = Flammans djup, dvs tjocklek i m

I tabell 10.4 nedan ges absorptionskoefficienten för några olika material.

Tabell 10.4 Flammans absorptionskoefficient för olika material /18/.

Material	Koefficient a
Dieselolja	0,43
Plexiglas	0,50
Polystyren	1,20
Trä	0,50-0,80
Diverse möbler	1,13

Utifrån dessa indata beräknas avstånd till $2,5\text{kW/m}^2$ för några olika material. Resultat från och övriga nödvändiga indata till dessa beräkningar ges i tabell 10.5 och 10.6 nedan.

Tabell 10.5 Avstånd från flamma till strålning $2,5\text{kW/m}^2$ för några olika material vid effektutveckling 1,5MW.

Material	Massavbrinning i $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ /23/	Förbränningsvärme i J/kg /23/	D i meter	L i meter	Avstånd till $2,5\text{kW/m}^2$ i meter	Emissionstal för flammen /18/
Polyetylen	0,026	$43,6\cdot 10^6$	1,55	2,80	4,3	0,49 (diesel)
Metanol	0,025	$20,0\cdot 10^6$	2,33	2,00	1,2	0,066
Polystyren	0,034	$39,2\cdot 10^6$	1,43	2,92	5,6	0,82

Vid dessa beräkningar gäller således att den brinnande arean antas vara cirkulär med diametern D. Tabellen ovan gäller för pölbränder i olika vätskor samt vissa plaster som beter sig på liknande sätt vid antändning. För fasta ämnen används beräkningar med hjälp av effektutveckling per kvadratmeter för olika material vid beräkning av strålning /23/.

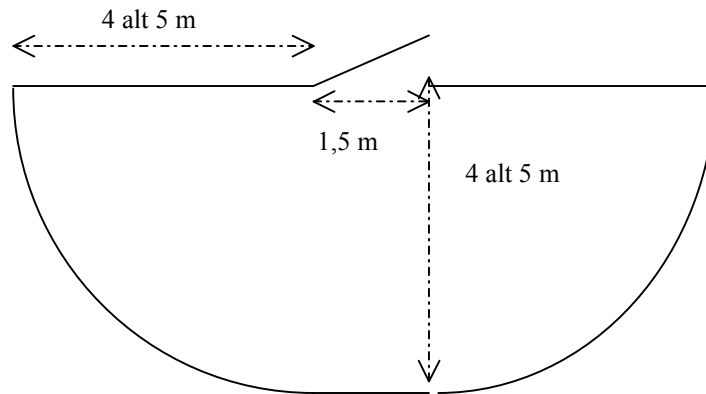
Tabell 10.6 Avstånd från flamma till strålning $2,5\text{kW/m}^2$ för några olika material vid effektutveckling 1,5MW.

Material	kW/m^2 /23/	A_f vid 1,5 MW i m^2	D i meter vid 1,5 MW	L i meter	Avstånd till $2,5\text{kW/m}^2$ i meter	Emissionstal för flammen /18/
Träpallar staplat ca 0,5 m högt	1420	1,06	1,16	3,20	3,7-4,4	0,44-0,60 (trä)
Mellantung möbel med nylon eller plaststoppning	1645	0,91	1,08	3,28	4,7	0,70 (diverse möbler)

Emmissionstalet beräknas med den ekvation och tabellvärden som anges ovan. Strålningsberäkningarna görs i Excel och exempel på utseende och resultat från dessa redovisas i bilaga C.4.1. Det kan ifrågasättas huruvida de studerade föremålen och materialen är relevanta för branden i samlingslokalen. Dock har undersökningen av olika flammor visat att skillnaden mellan olika brinnande material inte resulterar i stora skillnader i avstånd till den strålningsnivå som valts. Med undantag för metanol ger beräkningarna resultat i ett förhållandevis litet intervall, 3,7-5,6 meter. Med utgångspunkt från detta antas en brand som uppstår inom 4-5 meter från en utgång blockera denna om brand uppkommer. Både avståndet 4 och 5 meter används vid beräkning av sannolikhet för blockerad utgång. Beräkningen utgår ifrån att sannolikheten för att en brand uppstår är densamma i alla punkter. Den yta som är kritisk beräknas utifrån en 1,5 meter bred utrymningsdörr som får representera samtliga utrymningsvägar i lokalen. Vid dessa beräkningar antas att hela ytan framför utgången är fri och att en brand där påverkar utrymningsvägen. Då det i vissa fall finns väggar i närheten av

utrymningsvägarna som minskar den tillgängliga arean är det troligt att sannolikheten att en brand blockerar utrymningsväg överskattas något i dessa beräkningar. Dock bedöms det på grund av de redan stora osäkerheterna i dessa beräkningar inte nödvändigt att ta hänsyn till detta.

Ytans area kan beräknas som en halvcirkel och en rektangel. Halvcirkeln har radien 4 alternativt 5 meter. Rektangeln har en sida som är 1,5 meter och den andra är 4 alternativt 5 meter. Se figur 10.4.



Figur 10.4 Kritisk yta för strålning mot utrymningsväg.

Beräkningarna ger följande resultat för de olika avstånden:

4m:

$$A = \frac{\pi * 4^2}{2} + 4 * 1,5 = 31 \text{ m}^2$$

5m:

$$A = \frac{\pi * 5^2}{2} + 5 * 1,5 = 47 \text{ m}^2$$

Då den studerade samlingslokalen har en total golvyta av 611 m² blir sannolikheten att en eventuell brand blockerar en specifik utgång 0,05 (31/611) alternativt 0,08 (47/611). Det finns i lokalen fyra utrymningsvägar. Dessa är inte lika breda, dock är bredden på utrymningsvägen ej den dominerande faktorn vid beräkning av areor enligt ovan varför den totala sannolikheten för att en brand blockerar någon av utrymningsvägarna beräknas vara fyra gånger så stor som de nyss beräknade värdena. Detta innebär att sannolikheten blir 0,20 för fallet med 4 meter och 0,32 för fallet med 5 meters avstånd till den valda strålningsnivån. Återigen betonas osäkerheten i dessa beräkningar och sannolikheten bedöms ligga i intervallet 0,20 till 0,30. Då ingen bedömning av vilket utav dessa värden som är mest trovärdigt görs antas parametern kunna beskrivas med en likformig fördelning med minimum 0,20 och maximum 0,30 vilken även visas i tabell 10.7.

Tabell 10.7 Sannolikhet att brand blockerar utrymningsväg.

Parameter	Fördelning (-)
Sannolikhet att brand blockerar utrymningsväg	Likformig (0,20 ; 0,30)

Vad gäller bedömning av sannolikhet att en utrymningsväg blockeras av annat än brand så är detta som tidigare nämnts komplicerat. Information som oftast inte är tillgänglig hade varit önskvärd för att kunna göra en god bedömning då detta är att betrakta som en organisationsfaktor. I denna exempelanalys görs endast en grov bedömning av detta för att möjliggöra vidare beräkningar.

I den aktuella lokalen bedöms huvudentrén och de båda utrymningsvägarna som leder direkt till det fria löpa obetydlig risk att blockeras av föremål eller vara låsta under den tid som verksamheten är öppen. Detta då dessa kontrolleras regelbundet. Dock så bedöms utrymningsvägen som leder till ett utrymningstrapphus vid den mindre baren vara mer känslig. Fler lokaler i byggnaden kan använda denna, och det är därför svårt att helt undvika att denna i viss mån används som tillfälligt lagringsutrymme, vilket också kan leda till att dörrar till denna utrymningsväg hålls låsta. En grov uppskattning görs i det här fallet att sannolikheten att denna utrymningsväg är blockerad är runt 10 %. Då underlaget för denna bedömning är mycket osäker används även här en likformig fördelning med minimum 0 och maximum 0,20. Observera att detta endast gäller för en av utrymningsvägarna, den vid den mindre baren. Resultatet ges i tabell 10.8.

Tabell 10.8 Sannolikhet för låst eller av föremål blockerad utrymningsväg.

Parameter	Fördelning (-)
Sannolikhet för låst eller av föremål blockerad utrymningsväg	Likformig (0,00 ; 0,20)

Dessa resultat skall för att kunna användas i händelseträdet översättas till sannolikhetsfördelningar för en respektive två blockerade utrymningsvägar. Om sannolikheten för att brand blockerar utrymningsväg betecknas P_B och sannolikheten att utrymningsvägen är låst eller blockerad av föremål betecknas P_L kan detta uttryckas matematiskt. För blockering av en utrymningsväg gäller att denna är sannolikheten för antingen att brand blockerar eller att den är låst/blockerad av föremål. Avdrag måste dock göras för de fall då detta inträffar samtidigt. Då det endast är en av fyra utrymningsvägar som bedöms kunna blockeras av annat än brand måste hänsyn även tas till detta. För att två utrymningsvägar skall blockeras krävs att villkoret att brand blockerar en utrymningsväg uppfylls samtidigt som även en utrymningsväg måste vara blockerad av annan anledning. Då endast en utrymningsväg kan blockeras av annat än brand, skall även villkoret att branden måste uppstå kring någon av de andra utrymningsvägarna vara uppfyllt. Detta innebär att sannolikheten reduceras med $\frac{1}{4}$.

Sannolikhet för en blockerad utrymningsväg :

$$P_1 = P_B + P_L - \frac{P_B}{4} * P_L$$

Sannolikhet för två blockerade utrymningsvägar :

$$P_2 = P_B * P_L * \frac{3}{4}$$

$P_B \in$ Likformig (0,20 ; 0,30)

$P_L \in$ Likformig (0,00 ; 0,20)

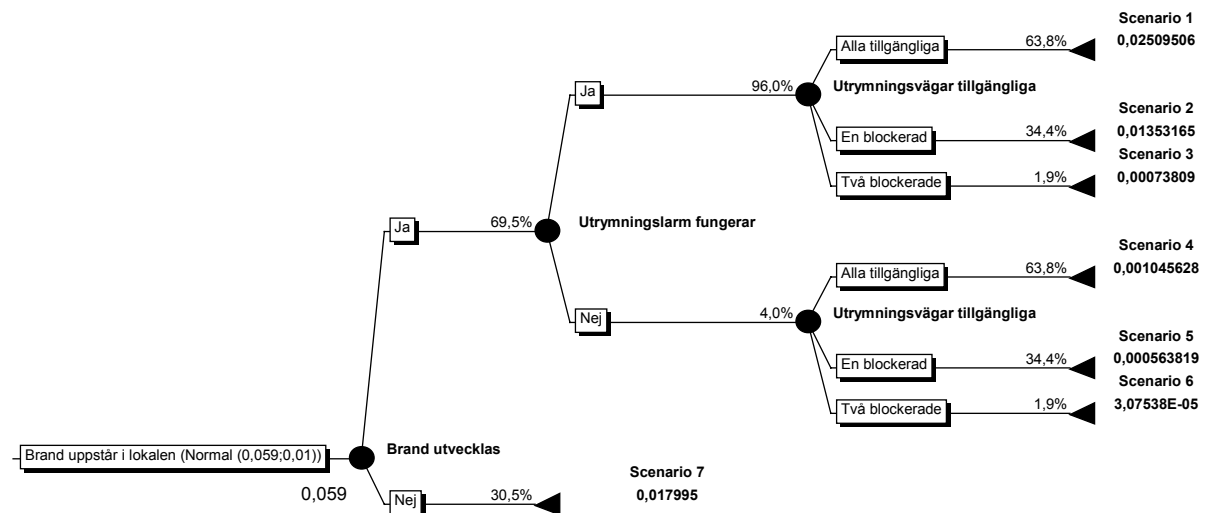
10.6 Frekvensanalys

De framtagna värdena på startfrekvens och olika sannolikheter används för att med Monte Carlo-simuleringar möjliggöra bedömningar av med vilken frekvens de olika scenarierna i händelseträdet kan förväntas uppkomma samt hur stora osäkerheterna i scenariernas

frekvenser är. De framräknade frekvenserna används sedan tillsammans med olika resultat från konsekvensanalysen för riskberäkningar. I dessa har frekvenserna för de olika scenarierna från händelseträdet följande beteckningar, se tabell 10.9. Medelfrekvenserna för de olika scenarierna visas i figur 10.5.

Tabell 10.9 Beteckningar för scenarierna i händelseträdet.

Scenario	Frekvensbeteckning
1	f_1
2	f_2
3	f_3
4	f_4
5	f_5
6	f_6
7	f_7



Figur 10.5 Händelsetråd med medelfrekvenser.

10.7 Indata till konsekvensanalys

10.7.1 Allmänt

I konsekvensanalysen bedöms de olika scenariernas konsekvenser utifrån beräkningar av brand- och utrymningsförlopp. Till dessa beräkningar krävs vissa indata som beskriver brandens egenskaper och parametrar som påverkar den tid som åtgår för utrymning. De indata som används i riskanalysen beskrivs nedan och omfattar följande parametrar:

- Brandens tillväxthastighet
- Brandens maximala effektutveckling
- Personfördelning i lokalen
- Varseblivningstid
- Tid för reaktion och beslut
- Personflöden i dörrar och trappor för beräkning av gångtid

Vidare beskrivs vilka fall som simuleras i beräkningsprogram för att beräkningarna skall kunna motsvara scenarierna i händelseträdet. Ett antal olika fall med variationer i indata

simuleras för att möjliggöra framtagandet av ekvationer för tid till kritiska och dödliga förhållanden samt för gångtider vid utrymning.

10.7.2 Brandens tillväxthastighet och maximala effektutveckling

I bedömningen av den risk som brand i den aktuella lokalen innebär antas att brandens tillväxthastighet kan beskrivas med den sannolikhetsfördelning som tas fram i kapitel 4. En osprinklad brand förutsätts växa till en maximal effektutveckling på omkring 3 MW för att sedan stanna vid detta värde.

Detta innebär att brandens egenskaper kan beskrivas med följande egenskaper, visade i tabell 10.10.

Tabell 10.10 Brandens egenskaper.

Alfa (W/s^2)	Q_{max}
Weibull (1,9310;35,808)	3 MW

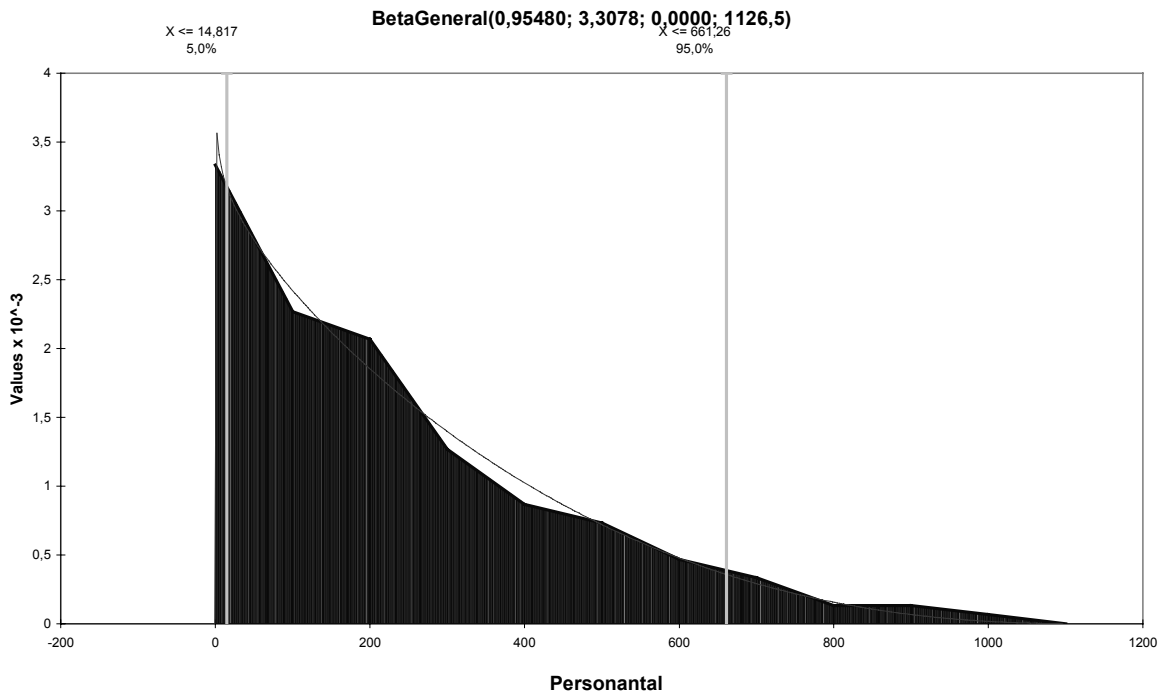
10.7.3 Personfördelning i lokalen

Personfördelning i lokalen erhålls genom uppgifter om antalet besökare under veckans dagar och dygnets olika timmar. Detta ger personantal enligt tabell 10.11.

Tabell 10.11 Antal besökare i studerad samlingslokal.

Ungefärligt antal besökare	Antal timmar per vecka
0	50
100	34
200	31
300	19
400	13
500	11
600	7
700	5
800	2
900	2
1000	1
1100	0

Detta simuleras i Bestfit för att erhålla en kontinuerlig fördelning vilken visas i figur 10.6. Detta görs då värdena på antal besökare är ungefärliga avrundade värde och det är troligare att personfördelningen kan beskrivas med en kontinuerlig fördelning då det vid tillfällen även förekommer besökarantal mellan de jämna hundratal som anges här.



Figur 10.6 Personfördelning i studerad samlingslokal.

Bestfit föreslår en betageneralfördelning. I riskanalysen beskrivs personfördelningen med framtagen betageneralfördelning, se tabell 10.12.

Tabell 10.12 Personfördelning i studerad samlingslokal.

Parameter	Framtagen fördelning
Personantal i lokalen	Betageneral (0,95480;3,3078;0;1126,5)

10.7.4 Varseblivningstid

Varseblivningstiden beskrivs för fallet då utrymningslarm fungerar med framtaget uttryck för tid till detektion enligt kapitel 8.2.3.

$$t_d = 17,346 + 14,6d + 11,367H - 0,284\alpha; \quad 0m < d < 1m; \quad R = 0,773$$

$$t_d = 84,756\alpha^{-0,34435} * H^{0,463708} * d^{0,474794}; \quad 1m \leq d; \quad R = 0,994$$

α = Brandens tillväxthastighet i W/s^2

H = Takhöjd i meter

d = Horisontellt avstånd från branden i meter

R = Mått på regressionens överensstämmelse med materialet

Då takhöjden är densamma i hela lokalen, 3,2 meter, får ekvationerna följande utseende:

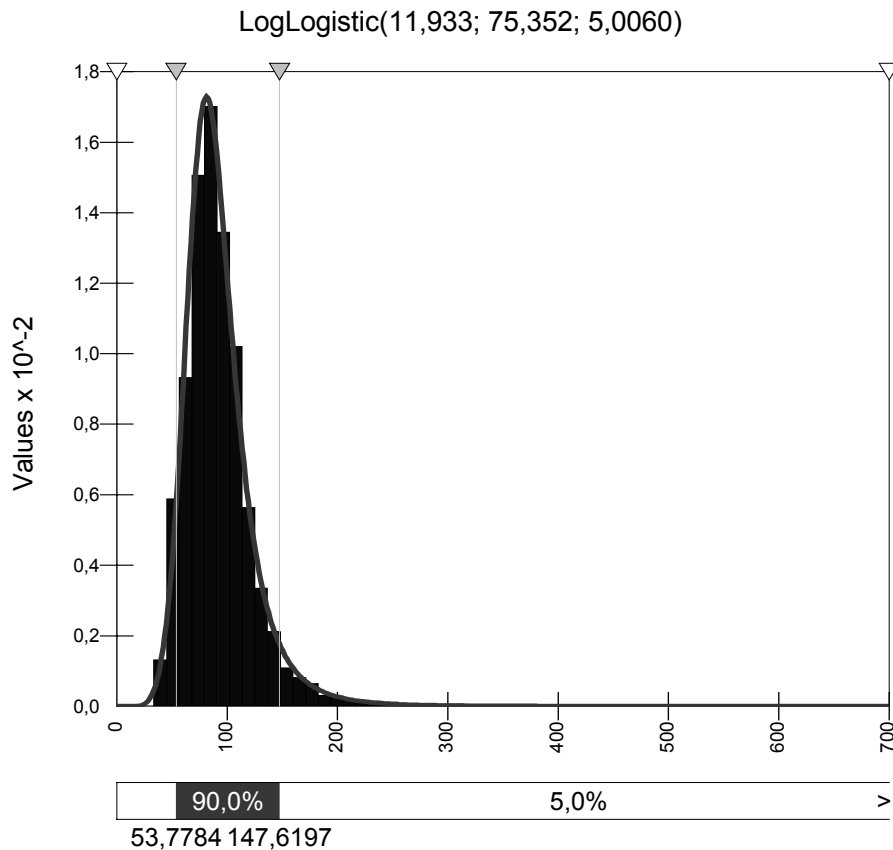
$$t_d = 53,7204 + 14,6d - 0,284\alpha; \quad 0m < d < 1m; \quad R = 0,773$$

$$t_d = 145,349\alpha^{-0,34435} * d^{0,474794}; \quad 1m \leq d; \quad R = 0,994$$

α = Brandens tillväxthastighet i W/s^2 , Weibull (1,9310;35,808)

d = Horisontellt avstånd från branden i meter, Triang (0;5;7,07)

I ekvationerna beskrivs brandens tillväxthastighet med framtagen fördelning enligt kapitel 4 och detektorns horisontella avstånd till branden med framtagen fördelning enligt kapitel 8.2.2 Monte Carlo-simuleringar av denna parameter ger ett utseende enligt figur 10.7.



Figur 10.7 Varseblivningstid vid fungerande utrymningslarm.

Resultaten bygger på 5000 iterationer. Medelvärdet blir cirka 90 sekunder och 90 % av fallen täcks in mellan 50 och 150 sekunder. Brandens tillväxthastighet och avståndet till detektorn påverkar resultaten i olika grad. Se tabell 10.13 nedan:

Tabell 10.13 Tillväxthastighetens och avståndets inverkan på detektionstiden.

Indata	Signifikans (regressionsvärde)
α Weibull(1,931;35,808)	-0,637
d Triang(0; 5; 7,07)	0,553

Tabellen utläses som att högre värden på α ger kortare detektionstider (negativ signifikans) och högre värden på d ger längre detektionstider (positiv signifikans). Värdena antyder att brandens tillväxthastighet påverkar resultatet i något större utsträckning än det horisontella avståndet från brand till detektor.

För bedömning av varseblivningstid för de fall då utrymningslarm ej fungerar används enligt kapitel 8.3 den fördelning som föreslås av Angerd /30/ för butiker med golvarea 600 m². Detta då reaktionstiden enligt tidigare resonemang antas bero på persontätheten i lokalen samt lokalens överblickbarhet, vilket innebär att även en samlingslokal med ett större antal

besökare kan förväntas upptäcka branden i ett någorlunda tidigt skede. Varseblivningstiden beskrivs för fallet då larm ej fungerar med följande fördelning, se tabell 10.14.

Tabell 10.14 Varseblivningstid vid ej fungerande larm.

Parameter	Använd fördelning
Varseblivningstid, ej larm	Lognormal (90;30)

Detta innebär att varseblivningstiden vid fungerande och ej fungerande larm blir ungefär lika stora. Detta förefaller inte orimligt i en lokal av denna storlek med stor persontäthet. I större lokaler ökar dock varseblivningstiden vid ej fungerande larm.

10.7.5 Tid för reaktion och beslut

Reaktionstiden i lokalen förväntas bero på huruvida utrymningslarmet fungerar eller ej. I kapitel 8.4.4 presenteras en undersökning där förslag på reaktionstider för olika fall på ett diskotek ges. För fallet då ett talat meddelande finns har bedömningen gjorts att reaktionstiden i medeltal är cirka 2½ minut. Detta gäller dock för ett fall där DJ:n vid larm måste stänga av musiken, tända ljuset och sätta på en CD-skiva med det inspelade meddelandet vilket innebär att en del av denna tid är att betrakta som varseblivningstid. Tidsåtgången för DJ:n att reagera på larmet och utföra sina uppgifter är svårbedömd, men den understiger antagligen inte 1 minut. Reaktionstiden som föreslås gäller dessutom för en person som befinner sig i ett annat rum än det där branden startar. I den aktuella lokalen finns ett utrymningslarm kopplat till ett detektionssystem. Larmet är utformat som ett talat meddelande och startar vid detektion. Musiken stängs också av och ljuset tänds då en brand detekterats. Då lokalen dessutom är att betrakta som tämligen öppen utan avgränsade rum i någon större omfattning förväntas personer komma i kontakt med branden och fatta beslut om utrymning i ett tidigare skede. Reaktionstiden i den aktuella lokalen beskrivs med fördelning enligt tabell 10.15.

Tabell 10.15 Reaktionstid vid fungerande larm.

Parameter	Använd fördelning
Reaktionstid, fungerande larm	Lognormal (50;25)

Utrymningslarmet ger besökarna information om vad som hänt och vad som förväntas av dem, därför är en längre reaktionstid att vänta då larmet ej fungerar. Hur mycket längre tiden blir är svårbedömt. Brandsimuleringar som genomförs senare i analysen visar att brandgaser efter cirka 170 sekunder börjat täcka taket även i den del av lokalen som befinner sig längst bort från branden. Detta gäller även vid bränder med långsamt förlopp. Varseblivningstiden är i medeltal 90 sekunder i enlighet med kapitel 10.7.4. Personer antas reagera då brandgaser täcker hela takytan, och reaktionstiden blir då i medeltal 80 sekunder. Reaktionstiden vid icke fungerande larm beskrivs i analysen med fördelning enligt tabell 10.16.

Tabell 10.16 Reaktionstid vid ej fungerande larm.

Parameter	Använd fördelning
Reaktionstid, ej fungerande larm	Lognormal (80;40)

10.7.6 Indata till utrymningsberäkningar i STEPS

Bredder i utrymningsvägar och utrymningsvägars placering har antagits utifrån antagen rumsgeometri. Dessa värden ligger till grund för beräkning av maximala flöden genom dörrar och trappor. De ekvationer som används till detta presenteras i kapitel 7.2. De använda ekvationerna ger personflöden i utgångar och trappor vilka redovisas i tabell 10.17.

Tabell 10.17 Personflöden i utrymningsvägar.

Utgång	Bredd i meter	Maximalt personflöde i personer/sekund
Huvudentré	1,4	1,56
Huvudentré trappa	1,5 (1,3 effektiv)	1,50
Utgång vid scen	2,4	2,71
Utgång vid DJ-bås	1,6	1,79
Utgång vid lilla baren	1,2	0,83
Trappa vid lilla baren	1,2 (1,0 effektiv)	1,15

Utgången till trappan vid lilla baren räknas här som en utgång där personer har dålig lokalkännedom och personflödet sjunker därför här. De övriga alternativa utrymningsvägarna ges dock flöden som beräknas enligt ekvationer för dörrar där besökare känner igen sig. Detta motiveras med att de ligger synligt för många besökare och att de mynnar direkt till det fria så att personer kan se var de kommer om de använder dessa utgångar.

10.7.7 Simulerade utrymningsfall

Vid simuleringarna tas hänsyn till att personantalet kan variera samt att utrymningsvägar kan vara blockerade. Vid hänsyn till blockerad utgång antas utgången vid DJ-båset blockeras, och detta får av beräkningstekniska skäl representera samtliga fall där en utrymningsväg blockeras. Vid två blockerade utrymningsvägar blockeras även utrymningstrappan vid den mindre baren. Simulerade scenarier visas i tabell 10.18 nedan.

Tabell 10.18 Simulerade utrymningsfall.

Personantal	Utrymningsvägar fria	En utrymningsväg blockerad	Två utrymningsvägar blockerade
200	X		
400	X		
600	X		
800	X		
1000	X		
200		X	
400		X	
600		X	
800		X	
1000		X	
200			X
400			X
600			X
800			X
1000			X

Detta innebär att totalt femton fall simuleras. Resultaten används sedan för att ta fram ett ekvationssamband mellan personantal och gångtiden t_g för både fallet med fria utrymningsvägar och fallet med en blockerad utrymningsväg.

10.7.8 Indata till FAST

Som indata till FAST anges dels aktuell lokals geometri dels brandens egenskaper. FAST kan endast hantera rektangulära rum, och med anledning utav detta förenklas geometrin. Lokalen delas också in i fyra olika rum med som är helt öppna mot varandra förutom en decimeter längst upp vid taket. Detta för att undvika att brandgaser momentant sprider sig längs taket i hela lokalen. Denna metod innebär en viss fördröjning utav brandgasspridningen längs taket och ger ett mer realistiskt förlopp. I figur 10.8 visas rumsindelningen i FAST.



Figur 10.8 Samlingslokalens utseende i FAST.

Branden placeras mitt i rum 1. Brandens egenskaper varieras, för närmare information om simulerade brandförlopp, se kapitel 10.7.9.

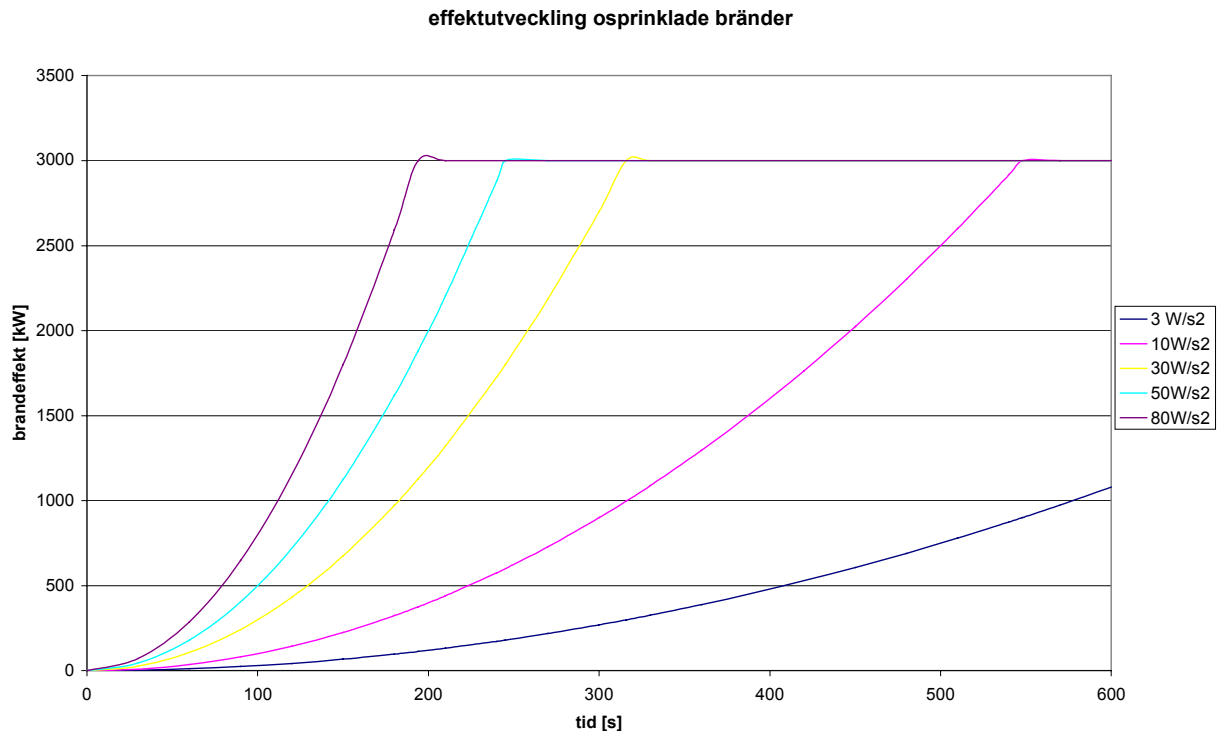
10.7.9 Simulerade brandförlopp

Fem olika tillväxthastigheter simuleras, se tabell 10.19, för att ge en bild av hur detta påverkar tiden till kritiska förhållanden.

Tabell 10.19 Beskrivning av simulerade brandförlopp.

Alfa (W/s^2)	Tid till 1 MW	Tid till 3 MW
3	578 s	1000 s
10	316 s	548 s
30	183 s	316 s
50	141 s	245 s
80	112 s	194 s

Bränderna antas nå en effekt av 3 MW för att sedan stanna vid detta värde. Beräkning av tid till kritiska och dödliga förhållanden visar att maximal effektutveckling ej uppnås innan kritiska förhållanden. Vid mycket snabba brandtillväxter uppnås brandens maxeffekt kort innan dödliga förhållanden uppkommer. Således är brandens maxeffekt en mindre viktig faktor än brandens tillväxthastighet vid beräkning av dessa tider. I FAST anges brändernas tider till dess de når 1 MW och tid till maxeffekt enligt tabell ovan. Detta ger effektkurvor som visas i figur 10.9.



Figur 10.9 Effektutvecklingskurvor för brandförloppsberäkningar.

Maxeffekten i FAST är på grund av skillnader i avrundning något större än 3 MW, skillnaden är dock liten och ej avgörande för analysen.

Slutligen simuleras även ett scenario med en konstant brandeffekt av 3 MW för att undersöka effekten utav detta.

10.8 Resultat från simuleringarna

10.8.1 Allmänt

FAST beräknar tid till kritiska förhållanden för de olika tillväxthastigheterna och STEPS beräknar gångtiden ut för de olika simulerade personantalen. Det är viktigt att ha i åtanke att beräknade resultat inte representerar exakta värden utan bygger på antaganden och empiriskt framtagna ekvationer som innehåller osäkerheter. Vidare gäller för brandsimuleringar att tiden till kritiska förhållanden i viss mån blir föremål för bedömning. Lokalt kan kritiska förhållanden uppstå i mindre utrymmen i lokalen medan övriga delar är mindre påverkade. I dessa fall görs en samlad bedömning av förhållandena i hela lokalen för bestämning av tid till kritiska förhållanden.

10.8.2 Resultat från utrymningsberäkningar

Gångtiderna för de olika fallen beskrivna i kapitel 10.7.7 beräknas med hjälp av STEPS. Utdata och indata ges översiktligt i bilaga C. Resultat visas i tabell 10.20.

Tabell 10.20 Resultat från simulerade utrymningsfall.

Personantal	Tid (s) utrymningsvägar fria	Tid (s) en utrymningsväg blockerad	Tid (s) två utrymningsvägar blockerade
200	66	78	89
400	101	126	150
600	133	175	201
800	159	219	251
1000	201	262	302

De ur STEPS beräknade totala utrymningstiderna är tio sekunder längre än de som presenteras här. Detta då STEPS beräknar hela tiden tills den sista personen lämnat trapphuset vid huvudentrén. Tiderna här motsvarar tid tills den sista personen nått trapphuset och kan anses befinna sig i säkerhet.

Dessa värden används för att genom regression ta fram ekvationer för gångtiden som funktion av personantalet. Här används även att 0 besökare ger en utrymningstid på 0 s. Resultaten innebär att gångtiderna kan beskrivas med följande ekvationer för de olika fallen. Personantalet beskrivs med fördelning framtagen i kapitel 10.7.3.

$$t_{g0} = 3 \cdot 10^{-7} P^3 - 0,0005P^2 + 0,4038P, \text{ då inga utgångar är blockerade}$$

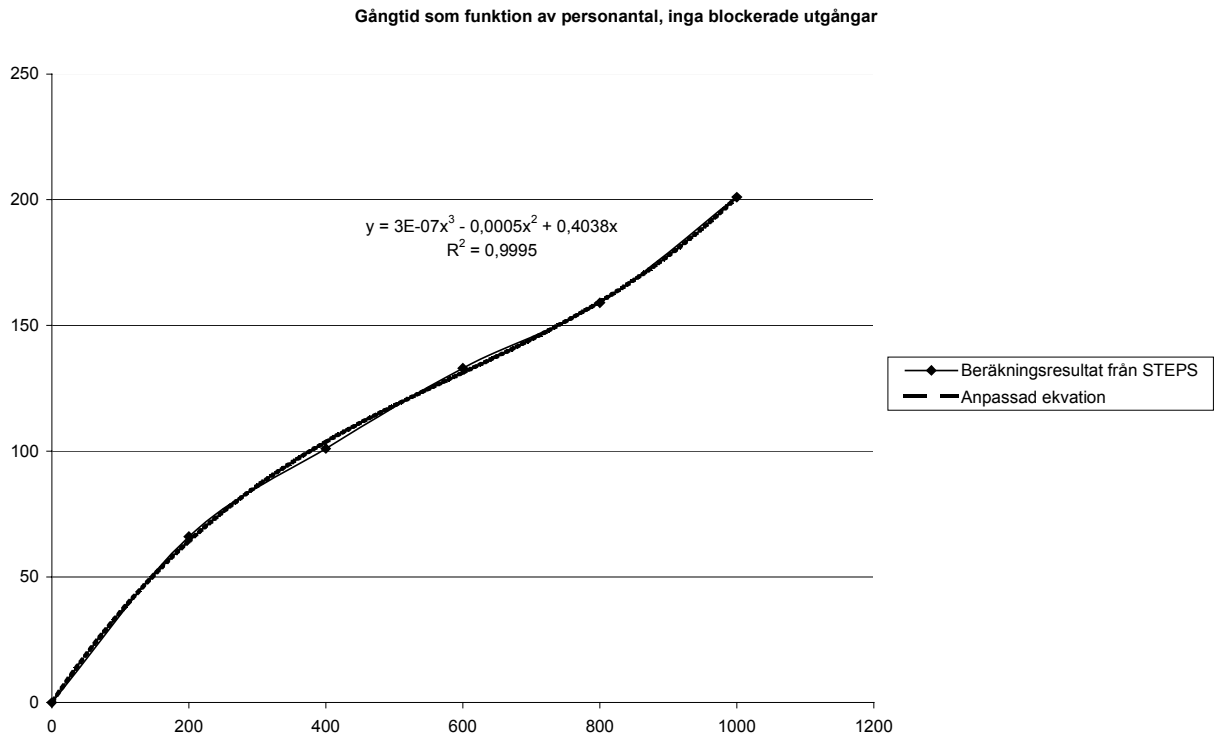
$$t_{g1} = 2 \cdot 10^{-7} P^3 - 0,0003P^2 + 0,4277P, \text{ då en utgång är blockerad}$$

$$t_{g2} = 2 \cdot 10^{-7} P^3 - 0,0004P^2 + 0,5097P, \text{ då två utgångar är blockerade}$$

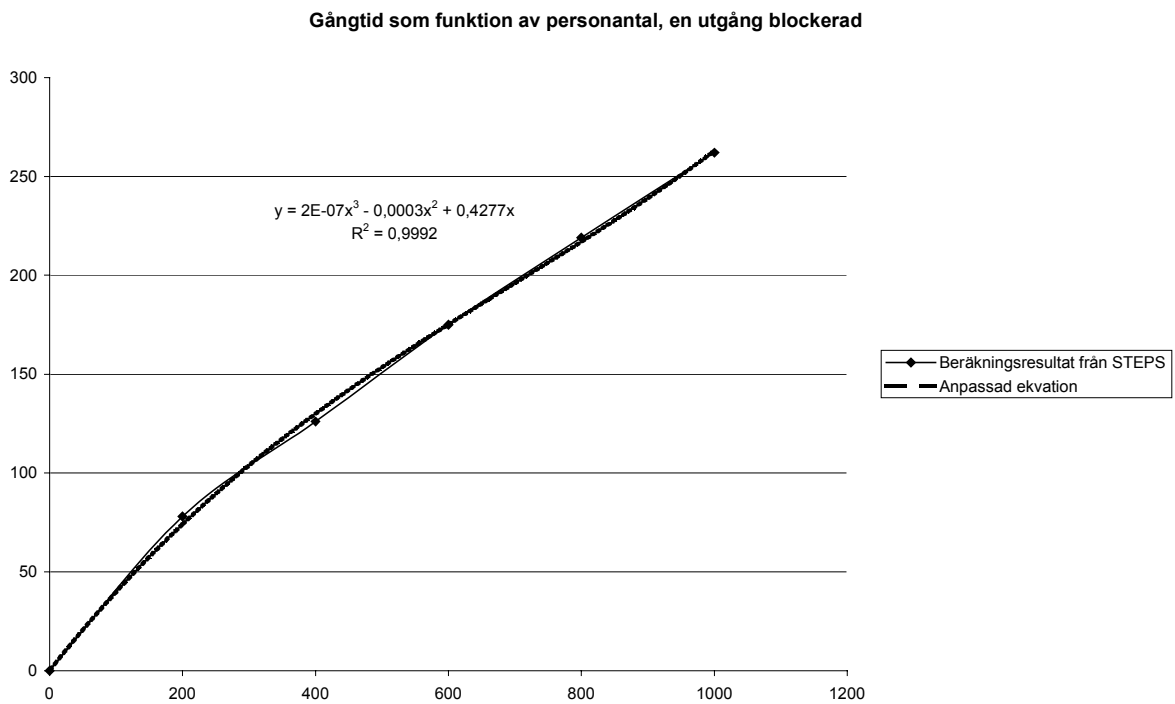
$$t_g = \text{gångtid i sekunder}$$

$$P = \text{personantal, Betageneral } (0,95480;3,3078;0;1126,5)$$

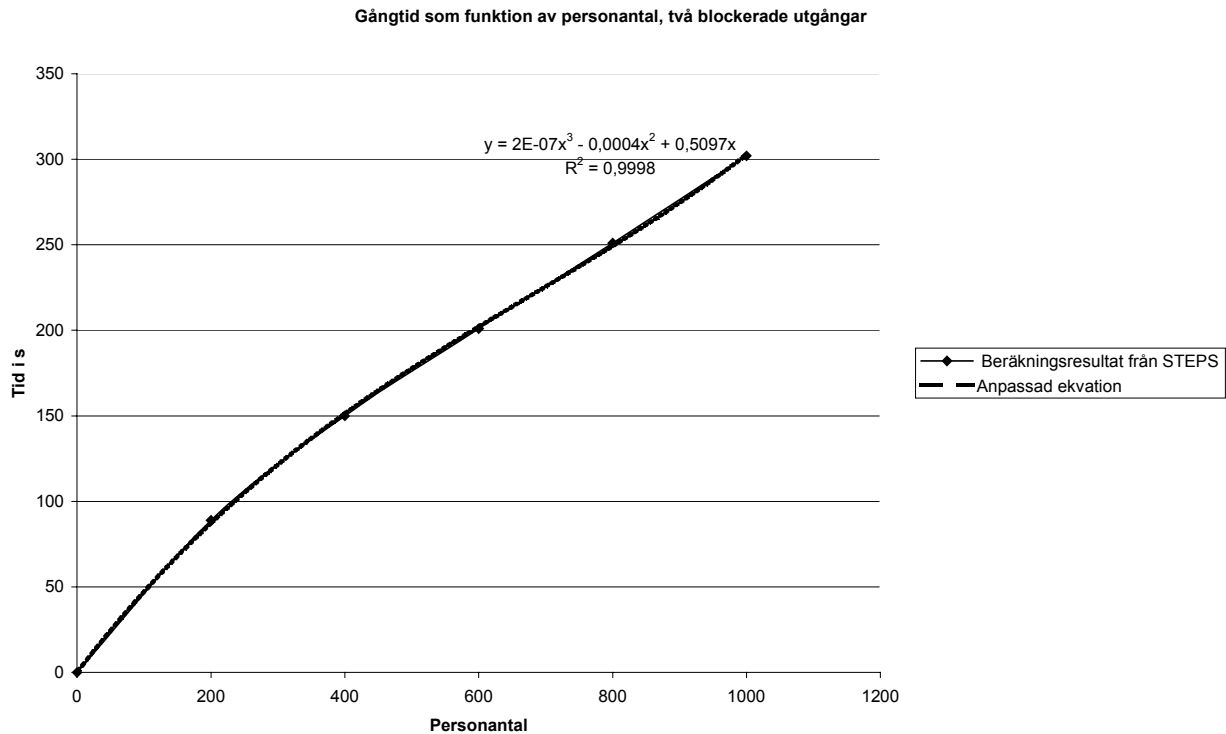
Grafer som beskriver dessa uttryck visas i figur 10.10 - 10.12.



Figur 10.10 Gångtid som funktion av personantal, inga blockerade utgångar.



Figur 10.11 Gångtid som funktion av personantal, en utgång blockerad.



Figur 10.12 Gångtid som funktion av personantal, två utgångar blockerade.

10.8.3 Resultat från brandförloppsberäkningar

De olika brandförloppen simuleras och tid till kritiska förhållanden bestäms utifrån utdata från FAST. Utdata i form av tabeller som beskriver tid till kritiska och dödliga förhållanden ges i bilaga C.2.2. Där anges också förhållanden i de olika rummen vid bedömd tid till kritiska och dödliga förhållanden. Som villkor för kritiska förhållanden sätts att brandgaslagrets höjd skall vara ≤ 1.9 meter samtidigt som temperaturen i brandgaserna är minst 80°C . Temperaturerna når inte nivåer som gör det intressant att studera strålning mot de utrymmande. FAST bedöms ej heller vara ett tillräckligt verktyg för siktberäkningar varför detta inte studeras närmare. Som villkor för dödliga förhållanden sätts 1,5 meter för brandgaslagrets höjd samt 120°C i brandgastemperatur /19/.

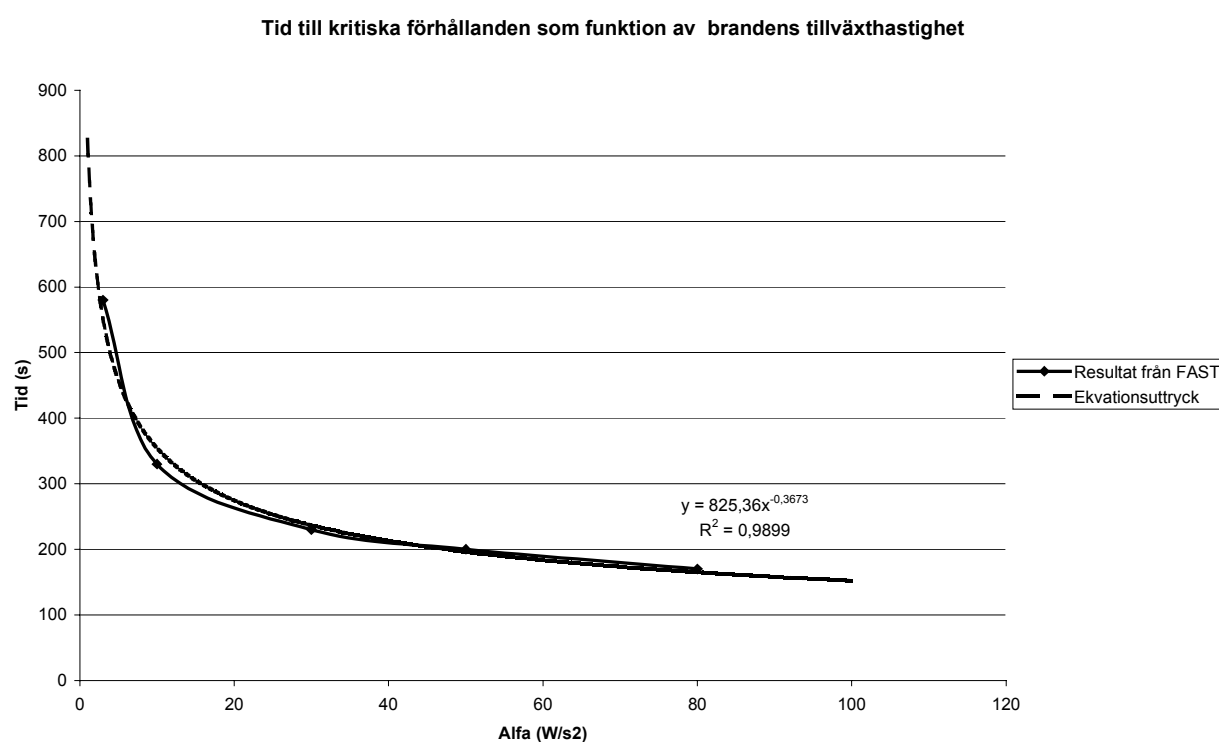
Resultaten från FAST utgör bedömningsunderlag för de tider som eftersöks och beräkningsresultaten tolkas genom att förhållanden i alla de rum som ingår i modellen studeras. De rum som är intressantast ur personsäkerhetssynpunkt är rum 1 och 2. Här befinner sig majoriteten av besökarna och de flesta utrymningsvägarna finns här. För att kritiska förhållanden skall bedömas ha uppstått i dessa rum krävs att kritiska förhållanden enligt ovanstående kriterier skall ha uppstått i ett av rummen, samt att temperaturen i det andra rummet uppnått cirka 70°C . Vid bedömning av tid till dödliga förhållanden krävs att kriterier för detta uppnåtts i ett av rummen samt att temperaturen nått 90°C i det andra rummet.

I resultaten ses att temperaturen stiger fortast i rum 1 som är brandrummet. När brandgaserna fyller de andra rummen sjunker temperaturen på grund av inblandning av luft. Detta innebär att brandgasernas volym ökar, och brandgaslagret sjunker därför tidigare till kritiska nivåer i rum 2, 3 och 4. Dock skall även temperaturkriterierna uppfyllas, varför det oftast är rum 1 och i vissa fall rum 2 som uppnår kritiska förhållanden först. Resultaten från beräkningarna sammanfattas nedan i tabell 10.21, för närmare presentation av beräkningsresultat se bilaga C.2.2.

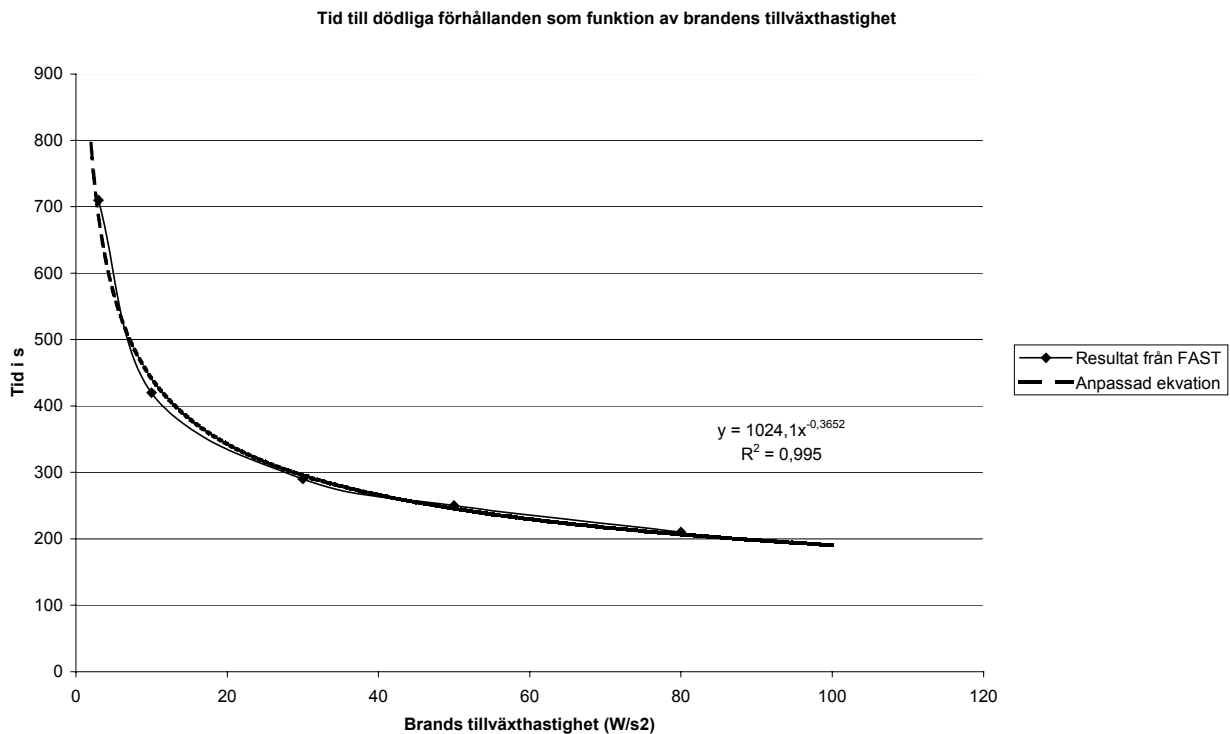
Tabell 10.21 Tid till kritiska förhållanden som funktion av brandens tillväxthastighet.

Alfa (W/s^2)	Tid till kritiska förhållanden (s)	Tid till dödliga förhållanden (s)
3	580	710
10	330	420
30	230	290
50	200	250
80	170	210
∞	80	110

Dessa värden ställs mot varandra i figur 10.13 och 10.14. Detta används för att ta fram ett ekvationssamband mellan tid till kritiska och dödliga förhållanden och brandens tillväxthastighet.



Figur 10.13 Tid till kritiska förhållanden som funktion av brandens tillväxthastighet.



Figur 10.14 Tid till dödliga förhållanden som funktion av brandens tillväxthastighet.

Resultatet från anpassningen av ekvationen ges i bilden och innebär att tiden till kritiska respektive dödliga förhållanden kan beskrivas med följande ekvationer:

$$t_{krit} = 825,36\alpha^{-0,3673}$$

$$R^2 = 0,9899$$

$$t_{död} = 1024,1\alpha^{-0,3652}$$

$$R^2 = 0,995$$

Överensstämmelsen mellan de ur FAST beräknade värdena och den anpassade ekvationen är god. Observera att α i uttrycket ovan kan beskrivas med den framtagna sannolikhetsfördelningen över brands tillväxthastighet i allmän byggnad.

10.9 Beräkning av säkerhetsmarginal

10.9.1 Allmänt

I de följande kapitlena beräknas sannolikhetsfördelningar för säkerhetsmarginalen till kritiska och dödliga förhållanden. I beräkningarna av säkerhetsmarginalen jämförs tid till kritiska och dödliga förhållanden med den tid som åtgår för utrymning. Detta ger en bild av i hur många fall som tiden till utrymning överstiger tid till kritiska och dödliga förhållanden vilket innebär att personer exponeras för kritiska och dödliga förhållanden. Senare i kapitel 10.10 används dessa beräkningar för närmare studier så att även en bedömning av konsekvensernas omfattning kan göras och sannolikheter för olika konsekvensscenarier kan bestämmas.

10.9.2 Uttryck för säkerhetsmarginalen

Ett uttryck för säkerhetsmarginalen för de olika sluthändelserna i händelseträdet kan nu tas fram. Olika uttryck tas fram för de olika scenarierna då dessa får olika parametervärden i uttrycken. Grundekvationen för säkerhetsmarginalen är:

$$S_{krit} = t_{krit} - t_v - t_r - t_g$$

$$S_{död} = t_{död} - t_v - t_r - t_g$$

S = säkerhetsmarginal; t_{krit} = tid till kritiska förhållanden; $t_{död}$ = tid till dödliga förhållanden

t_v = varseblivningstid; t_r = tid för reaktion och beslut; t_g = gångtid

Detta uttryck får olika utseende för de olika scenarierna. Tid till kritiska förhållanden beskrivs med samma uttryck oavsett scenario då inga tekniska system finns som påverkar brandförloppet. Dock påverkas uttrycket för varseblivningstiden av huruvida utrymningslarmet fungerar eller ej. Även reaktionstiden påverkas utav detta. Antalet tillgängliga utrymningsvägar påverkar uttrycket för gångtiden. De framtagna ekvationerna som används för beräkning av säkerhetsmarginalen för de olika scenarierna beskrivs nedan.

Kritiska och dödliga förhållanden :

$$t_{krit} = 825,36\alpha^{-0,3673}; \text{ Gäller för samtliga utfall}$$

$$t_{död} = 1024,1\alpha^{-0,3652}; \text{ Gäller för samtliga utfall}$$

Varseblivningstider :

$$t_{v,larm} = T_d = 53,7204 + 14,6d - 0,284\alpha; \text{ } 0m < d < 1m; \text{ Gäller då utrymningslarm fungerar}$$

$$= T_d = 145,349\alpha^{-0,34435} d^{0,474794}; \text{ } 1m \leq d; \text{ Gäller då utrymningslarm fungerar}$$

$$t_{v,ej\ larm} = \text{Lognormal}(90;30); \text{ Gäller då utrymningslarm ej fungerar}$$

Reaktionstider :

$$t_{r,larm} = \text{Lognormal}(50;25); \text{ Gäller då utrymningslarm fungerar}$$

$$t_{r,ej\ larm} = \text{Lognormal}(80;40); \text{ Gäller då utrymningslarm ej fungerar}$$

Gångtider :

$$t_{g0} = 3 * 10^{-7} P^3 - 0,0005P^2 + 0,4038P, \text{ då inga utgångar är blockerade}$$

$$t_{g1} = 2 * 10^{-7} P^3 - 0,0003P^2 + 0,4277P, \text{ då en utgång är blockerad}$$

$$t_{g2} = 2 * 10^{-7} P^3 - 0,0004P^2 + 0,5097P, \text{ då två utgångar är blockerade}$$

Använda fördelningar i ekvationerna :

$$\alpha = \text{Weibull}(1,9310;35,808)$$

$$d = \text{Triang}(0;5;7,07)$$

$$P = \text{BetaGeneral}(0,9548;3,3078;0;1126,5)$$

SI - enheter används, dvs samtliga tider avser sekunder, brands tillväxthastighet α avser $\frac{W}{s^2}$, och d,

det horisontella avståndet från brand till detektor anges i meter.

Dessa ekvationer ligger till grund för beräkning av säkerhetsmarginalen för de olika scenarierna i händelseträdet. Beräkningarna utförs med hjälp av Monte Carlo-simuleringar, där värden från de använda sannolikhetsfördelningarna i uttrycken simuleras för att ge en bild av sannolikhetsfördelningen för olika scenarier. Programmet gör 5000 simuleringar för varje scenario. Dessa beräkningar sammanfattas för de olika scenarierna i kapitel 10.9.3. Exempel på grafer som illustrerar dessa fördelningars utseende återges i bilaga C.5.2.

10.9.3 Beräkning av säkerhetsmarginalen

De olika scenarierna i händelseträdet får olika uttryck för säkerhetsmarginalen.

Scenario 1

Brand- och utrymningslarmet fungerar och samtliga utrymningsvägar är tillgängliga.

$$S_{krit} = t_{krit} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g0}$$

$$S_{död} = t_{död} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g0}$$

Scenario 2

Brand- och utrymningslarmet fungerar, en utrymningsväg är blockerad.

$$S_{krit} = t_{krit} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g1}$$

$$S_{död} = t_{död} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g1}$$

Scenario 3

Brand- och utrymningslarmet fungerar, två utrymningsvägar är blockerade.

$$S_{krit} = t_{krit} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g2}$$

$$S_{död} = t_{död} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g2}$$

Scenario 4

Brand- och utrymningslarmet fungerar ej, samtliga utrymningsvägar är tillgängliga.

$$S_{krit} = t_{krit} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g0}$$

$$S_{död} = t_{död} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g0}$$

Scenario 5

Brand- och utrymningslarmet fungerar ej, en utrymningsväg är blockerad.

$$S_{krit} = t_{krit} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g1}$$

$$S_{död} = t_{död} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g1}$$

I

Scenario 6

Brand- och utrymningslarmet fungerar, två utrymningsvägar är blockerade.

$$S_{krit} = t_{krit} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g2}$$

$$S_{död} = t_{död} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g2}$$

Scenario 7

Brand utvecklas ej utan släcks alternativt självslocknar. Inga konsekvenser bedöms uppkomma.

Dessa uttryck Monte Carlo-simuleras med programvaran @RISK. Programmet gör 5000 beräkningar där värden väljs ur de olika uttrycken enligt Latin Hypercube-sampling. De 5000 beräknade värdena utgör observationer av det simulerade uttrycket och resulterar i en sannolikhetsfördelning för konsekvenserna av detta scenario. Nedan visas sannolikhetsfördelningen för säkerhetsmarginalen till kritiska och dödliga förhållanden. Detta skall sedan översättas till en konsekvens i form av personer utsatta för dessa förhållanden. Resultaten sammanfattas i tabell 10.22 och 10.23. Exempel på utseende för dessa fördelningar i form av grafer ges i bilaga C.5.2.

Tabell 10.22 Säkerhetsmarginal till kritiska förhållanden för de olika scenarierna.

Scenario	Andel negativa S_{krit}	Medelvärde	5%-fraktil	Median	95%-fraktil
1	24,6 %	47,8 s	-58,7 s	44,9 s	162,3 s
2	37,0 %	26,2 s	-115,5 s	28,6 s	156,3 s
3	41,9 %	16,1 s	-130,0 s	18,1 s	155,4 s
4	42,6 %	19,8 s	-131,1 s	15,9 s	184,4 s
5	51,8 %	-1,8 s	-177,8	-3,5 s	179,1 s
6	54,9 %	-11,8 s	-188,5 s	-12,3 s	170,3 s
7	-	-	-	-	-

Tabell 10.23 Säkerhetsmarginal till dödliga förhållanden för de olika scenarierna.

Scenario	Andel negativa $S_{död}$	Medelvärde	5%-fraktil	Median	95%-fraktil
1	6,2 %	111,5 s	-5,5 s	105,0 s	252,5 s
2	16,3 %	89,8 s	-59,3 s	87,6 s	242,3 s
3	20,4 %	79,8 s	-75,5 s	78,0 s	243,8 s
4	21,1 %	83,5 s	-79,0 s	74,7 s	274,0 s
5	29,5 %	61,8 s	-123,6 s	55,0	269,8 s
6	34,2 %	51,8 s	-135,2 s	47,3 s	256,7 s
7	-	-	-	-	-

10.10 Bedömning av konsekvenser och beräkning av risk

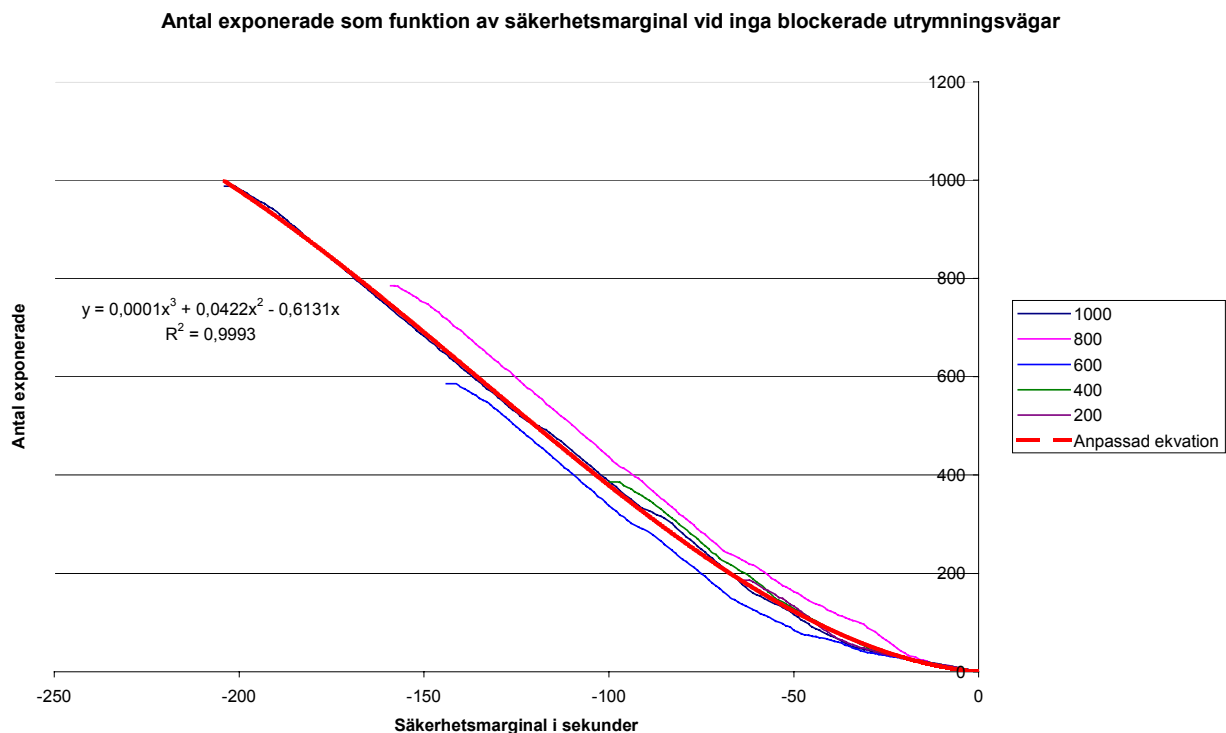
10.10.1 Allmänt

För att kunna bedöma omfattningen av konsekvenserna av de fall med negativ säkerhetsmarginal som beräknats i simuleringarna krävs att den negativa säkerhetsmarginalens storlek kan omvandlas till ett antal exponerade besökare. Till detta krävs information om hur många som kan förväntas befinna sig i lokalen vid olika tidpunkter i utrymningsförloppet. Detta fås från genomförda utrymningssimuleringar.

Vidare kan risken totalt och för de olika scenarierna presenteras på olika sätt. Dels kan den beskrivas som ett förväntat antal exponerade/år. Detta kan tas fram för samtliga scenarier i händelseträdet och sedan adderas ihop för att ge en bild av den totala risken som brand i byggnaden med denna utformning utgör. Detta sätt är effektivt vid jämförelse mellan olika utformningar. Ytterligare information erhålls dock om även sannolikheten för olika stora konsekvenser redovisas. Detta kan göras i ett diagram där frekvensen för olika brandfall ställs mot den förväntade konsekvensen av det fallet. Detta ger även en bild av hur vanligt bränder med stora konsekvenser i form av antal exponerade är i förhållande till mindre allvarliga bränder. Ett sådant diagram kallas normalt riskprofil eller F/N-diagram när antal exponerade motsvaras av antal döda. Antal exponerade för kritiska eller dödliga förhållanden är ej att jämföras med detta.

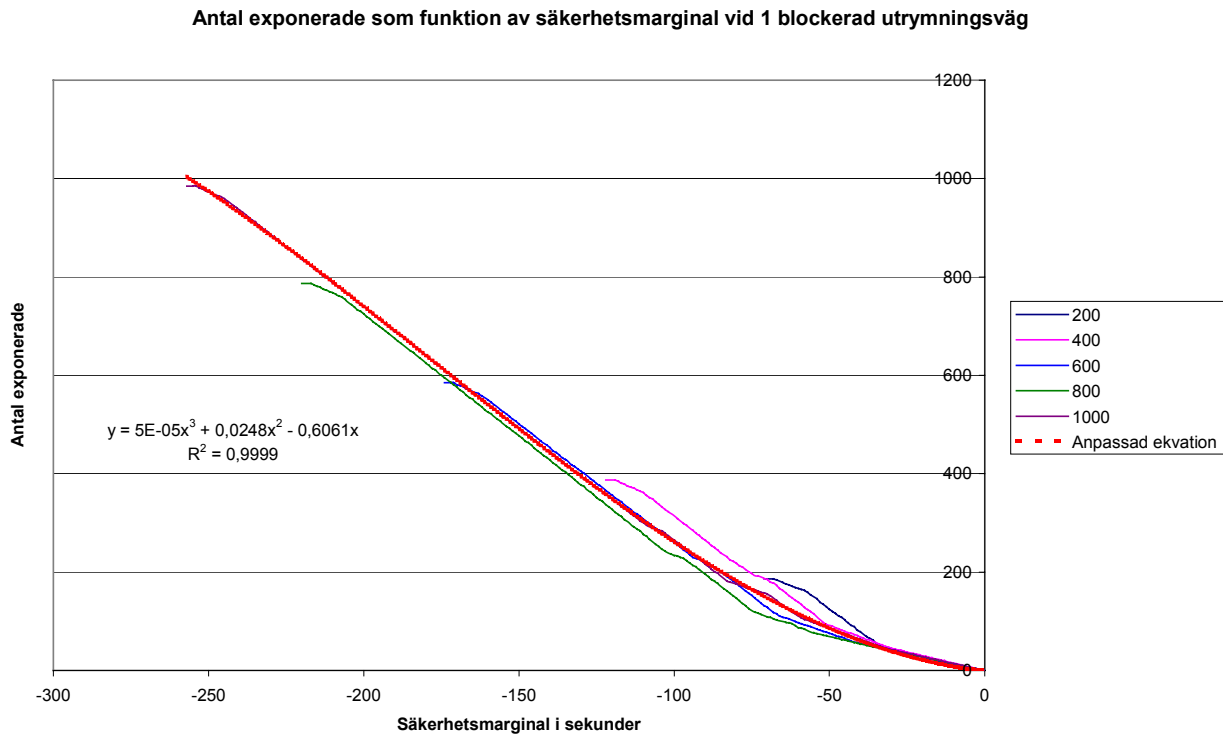
10.10.2 Bedömning av antal exponerade

Bedömning av det antal som kan förväntas exponeras för kritiska eller dödliga förhållanden vid en given storlek på den negativa säkerhetsmarginalen görs utifrån tidigare utförda utrymningssimuleringar. Då det oberoende av personantal i simuleringarna är ungefär samma fördelning av personer till utgångarna förväntas uttrycken för personer kvar som funktion av den negativa säkerhetsmarginalen följa ungefär samma mönster då den negativa säkerhetsmarginalen är liten. Vid stor negativ säkerhetsmarginal ($S < -90$ sekunder) ses i MonteCarlo-simuleringarna att detta företrädesvis inträffar vid stora personantal ($P > \text{ca } 600$ personer). En jämförelse av uttrycken för exponerade personer som funktion av negativ säkerhetsmarginal görs i figur 10.15 nedan.

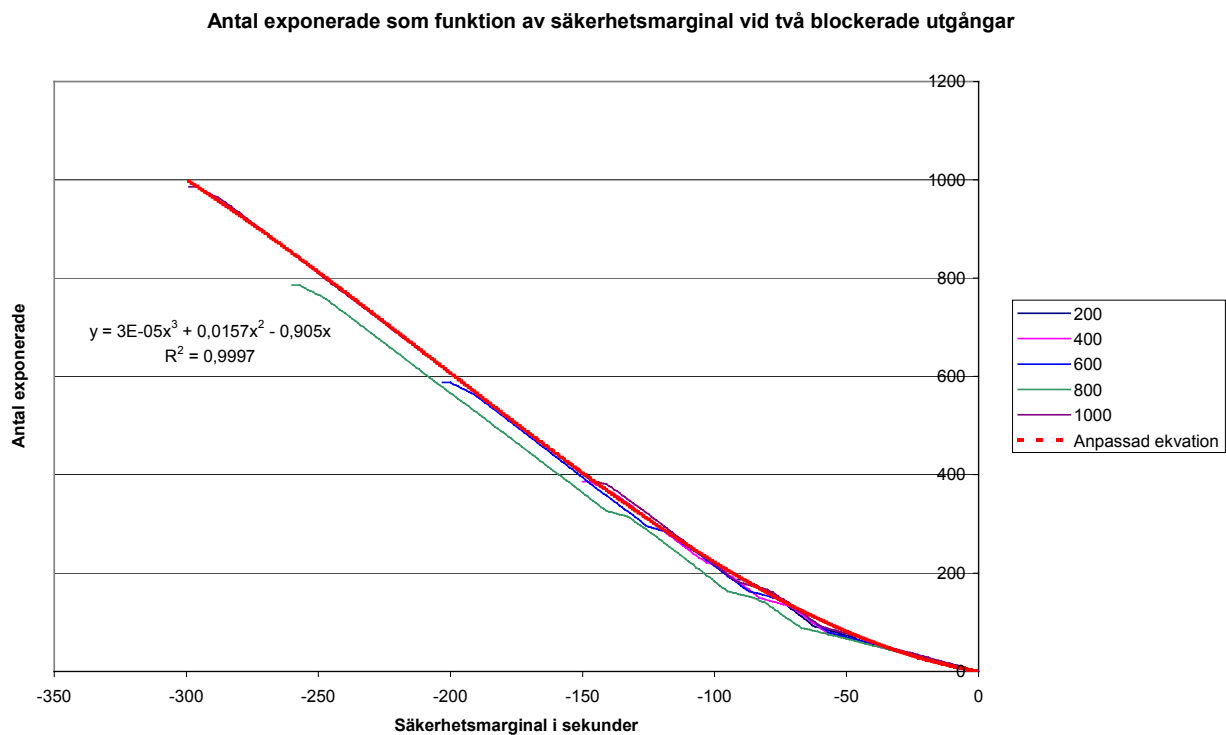


Figur 10.15 Antal exponerade som funktion av säkerhetsmarginal.

I figuren ses att samtliga kurvor ligger förhållandevis nära varandra. Ett uttryck för antal exponerade som funktion av säkerhetsmarginal tas fram utifrån 1000-personerkurvan. Denna bedöms på grund av likheten mellan de olika kurvorna i figuren kunna representera antal exponerade i samtliga fall med inga blockerade utrymningsvägar. Samma procedur genomgås sedan för fallen med en respektive två blockerade utrymningsvägar. Observera att detta är en förenkling som görs för att möjliggöra bedömning av konsekvenserna, och att resultaten från denna bedömning ej är att betrakta som exakta. Som ses i figur 10.15, 10.16 och 10.17 avviker kurvorna något från varandra, vilket innebär att bedömningarna i själva verket har en viss spridning. Studeras vidare flera olika simuleringar med samma personantal ses att dessa får något olika utrymningsförlopp beroende på hur de utrymmande väljer utgångar. Dock bedöms de framtagna ekvationerna ge resultat som ger tillräcklig överensstämmelse för att beräkna antal exponerade utan att avvikelserna blir orimligt stora.



Figur 10.16 Antal exponerade som funktion av säkerhetsmarginal vid en blockerad utrymningsväg.



Figur 10.17 Antal exponerade som funktion av säkerhetsmarginal vid två blockerade utrymningsvägar.

Resultaten sammanfattas i tabell 10.24 nedan. Antal exponerade benämns N_{exp} . Säkerhetsmarginalen benämns S och kan beteckna såväl säkerhetsmarginal till kritiska förhållanden som till dödliga förhållanden.

Tabell 10.24 Antal exponerade som funktion av säkerhetsmarginal.

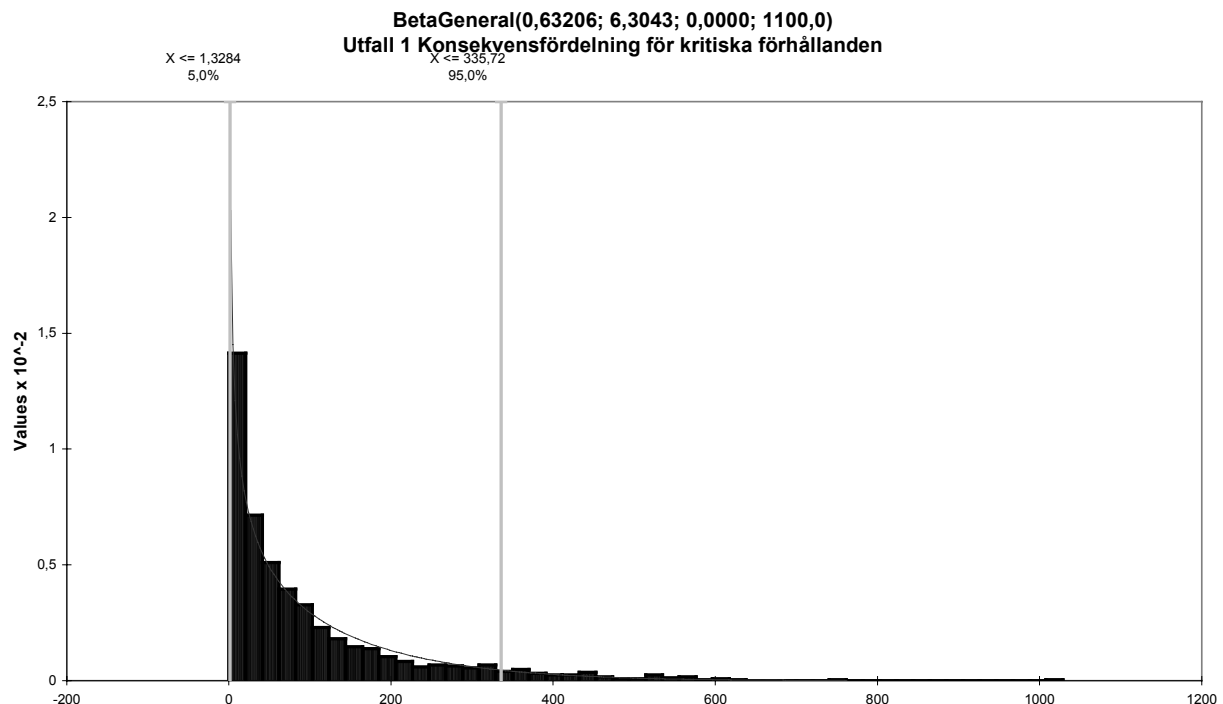
Utrymningsfall	Uttryck för antal exponerade som funktion av säkerhetsmarginal
Ingen utgång blockerad	$N_{\text{exp}}=0,0001S^3+0,0422S^2-0,6131S$
En utgång blockerad	$N_{\text{exp}}=5*10^{-3}S^3+0,0248S^2-0,6061S$
Två utgångar blockerade	$N_{\text{exp}}=3*10^{-3}S^3+0,0157S^2-0,905S$

10.10.3 Beräkning av medelrisk

För beräkning av den risk som starthändelsen brand i lokalen utgör tas fördelningar för konsekvenser vid de olika scenarierna fram. Detta görs genom att det i de Monte Carlo-simuleringar som ligger till grund för fördelningarna över säkerhetsmarginaler filtreras bort samtliga positiva värden. De negativa säkerhetsmarginalerna görs om till konsekvenser i form av exponerade besökare enligt de ekvationer som tagits fram i kapitel 10.10.2. Naturligtvis tas i varje beräkning hänsyn till att antalet exponerade inte kan överstiga det totala personantalet i den iterationen. Vidare begränsas vid anpassningen av en kontinuerlig fördelning konsekvensen till intervallet $0 \leq N_{\text{exp}} \leq 1100$. På så sätt erhålls en konsekvensfördelning för varje scenario som anger sannolikheten för olika antal exponerade personer givet att sluthändelsen inträffat och att säkerhetsmarginalen i scenariet blivit negativ. För beräkning av risk multipliceras denna fördelning med frekvensen för det aktuella scenariet samt med en faktor som anger andelen scenarier som får konsekvens, det vill säga andelen scenarier med negativ säkerhetsmarginal. Samtliga scenarier adderas sedan för bedömning av den totala risken. En närmare beskrivning av det använda tillvägagångssättet ges i kapitel 9.5.2. Nedan illustreras konsekvensfördelningen för scenario 1 i figur 10.18 och 10.19.

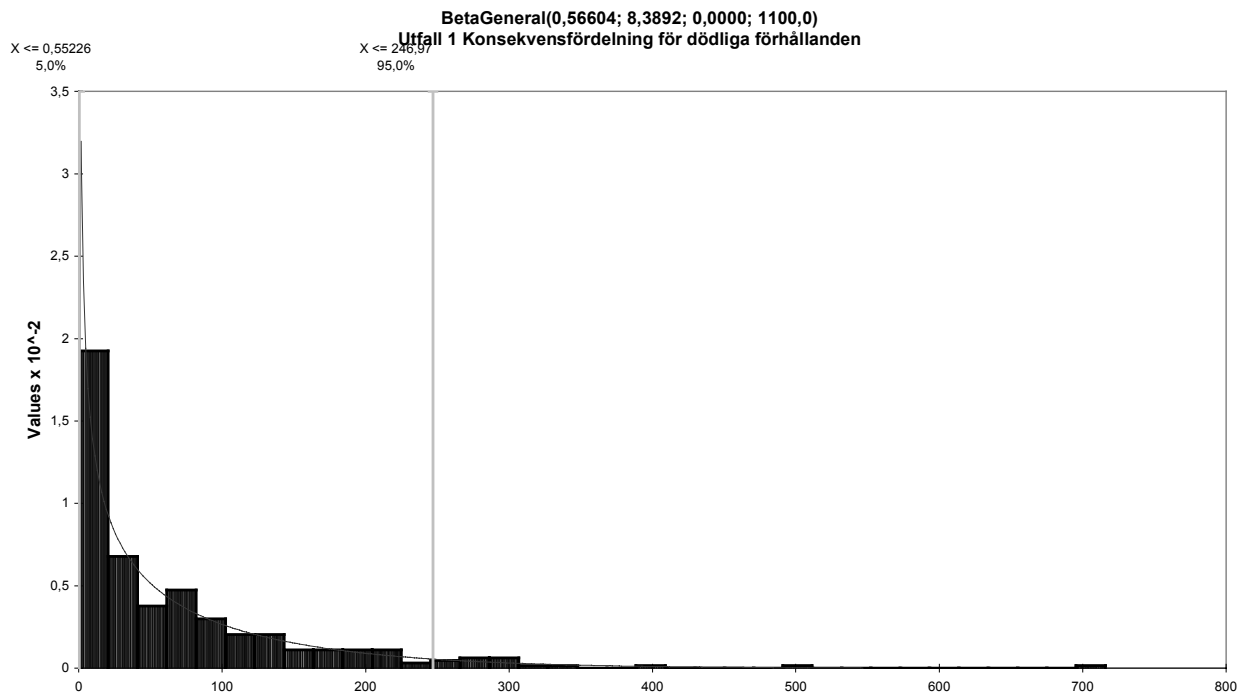
Scenario 1

Kritiska förhållanden:



Figur 10.18 Scenario 1 Konsekvensfördelning med avseende på kritiska förhållanden.

Dödliga förhållanden:



Figur 10.19 Scenario 1 Konsekvensfördelning med avseende på dödliga förhållanden.

Samma procedur repeteras för övriga scenarier. Utdata från dessa sammanfattas i tabell 10.25 och 10.26 nedan.

Sammanfattning resultat

Nedan görs en sammanställning av de olika scenariernas frekvens, konsekvens och risk. Värdet i kolumnen "Andel med konsekvens" beräknas som antal iterationer i Monte Carlo-simuleringen som ger negativ säkerhetsmarginal (det vill säga har konsekvens i form av exponerade människor) delat med det totala antalet iterationer i beräkningarna av säkerhetsmarginal (5000). Riskfördelning beräknas med hjälp av Monte Carlo-simuleringar enligt följande uttryck:

$$R_i = f_i * a_{k,i} * K_i$$

$$R_{tot} = \sum_{i=1}^n f_i * a_{k,i} * K_i$$

R_i = Sannolikhetsfördelning för medelrisken för scenario i

f_i = frekvens för scenario i, hämtas vid varje iteration ur händelsetråd

$a_{k,i}$ = Andel iterationer i konsekvensberäkning som medför konsekvens för scenario i

K_i = Värde på konsekvens vid scenario i, hämtas vid varje iteration från konsekvensfördelning för scenario i

R_{tot} = Sannolikhetsfördelning för medelrisken avseende starthändelsen i händelsetrådet

n = Antal scenarier i händelsetrådet

Resultaten från dessa simuleringar ges som medelvärde och 90%-igt konfidensintervall för de simulerade värdena. Som utdata ges slutligen ett förväntat antal exponerade per år för såväl de

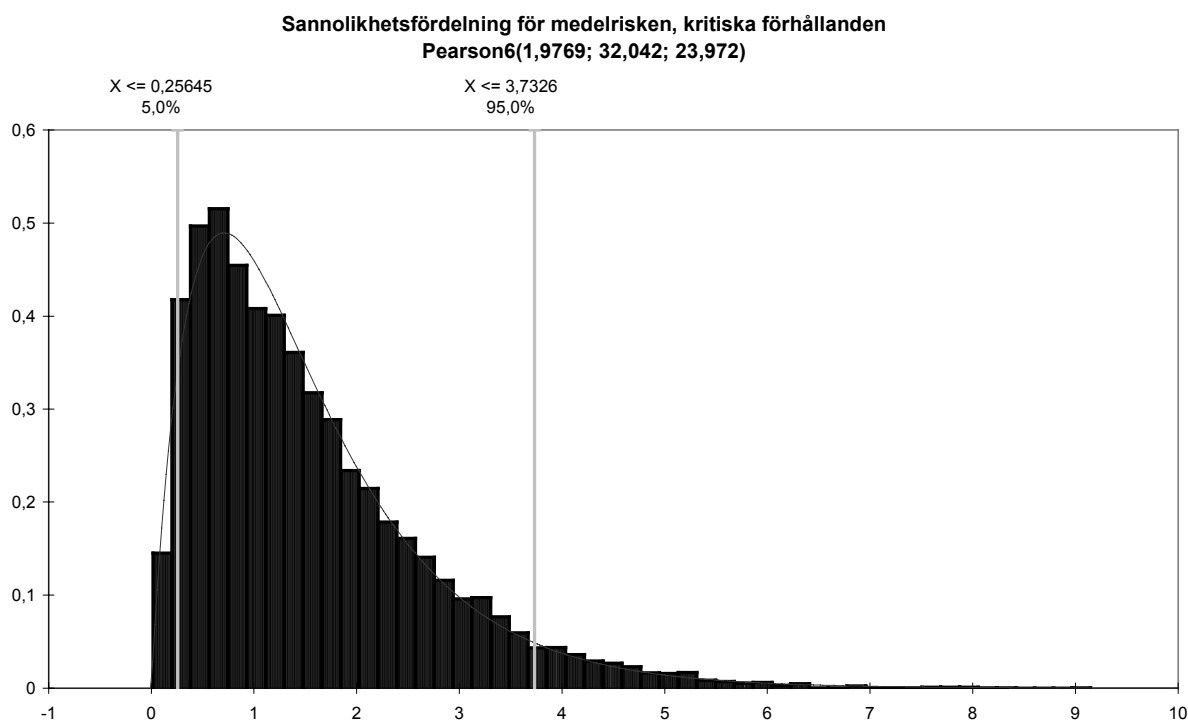
enskilda scenarierna som för hela händelseträdet, det vill säga starthändelsen brand i samlingslokalen. Den summerade risken beräknas som samtliga scenariers risk adderat, och denna fördelning anpassas i Bestfit till en riskfördelning för antalet exponerade för kritiska och dödliga förhållanden per år i lokalen. Beräkningar och resultat från dessa beräkningar sammanfattas i tabell 10.25 och 10.27 nedan.

Kritiska förhållanden:

Tabell 10.25 Resultat från beräkning av konsekvensfördelning och underlag för beräkning av medelrisk.

Sc.	Frekvens	Andel med konsekvens, a_k (-)	Konsekvensfördelning, K (-)
1	f_1	24,6 %	BetaGeneral(0,63206;6,3043;0,0000; 1100,0)
2	f_2	37,0 %	BetaGeneral(0,59610;3,8930;0,0000; 1100,0)
3	f_3	41,9 %	BetaGeneral(0,75421;5,1829;0,0000; 1100,0)
4	f_4	42,6 %	BetaGeneral(0,65604;3,6036;0,0000; 1100,0)
5	f_5	51,8 %	BetaGeneral(0,64187;3,0136;0,0000; 1100,0)
6	f_6	54,9 %	BetaGeneral(0,78483;3,9164;0,0000; 1100,0)
7	f_7	0	-

Den totala risken anpassas i Bestfit och resultatet visas i figur 10.20 nedan. Spridningen redovisas i tabell 10.26.



Figur 10.20 Total riskfördelning avseende förväntat genomsnittligt antal exponerade för kritiska förhållanden/år.

Tabell 10.26 Fördelning för medelrisken avseende kritiska förhållanden.

Medelrisk (/år)	5%-fraktil	Medelvärde	95%-fraktil
Pearson6(1,9769;32,042;23,972)	0,26	1,5	3,7

Resultatet innebär att medelvärdet av det förväntade antalet för exponerade dödliga förhållanden per år är ungefär 0,4 personer. Ett 90%-igt konfidensintervall ger att risken enligt detta mått enligt beräkningarna med 90 % sannolikhet ligger i intervallet 0,077-1,1 exponerade per år. Detta skall inte tolkas som att ett mindre antal människor varje år utsätts för dödliga förhållanden i lokalen, utan detta utgör ett medelvärde över tiden. Således exponeras ett större antal människor vid få tillfällen varför medelrisken i form av förväntat antal exponerade ser ut på detta sätt.

10.10.4 Beräkning av riskprofil

En riskprofil tas fram för starthändelsen i händelseträdet. Sannolikheter för olika konsekvenser tas fram genom att utdata om antal exponerade från tidigare Monte Carlo-simuleringar används. För varje scenario finns 5000 beräkningar av konsekvens för det aktuella scenariet. Den beräkning som görs presenteras noggrannare i kapitel 9.5.3 där exempel på metodiken också presenteras. Nedan presenteras de beteckningar som används och de beräkningar som görs översiktligt.

f_i = frekvens för scenario i , fås ur händelsetråd

$f_{k,i}$ = frekvens för en viss konsekvens k från scenario i

$p_{k,i}$ = sannolikhet för en viss i konsekvensanalysens scenario i observerad konsekvens k givet att scenario i uppkommit

i_{ka} = antalet iterationer i konsekvensanalysen

$$p_{k,i} = \frac{1}{i_{ka}}$$

$$f_{k,i} = f_i * p_{k,i}$$

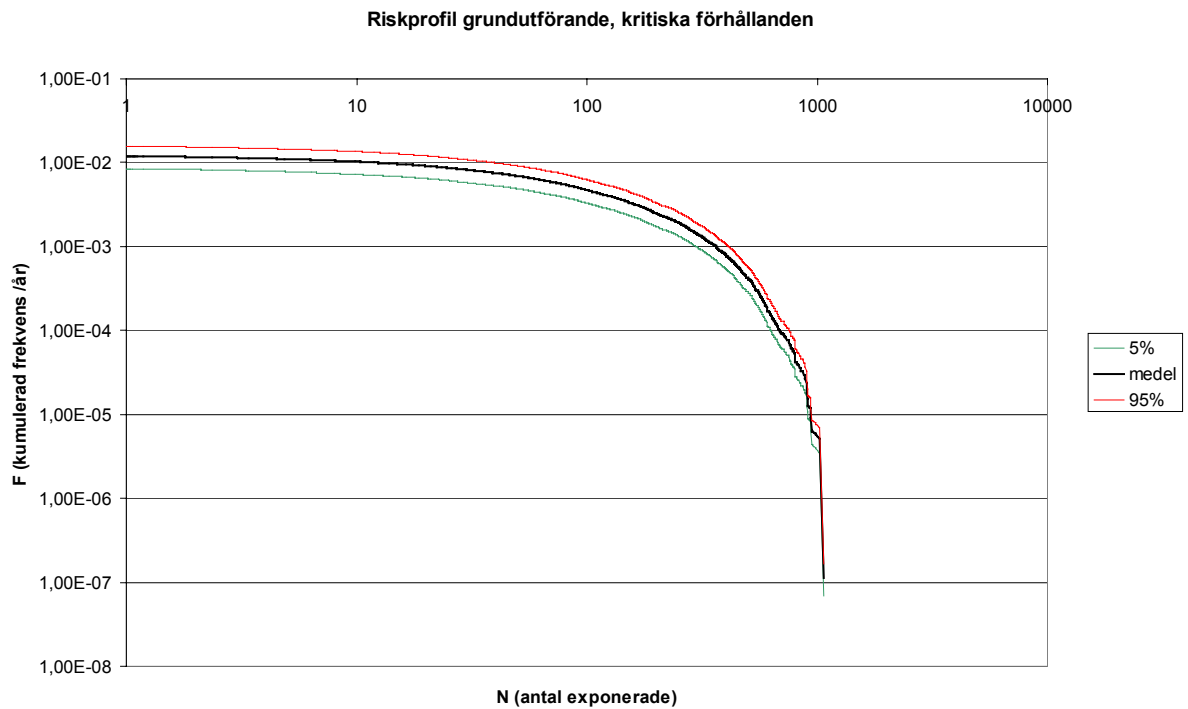
F_k = kumulerad frekvens för en viss konsekvens k , dvs frekvensen för k eller fler exponerade

Den kumulerade frekvensen F_k för de olika konsekvenserna beräknas således utifrån frekvensen för de olika scenarierna samt scenariernas konsekvensfördelningar. Dessa innehåller osäkerheter vilket innebär att också riskprofilen presenteras med spridning.

Kritiska förhållanden:

I riskprofilen används kumulerade frekvenser, det vill säga frekvensen för N eller fler exponerade. Frekvenserna anpassas ej till kontinuerliga fördelningar, värdena är tagna ur resultat från Monte Carlo-simuleringarna. För varje värde på konsekvensen hämtas motsvarande medelvärde, 5%- samt 95%-fraktil på den kumulerade frekvensen.

Detta ger en riskprofil som visas i figur 10.22.

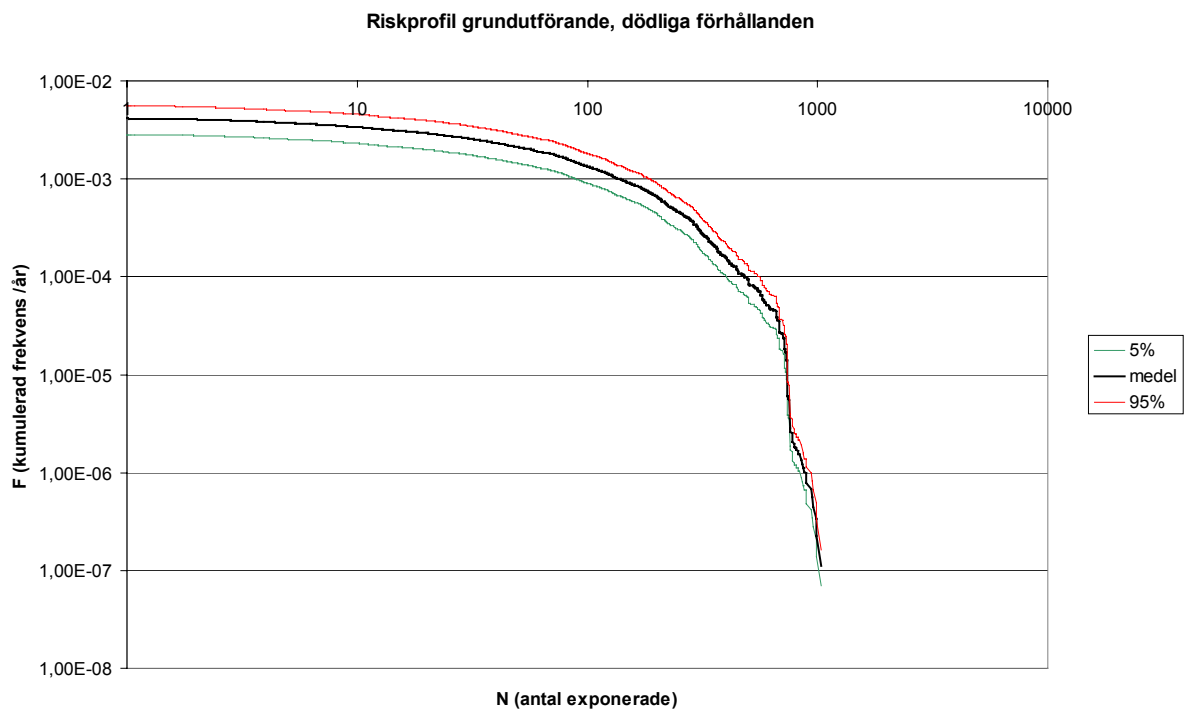


Figur 10.22 Riskprofil, antal exponerade för kritiska förhållanden i samlingslokalen vid grundutförandet.

Dödliga förhållanden:

På samma sätt som för kritiska förhållanden anges intervall för de kumulerade frekvenserna svarande mot samtliga observerade konsekvenser i konsekvensanalysen, här avseende dödliga förhållanden.

Detta ger en riskprofil som visas i figur 10.23.



Figur 10.23 Riskprofil, antal exponerade för dödliga förhållanden i samlingslokalen vid grundutförandet.

10.10.5 Slutsatser och kommentarer

Analysen är främst utförd som ett exempel på den metodik som används. Ur resultaten kan dock noteras att det i anmärkningsvärt många fall uppnås kritiska förhållanden innan utrymningen är avslutad även för det fall då de tekniska systemen fungerar och inga utrymningsvägar är blockerade. Utrymningen är dimensionerad enligt gällande schablonregler och ett utrymningslarm förutsätts i beräkningarna. Trots detta visar beräkningarna att utrymningstiden i omkring 25 % av brandfallen överstiger tiden till kritiska förhållanden. I många fall är också den negativa säkerhetsmarginalen så stor att ett mycket stort antal personer exponeras för kritiska förhållanden.

De riskberäkningar som görs ger också värden på antalet förväntade exponerade för kritiska och dödliga förhållanden som är att betrakta som höga. Jämförs exempelvis riskprofilerna med acceptanskriterier, exempelvis de som föreslås av DNV /56/ ses att de ligger högt över vad som anses acceptabelt om antalet exponerade antas motsvara antalet omkomna. Denna jämförelse är dock ej helt korrekt att göra då exponering för kritiska eller dödliga förhållanden ej innebär att en person med säkerhet omkommer till följd av detta.

Resultaten från denna analys jämförs senare med resultat från andra alternativa utformningar av samlingslokalen.

10.11 *Sprinklers effekt på risknivån*

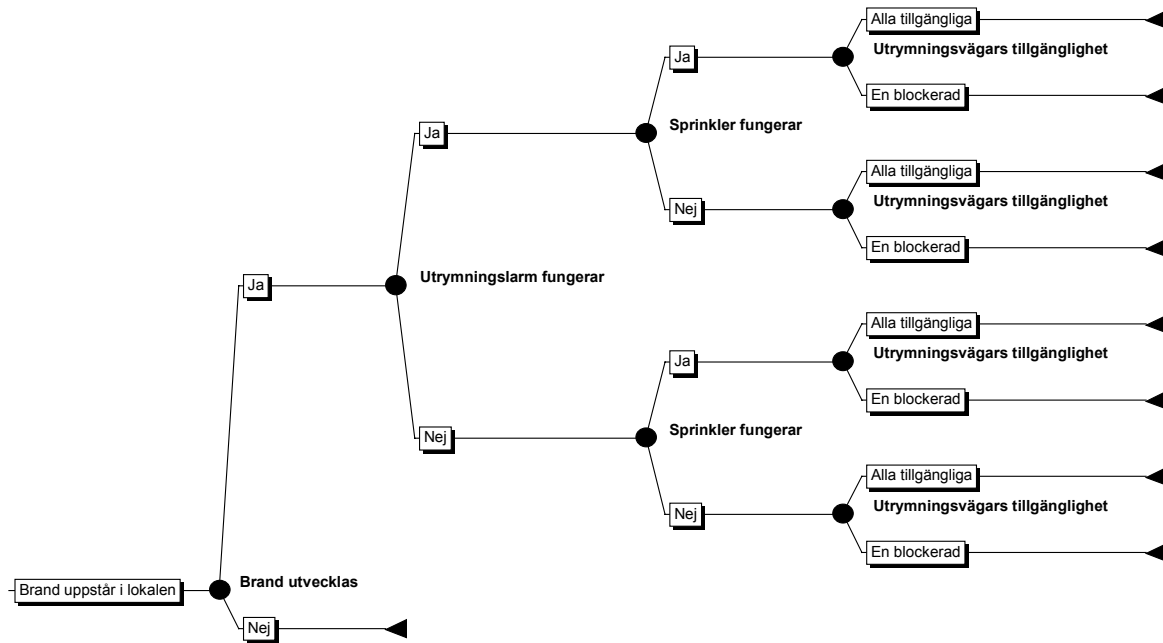
10.11.1 Allmänt

Sprinklers påverkan på risknivån i lokalen undersöks. Sprinklersystemet som installeras har bulber med RTI 50 (ms)^{1/2}. Vidare utarbetar verksamhetsutövaren ett program för att kontrollera att utrymningsvägar ej är låsta eller blockerade. Sannolikheten för blockerade eller låsta utrymningsvägar bortses därför ifrån i denna analys. Hänsyn tas dock till sannolikheten att en brand blockerar en utrymningsväg.

Beräkningarna för denna utformning följer samma mönster som för grundutförandet. Vissa förutsättningar ändras dock vilket ger skillnader i händelseträdet och detta ger i sin tur skillnader i frekvensanalysen. Vidare ändras brandförloppen i de fall sprinkler fungerar vilket ändrar ekvationer för tid till kritiska och dödliga förhållanden. Då beräkningarna liknar de som gått igenom i grundfallet presenteras in- och utdata mer översiktligt här.

10.11.2 Frekvensanalys

De nya förutsättningarna ger ett nytt utseende på händelseträdet. Sammanlagt fås nio scenarier varav åtta bedöms kunna få konsekvenser i form av besökare utsatta för kritiska eller dödliga förhållanden. Se händelsetråd i figur 10.24 nedan.



Figur 10.24 Händelsetråd för sprinklat utförande.

För frekvens för brands uppkomst, andel bränder som utvecklas samt utrymningslarms funktion används samma värden som i grundutförandets analys. Sprinklers funktions-sannolikhet studeras i kapitel 5.4 och bedöms kunna beskrivas av en triangel fördelning med parametrar enligt tabell 10.29 nedan. Sannolikheten för en blockerad utrymningsväg motsvarar här den i kapitel 10.5.4 framtagna sannolikheten för att brand blockerar en utrymningsväg. Indata till händelsetrådet sammanfattas i tabell 10.29 nedan.

Tabell 10.29 Indata till händelsetråd.

Parameter	Använd fördelning eller värde
Frekvens för brands uppkomst	Normal (0,059;0,01)
Andel bränder som ej utvecklas	Normal (0,305;0,045)
Utrymningslarms funktion	0,96
Sprinklers funktion	Triang (0,92;0,97;0,99)
Sannolikhet för 1 blockerad utrymningsväg	Likformig (0,20;0,30)

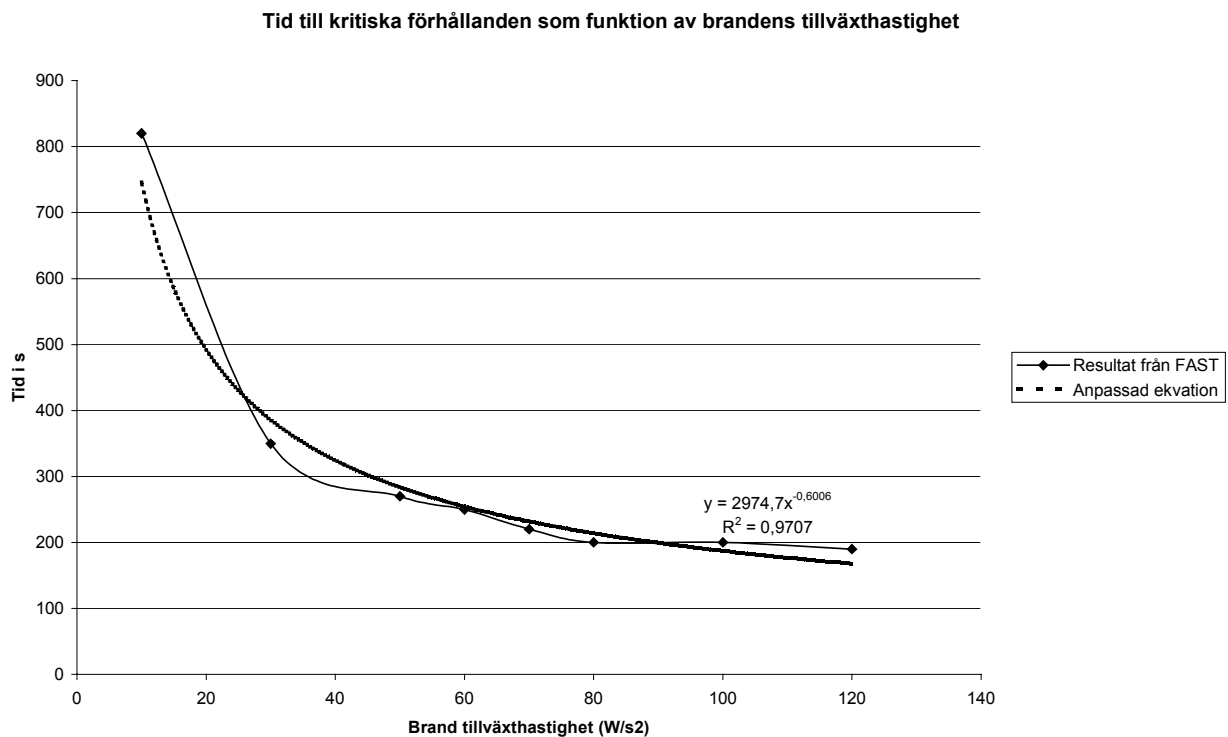
10.11.3 Brandförlopp

Installation av ett sprinklersystem påverkar brandförloppet. Sprinklersystemet har bulber med ett RTI-värde av $50 \text{ (ms)}^{1/2}$. Tid till sprinkleraktivering beräknas med DETACT-T2 och tid till kritiska och dödliga förhållanden beräknas med hjälp av FAST enligt samma kriterier som tidigare och resultaten visas i tabell 10.30 samt figur 10.25 och 10.26.

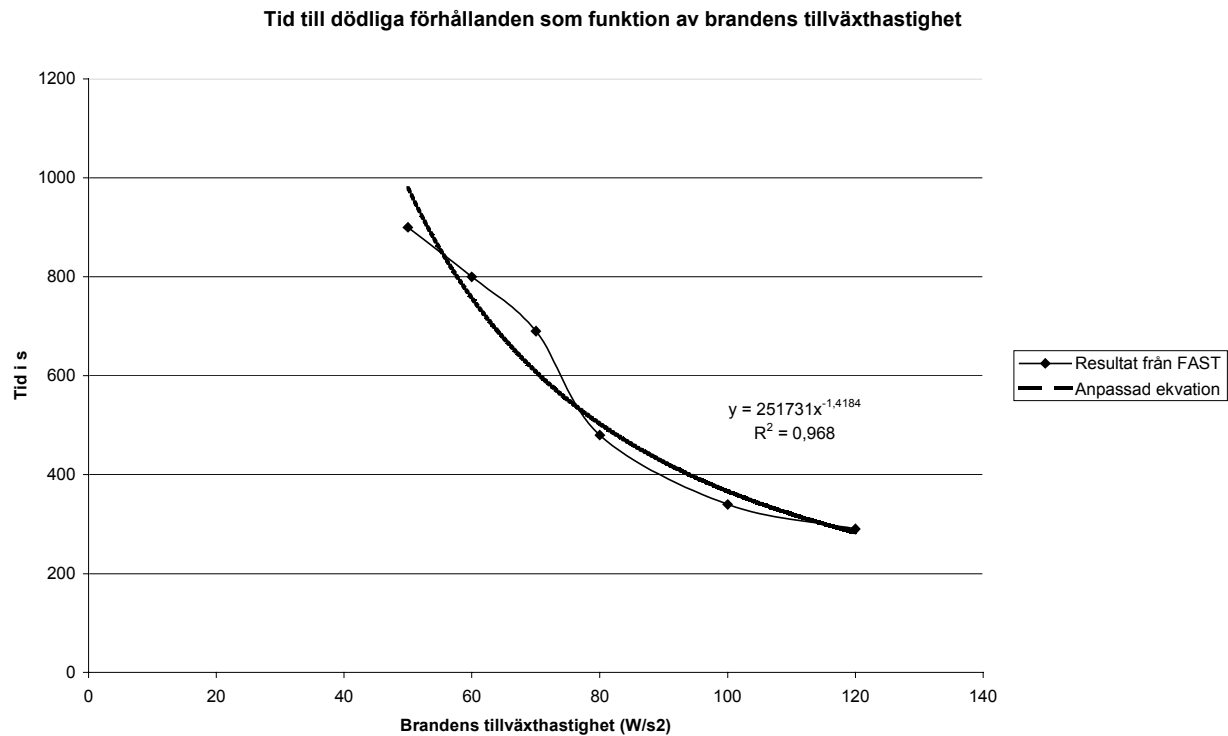
Tabell 10.30 Tid till kritiska och dödliga förhållanden för olika tillväxthastigheter.

α (W/s ²)	Tid till sprinkleraktivering (s)	Effekt vid sprinkleraktivering (kW)	Tid till kritiska förhållanden	Tid till dödliga förhållanden
3	380 s	430 kW	-	-
10	240 s	560 kW	820 s	-
30	160 s	760 kW	350 s	-
50	130 s	900 kW	270 s	900 s
60	130 s	950 kW	250 s	800 s
70	120 s	1000 kW	220 s	690 s
80	110 s	1050 kW	200 s	480 s
100	110 s	1140 kW	200 s	340 s
120	100 s	1220 kW	190 s	290 s

Branden förutsätts vid sprinkleraktivering begränsas till den effektutveckling som då uppnåtts.



Figur 10.25 Tid till kritiska förhållanden som funktion av brands tillväxthastighet vid sprinklad brand.



Figur 10.26 Tid till dödliga förhållanden som funktion av brands tillväxthastighet vid sprinklad brand.

Överensstämmelsen mellan den anpassade ekvationen och resultaten från simuleringarna är något sämre för sprinklade bränder än vid osprinklade förhållanden. Detta beror sannolikt på att förändringar i framförallt temperatur sker betydligt långsammare vid en sprinklad brand, varför bedömningen av kritiska och dödliga förhållanden blir mer känslig. Överensstämmelsen är bäst vid höga α vilket också är de fall som oftast ger de konsekvenser som sedan ligger till grund för riskberäkningar. Tid till kritiska och dödliga förhållanden bedöms kunna beskrivas med följande ekvationer:

$$t_{krit,sprinklad} = 2974,7 * \alpha^{-0,606}$$

$$t_{död,sprinklad} = 251731 * \alpha^{-1,4184}$$

10.11.4 Beräkning av säkerhetsmarginal

Beräkningar med hjälp av Monte Carlo-simuleringar görs för säkerhetsmarginalen till kritiska och dödliga förhållanden. I likhet med tidigare analys sorteras negativa värden ut och görs med hjälp av de ekvationer som tas fram i kapitel 10.10.2 om till konsekvenser i form av antal exponerade besökare.

Vissa scenarier i denna analys motsvaras av scenarier i analysen av grundutförandet. Detta gäller för de fall då sprinkler ej fungerar och utdata från tidigare simuleringar används i dessa fall. Övriga scenarier simuleras om med 20000 iterationer. Anledningen till att fler iterationer används vid simulering av scenarier med sprinkler är att dessa får en lägre andel negativa värden. För att erhålla en tillräcklig datamängd av negativa värden för konsekvensbedömningen ökas således antalet iterationer. Hänsyn tas till detta vid bedömning av andel iterationer som får konsekvens då riskberäkningar görs.

Scenario 1

Motsvarar en brand som utvecklas. Utrymningslarm och sprinkler fungerar och inga utrymningsvägar är blockerade.

$$S_{krit} = t_{krit,sprinklad} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g0}$$

$$S_{krit} = t_{död,sprinklad} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g0}$$

Scenario 2

Motsvarar en brand som utvecklas. Utrymningslarm och sprinkler fungerar, en utrymningsväg är blockerad.

$$S_{krit} = t_{krit,sprinklad} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g1}$$

$$S_{krit} = t_{död,sprinklad} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g1}$$

Scenario 3

Motsvarar en brand som utvecklas. Utrymningslarm fungerar och inga utrymningsvägar är blockerade. Sprinkler fallerar. Detta scenario motsvarar scenario 1 i analysen av grundutförandet och resultat från denna analys används även här.

$$S_{krit} = t_{krit,osprinklad} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g0}$$

$$S_{krit} = t_{död,osprinklad} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g0}$$

Scenario 4

Motsvarar en brand som utvecklas. Utrymningslarm fungerar, en utrymningsväg är blockerad. Sprinkler fallerar. Detta scenario motsvarar scenario 2 i analysen av grundutförandet och resultat från denna analys används även här.

$$S_{krit} = t_{krit,osprinklad} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g1}$$

$$S_{krit} = t_{död,osprinklad} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g1}$$

Scenario 5

Motsvarar en brand som utvecklas. Sprinkler fungerar och inga utrymningsvägar är blockerade. Utrymningslarm fallerar.

$$S_{krit} = t_{krit,sprinklad} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g0}$$

$$S_{krit} = t_{död,sprinklad} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g0}$$

Scenario 6

Motsvarar en brand som utvecklas. Sprinkler fungerar, en utrymningsväg är blockerad. Utrymningslarm fallerar.

$$S_{krit} = t_{krit,sprinklad} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g1}$$

$$S_{krit} = t_{död,sprinklad} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g1}$$

Scenario 7

Motsvarar en brand som utvecklas. Inga utrymningsvägar är blockerade. Utrymningslarm och sprinkler fallerar. Detta scenario motsvarar scenario 4 i analysen av grundutförandet och resultat från denna analys används även här.

$$S_{krit} = t_{krit,osprinklad} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g0}$$

$$S_{krit} = t_{död,osprinklad} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g0}$$

Scenario 8

Motsvarar en brand som utvecklas. En utrymningsväg är blockerad. Utrymningslarm och sprinkler fallerar. Detta scenario motsvarar scenario 5 i analysen av grundutförandet och resultat från denna analys används även här.

$$S_{krit} = t_{krit,osprinklad} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g1}$$

$$S_{krit} = t_{död,osprinklad} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g1}$$

Scenario 9

Motsvarar att branden ej utvecklas, det vill säga den självslocknar alternativt släcks av personal eller besökare. Scenariet bedöms ej få några konsekvenser i form av personer exponerade för kritiska eller dödliga förhållanden.

De ekvationer och fördelningar som används som indata till Monte Carlo-simuleringarna sammanställs nedan:

Kritiska och dödliga förhållanden :

$$t_{krit,sprinklad} = 2974,7 * \alpha^{-0,606}; \text{ Gäller då sprinkler fungerar}$$

$$t_{död,sprinklad} = 251731 * \alpha^{-1,4184}; \text{ Gäller då sprinkler fungerar}$$

$$t_{krit,osprinklad} = 825,36\alpha^{-0,3673}; \text{ Gäller då sprinkler ej fungerar}$$

$$t_{död,osprinklad} = 1024,1\alpha^{-0,3652}; \text{ Gäller då sprinkler ej fungerar}$$

Varseblivningstider :

$$t_{v,larm} = T_d = 53,7204 + 14,6d - 0,284\alpha; \text{ } 0m < d < 1m; \text{ Gäller då utrymningslarm fungerar}$$

$$= T_d = 145,349\alpha^{-0,34435} d^{0,474794}; \text{ } 1m \leq d; \text{ Gäller då utrymningslarm fungerar}$$

$$t_{v,ej\ larm} = \text{Lognormal}(90;30); \text{ Gäller då utrymningslarm ej fungerar}$$

Reaktionstider :

$$t_{r,larm} = \text{Lognormal}(50;25); \text{ Gäller då utrymningslarm fungerar}$$

$$t_{r,ej\ larm} = \text{Lognormal}(80;40); \text{ Gäller då utrymningslarm ej fungerar}$$

Gångtider :

$$t_{g0} = 3 * 10^{-7} P^3 - 0,0005P^2 + 0,4038P, \text{ då inga utgångar är blockerade}$$

$$t_{g1} = 2 * 10^{-7} P^3 - 0,0003P^2 + 0,4277P, \text{ då en utgång är blockerad}$$

$$t_g = \text{gångtid i sekunder}$$

Använda fördelningar i ekvationerna :

α = Weibull (1,9310;35,808)

d = Triang (0;5;7,07)

P = BetaGeneral(0,9548;3,3078;0;1126,5)

SI - enheter används, dvs samtliga tider avser sekunder, brands tillväxthastighet α avser $\frac{W}{s^2}$, och d, det horisontella avståndet från brand till detektor anges i meter.

Resultat av beräkning av säkerhetsmarginal:

Resultaten från Monte Carlo-simuleringarna sammanfattas i tabell 10.31 och 10.32 och ges i form av medelvärde, median och 90 %-igt konfidensintervall.

Tabell 10.31 Säkerhetsmarginal till kritiska förhållanden för de olika scenarierna.

Scenario	Andel negativa S_{krit}	Medelvärde	5%-fraktil	Median	95%-fraktil
1	2,1%	241,2 s	28,5 s	186,1 s	614,5 s
2	7,2%	219,4 s	-19,7 s	172,3 s	600,3 s
3	24,6 %	47,8 s	-58,7 s	44,9 s	162,3 s
4	37,0 %	26,2 s	-115,5 s	28,6 s	156,3 s
5	10,2 %	213,5 s	-39,4	156,4	635,3 s
6	15,7 %	191,5 a	-82,1 s	138,9 s	625,0 s
7	42,6 %	19,8 s	-131,1 s	15,9 s	184,4 s
8	51,8 %	-1,8 s	-177,8	-3,5 s	179,1 s
9	-	-	-	-	-

Tabell 10.32 Säkerhetsmarginal till dödliga förhållanden för de olika scenarierna.

Scenario	Andel negativa $S_{död}$	Medelvärde	5%-fraktil	Median	95%-fraktil
1	0 %	4918 s	520 s	1860 s	13686 s
2	0 %	4824 s	486 s	1835 s	13678 s
3	6,2 %	111,5 s	-5,5 s	105,0 s	252,5 s
4	16,3 %	89,8 s	-59,3 s	87,6 s	242,3 s
5	0 %	5208 s	459 s	1827 s	13695 s
6	0 %	4806 s	439 s	1799 s	13690 s
7	21,1 %	83,5 s	-79,0 s	74,7 s	274,0 s
8	29,5 %	61,8 s	-123,6 s	55,0	269,8 s
9	-	-	-	-	-

Vid de sprinklade utförandena ses att säkerhetsmarginalen blir väldigt stor i många fall. Detta beror på att det i brandförloppsberäkningar visat sig att det är först vid stora tillväxthastigheter ($\alpha \geq 50 W/s^2$) som dödliga förhållanden uppstår. Då ett regressions samband tas fram innebär detta att tiden till dödliga förhållanden går mot oändligheten vid de mindre tillväxthastigheterna. Detta visar sig i de stora marginalerna som alltså egentligen motsvarar brandfall där dödliga förhållanden ej uppstår. Det som är intressant att studera i konsekvensanalysen är de fall då säkerhetsmarginalen närmar sig noll. Då detta endast riskerar inträffa vid snabba brandtillväxter bedöms regressionsuttrycket ge tillfredsställande resultat för detta. I simuleringarna visar det sig att negativa värden på säkerhetsmarginalen till dödliga förhållanden är så osannolika när sprinkler fungerar att konsekvenserna i dessa enstaka fall

kan bortses ifrån. Vid simuleringarna erhöles ej fler än fyra negativa värden vid 20000 iterationer i scenarier då sprinkler fungerade. Dessa scenarier inträffar med jämförelsevis låg frekvens och skulle alltså inte få konsekvens i mer än cirka 0,02 % av fallen. Denna frekvens blir då av sådan storleksordning att den kan bortses ifrån utan att resultatet från riskanalysen påverkas märkbart. Således görs vid beräkning av riskmått ingen konsekvensfördelning för dessa scenarier vad gäller dödliga förhållanden. Vid beräkning av riskprofil tas dock hänsyn till de enstaka fallen med konsekvens även då påverkan på resultatet är minimal.

Känslighetsanalys för scenario 1 och säkerhetsmarginalen för kritiska förhållanden

De olika parametrarnas inverkan på resultaten studeras genom att deras signifikans testas genom regressionsanalys. @RISK beräknar regressionskonstanter för de olika parametrarnas variations inverkan på resultatet och rangordnar därefter parametrarna. Detta är således ett mått på vilka parametrar och osäkerheter som är viktiga. En parameter rankas högt om den har ett stort variationsintervall och variationer i det intervallet får en stor inverkan på den beräknade säkerhetsmarginalen. Exempelvis kan sägas att variationer i brandens tillväxthastighet har en större inverkan på den beräknade säkerhetsmarginalen än exempelvis reaktionstiden (om α ökar från 20 W/s² till 40 W/s² påverkar detta säkerhetsmarginalen mer än om reaktionstiden ökar från 20 s till 40 s). Dock kan reaktionstiden ändå vara en känsligare och mer signifikant parameter om den har ett mycket större variationsintervall. Resultatet från känslighetsanalysen visas i tabell 10.33 nedan i form av signifikanser för de olika parametrarna. Analysen görs endast för scenario 1 och säkerhetsmarginalen med avseende på kritiska förhållanden.

Tabell 10.33 Signifikanser för olika parametrar.

Parameter	Signifikans
α , brandens tillväxthastighet	-0,659
P, personantalet i byggnaden	-0,151
t_r , reaktionstiden	-0,105
d, horisontellt avstånd från brand till detektor	-0,078

Detta innebär således att brandens tillväxthastighet utifrån de framtagna sannolikhetsfördelningarna och beräkningsuttrycken är den parameter som har störst inverkan på säkerhetsmarginalen. Samtliga parametrar har en negativ signifikans på säkerhetsmarginalen, dvs höga värden ger lägre säkerhetsmarginal.

10.11.5 Konsekvensanalys och riskberäkningar

Beräkning av medelrisk

Vidare omvandlas de beräknade negativa säkerhetsmarginalerna till konsekvenser i form av antal exponerade besökare med hjälp av ekvationer framtagna i kapitel 10.10.2. Dessa anpassas till kontinuerliga konsekvensfördelningar och med hjälp av Monte Carlo-simuleringar beräknas riskfördelningen enligt följande ekvation nedan. Resultat från dessa simuleringar ges i tabell 10.34 och 10.38. En anpassad riskfördelning görs endast för den sammanlagda risken, det vill säga alla scenariers summerade risk R_{tot} . För närmare beskrivning av dessa beräkningar se kapitel 9.5.2. Beräkningsuppställning och beteckningar presenteras nedan.

$$R_i = f_i * a_{k,i} * K_i$$

$$R_{tot} = \sum_{i=1}^n f_i * a_{k,i} * K_i$$

R_i = Sannolikhetsfördelning för medelrisken för scenario i

f_i = frekvens för scenario i, hämtas vid varje iteration ur händelsetråd

$a_{k,i}$ = Andel iterationer i konsekvensberäkning som medför konsekvens för scenario i

K_i = Värde på konsekvens vid scenario i, hämtas vid varje iteration från konsekvensfördelning för scenario i

R_{tot} = Sannolikhetsfördelning för medelrisken avseende starthändelsen i händelsetrådet

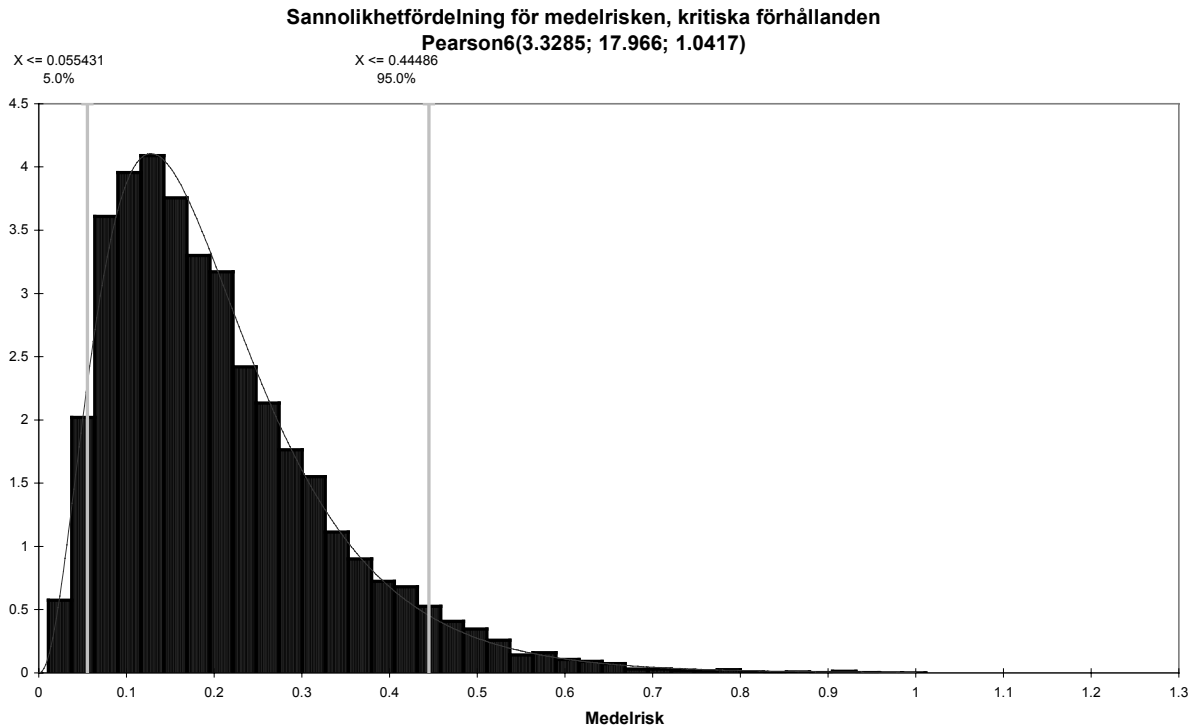
n = Antal scenarier i händelsetrådet

Kritiska förhållanden:

Tabell 10.34 Beräkning av riskmått.

Scenario	Frekvens	Andel med konsekvens a_k	Konsekvensfördelning K
1	f_1	2,1%	BetaGeneral(0,54816; 7,0950; 0,0000; 1100,0)
2	f_2	7,2%	BetaGeneral(0,57003; 5,0162; 0,0000; 1100,0)
3	f_3	24,6%	BetaGeneral(0,63206; 6,3043; 0,0000; 1100,0)
4	f_4	37,0%	BetaGeneral(0,59610; 3,8930; 0,0000; 1100,0)
5	f_5	10,2%	BetaGeneral(0,61343; 4,5416; 0,0000; 1100,0)
6	f_6	15,7%	BetaGeneral(0,60365; 3,6596; 0,0000; 1100,0)
7	f_7	42,6%	BetaGeneral(0,65604; 3,6036; 0,0000; 1100,0)
8	f_8	51,8%	BetaGeneral(0,64187; 3,0136; 0,0000; 1100,0)
9	f_9	-	-

Resultatet för den totala riskfördelningen visas i figur 10.27. Anpassning till kontinuerlig fördelning är gjord i Bestfit. Spridningen redovisas i tabell 10.35 i form av medelvärde och 90%-igt konfidensintervall.



Figur 10.27 Riskfördelning för antal förväntade i genomsnitt exponerade för kritiska förhållanden per år.

Tabell 10.36 Fördelning för medelrisken avseende kritiska förhållanden.

Medelrisk (/år)	5%-fraktil	Medelvärde	95%-fraktil
Pearson6(3,3285; 17,996; 1,0417)	0,055	0,20	0,44

Detta innebär alltså att medelvärdet av det förväntade antalet för kritiska förhållanden exponerade per år är ungefär 0,2 personer. Ett 90%-igt konfidensintervall ger att risken enligt detta mått enligt beräkningarna med 90 % sannolikhet ligger i intervallet 0,055-0,44 exponerade per år. Detta skall inte tolkas som att ett mindre antal människor varje år utsätts för dödliga förhållanden i lokalen, utan detta utgör ett medelvärde över tiden. Således exponeras ett större antal människor vid få tillfällen varför medelrisken i form av förväntat antal exponerade ser ut på detta sätt.

Känslighetsanalys av parametrars signifikans vid beräkning av medelrisk

På samma sätt som i kapitel 10.11.4 används @RISK för att studera vilka parametrar som har störst inverkan på resultaten. Undersökning görs med hjälp av regressionsanalys av vilka parametrars variation som är viktigast för de olika scenariernas frekvens, samt av vilka parametrars variation som i störst utsträckning påverkar medelrisken. I tabell 10.36 redovisas signifikanserna för påverkan på frekvenserna och i tabell 10.37 redovisas signifikanserna för medelrisken.

Tabell 10.36 Parametrars signifikans för de olika scenariernas frekvens.

Parameter och signifikans				
Scenario	Brandfrekvens	Andel bränder som ej utvecklas	Sannolikhet för 1 blockerad utrymningsväg	Sprinklers funktion
1	0,904	-0,348	-0,206	0,082
2	0,785	-0,299	0,533	0,072
3	0,406	-0,156	-0,093	-0,881
4	0,393	-0,148	0,266	-0,853
5	0,904	-0,348	-0,206	0,082
6	0,785	-0,299	0,533	0,072
7	0,406	-0,156	-0,093	-0,881
8	0,393	-0,148	0,266	-0,853
9	0,750	0,654	0	0

I tabellen ses att brandlarmets funktion ej finns med då denna ej varierar. Av samma anledning är signifikanserna för scenario 1-4 samma som för scenario 5-8 då dessa motsvarar varandra såväl som på utrymningslarmets funktion. Tabellen visar att brandfrekvensen är den viktigaste parametern för de scenarier där sprinkler fungerar, medan sprinklers tillförlitlighet blir viktigare för frekvensen för de scenarier där sprinkler ej fungerar. Detta kan lätt inses då en minskad sprinklertillförlitlighet från 0,97 till 0,94 fördubblar frekvensen för dessa scenarier. Detta är också viktigt för den beräknade risken då störst konsekvenser fås då sprinkler ej fungerar.

I tabell 10.37 ordnas signifikanserna på medelrisken med avseende på kritiska förhållanden efter storleksordning.

Tabell 10.37 Parametrars signifikans vid beräkning av medelrisken.

Parameter	Signifikans
K ₂ , konsekvensfördelning för scenario 2	0,703
K ₁ , konsekvensfördelning för scenario 1	0,456
Brandfrekvens	0,277
K ₃ , konsekvensfördelning för scenario 3	0,263
K ₄ , konsekvensfördelning för scenario 4	0,186
Sprinklers tillförlitlighet	-0,145
K ₅ , konsekvensfördelning för scenario 5	0,139
Andel bränder som ej utvecklas	-0,11
K ₆ , konsekvensfördelning för scenario 6	0,081
Sannolikhet för 1 blockerad utrymningsväg	0,069
K ₇ , konsekvensfördelning för scenario 7	0,027
K ₈ , konsekvensfördelning för scenario 8	0,01

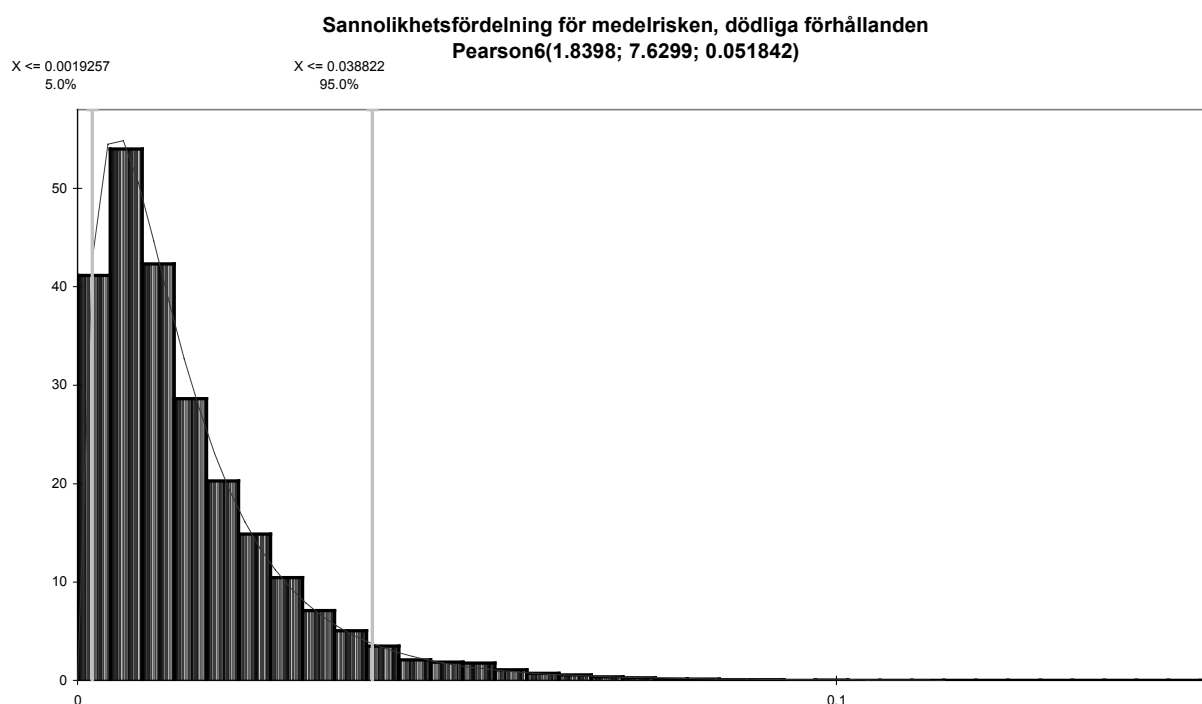
Vid beräkning av medelrisken förefaller det som om variationerna i konsekvens för de vanligare scenarierna har störst inverkan på resultatet. Detta förefaller logiskt då spridningen i konsekvensfördelningarna är stora. De mer osannolika scenarierna med flera fallerande tekniska system har mindre inverkan på resultatet.

Dödliga förhållanden:

Tabell 10.38 Beräkning av riskmått.

Sc	Frekvens	Andel med konsekvens a_k	Konsekvensfördelning K
1	f_1	0%	-
2	f_2	0%	-
3	f_3	6,2%	BetaGeneral(0,56604;8,3892; 0,0000; 1100,0)
4	f_4	16,3%	BetaGeneral(0,59340;5,3582; 0,0000; 1100,0)
5	f_5	0%	-
6	f_6	0%	-
7	f_7	21,1%	BetaGeneral(0,61066;4,2733; 0,0000; 1100,0)
8	f_8	29,5%	BetaGeneral(0,65440;3,5418; 0,0000; 1100,0)
9	f_9	-	-

Resultatet för den totala riskfördelningen visas i figur 10.28 nedan. Anpassning till kontinuerlig fördelning är gjord i Bestfit. Spridningen redovisas i tabell 10.39 i form av medelvärde och 90%-igt konfidensintervall.



Figur 10.28 Riskfördelning för antal förväntade i genomsnitt exponerade för dödliga förhållanden per år.

Tabell 10.39 Fördelning för medelrisken avseende dödliga förhållanden.

Medelrisk (/år)	5%-fraktil	Medelvärde	95%-fraktil
Pearson6(1,8398; 7,6299; 0,051842)	0,0019	0,014	0,039

Detta innebär att medelvärdet av det förväntade antalet för dödliga förhållanden exponerade per år är ungefär 0,01 personer. Ett 90%-igt konfidensintervall ger att risken enligt detta mått enligt beräkningarna med 90 % sannolikhet ligger i intervallet 0,0020-0,040 exponerade per år. Detta skall inte tolkas som att ett mindre antal människor varje år utsätts för dödliga förhållanden i lokalen, utan detta utgör ett medelvärde över tiden. Således exponeras ett större

antal människor vid få tillfällen varför medelrisken i form av förväntat antal exponerade ser ut på detta sätt.

Känslighetsanalys av parametrars signifikans vid beräkning av medelrisk

På samma sätt som ovan genomförs en känslighetsanalys med framtagande av signifikanser för olika parametrar. Signifikanserna för påverkan på frekvenserna för de olika scenariernas frekvens är samma som för kritiska förhållanden, redovisat i tabell 10.36. Dock är andelen utfall som får konsekvens och konsekvensfördelningarna annorlunda, vilket påverkar medelrisken. I tabell 10.40 ordnas signifikanserna på medelrisken med avseende på dödliga förhållanden efter storleksordning.

Tabell 10.40 Parametrars signifikans vid beräkning av medelrisken.

Parameter	Signifikans
K ₄ , konsekvensfördelning för scenario 4	0,632
K ₃ , konsekvensfördelning för scenario 3	0,489
Sprinklers tillförlitlighet	-0,419
Brandfrekvens	0,189
K ₇ , konsekvensfördelning för scenario 7	0,113
Andel bränder som ej utvecklas	-0,077
K ₈ , konsekvensfördelning för scenario 8	0,063
Sannolikhet för 1 blockerad utrymningsväg	0,052

Konsekvensfördelningarna för de scenarier där sprinkler ej fungerar får hög signifikans, liksom sprinklers tillförlitlighet. Detta är naturligt då konsekvenser i form av personer exponerade för dödliga förhållanden ej erhålls i de fall sprinkler ej fungerar.

Beräkning av riskprofil

Vid beräkning av utseende av riskprofil för antal exponerade för kritiska och dödliga förhållanden görs beräkningar motsvarande de i kapitel 10.10.4. Frekvenser för de olika scenarierna används liksom utdata från konsekvensanalys av dessa scenarier,. Dessa konsekvensutdata har tagits fram genom att negativa säkerhetsmarginaler omvandlats till ett antal exponerade besökare. Antalet iterationer som gett en viss konsekvens i form av exponerade besökare divideras med det totala antalet iterationer i simuleringen. För närmare beskrivning av genomförande se kapitel 9.5.3. Följande beräkning görs:

f_i = frekvens för scenario i , fås ur händelsetråd

$f_{k,i}$ = frekvens för en viss konsekvens k från scenario i

$p_{k,i}$ = sannolikhet för en viss i konsekvensanalysens scenario i observerad konsekvens k givet att scenario i uppkommit

i_{ka} = antalet iterationer i konsekvensanalysen

$$p_{k,i} = \frac{1}{i_{ka}}$$

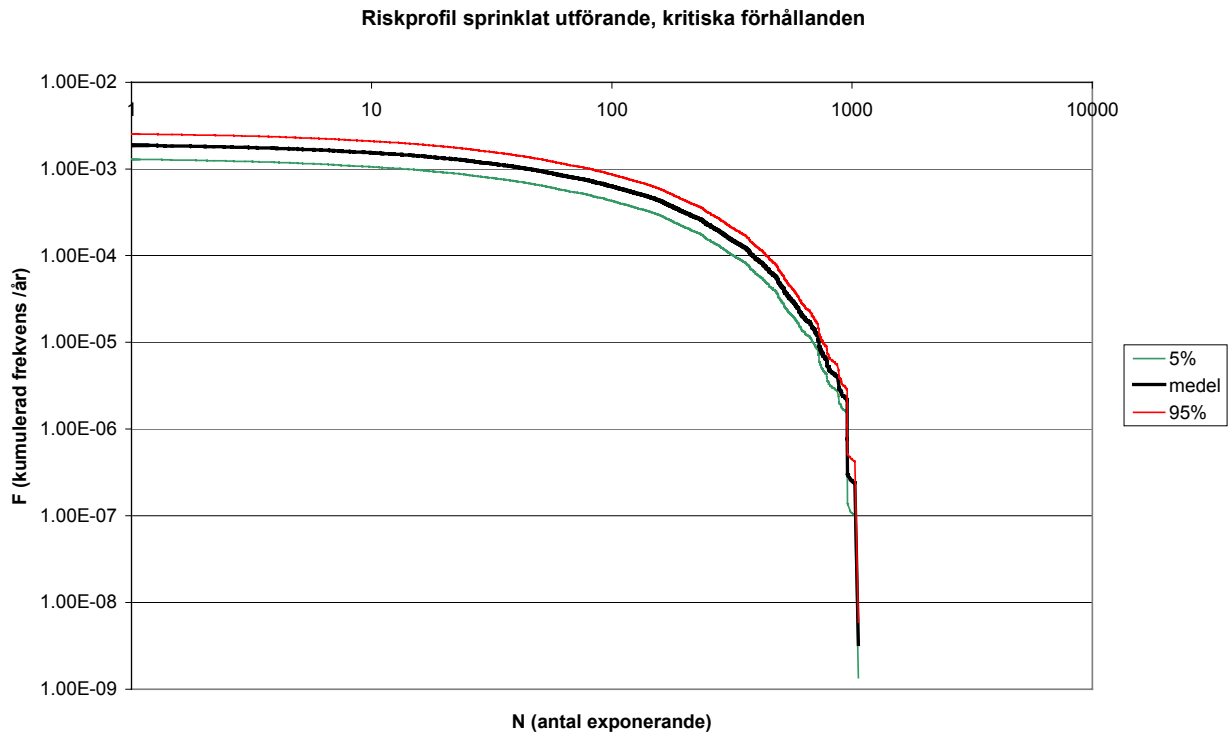
$$f_{k,i} = f_i * p_{k,i}$$

F_k = kumulerad frekvens för en viss konsekvens k , dvs frekvensen för k eller fler exponerade

Den kumulerade frekvensen för de olika konsekvenserna beräknas. Resultatet från dessa beräkningar, som genomförs med Monte Carlo-simuleringar i @RISK, sammanfattas i figur

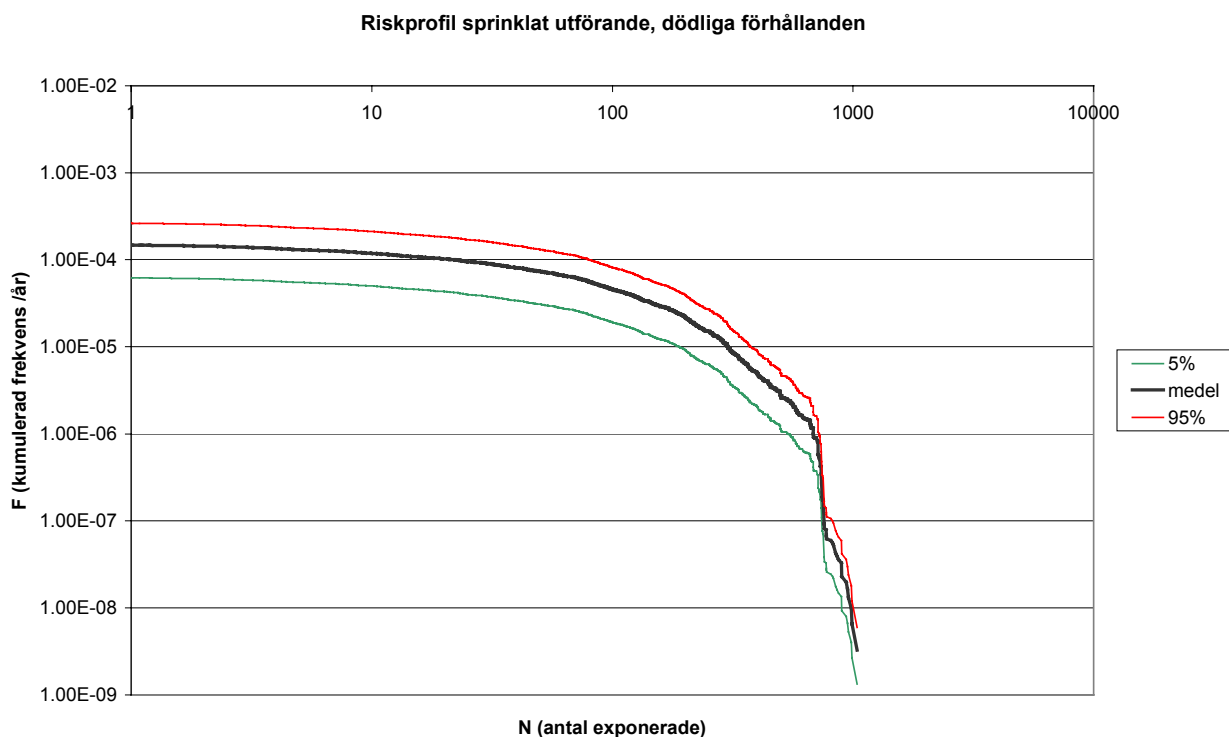
10.29 och 10.30 nedan för kritiska och dödliga förhållanden vid sprinklat utförande. Frekvenserna kumuleras så att beräkningsresultaten i tabellerna motsvarar N eller fler exponerade.

Kritiska förhållanden:



Figur 10.29 Riskprofil, antal exponerade för kritiska förhållanden i samlingslokalen vid sprinklat utförande.

Dödliga förhållanden:



Figur 10.30 Riskprofil, antal exponerade för dödliga förhållanden i samlingslokalen vid sprinklat utförande.

10.11.6 Slutsatser och kommentarer

Beräkningarna visar att andelen fall med negativ säkerhetsmarginal minskas jämfört med grundutförandet då sprinkler installeras. Störst blir skillnaden med avseende på dödliga förhållanden, vilket i stort sett ej uppnås i de fall sprinkler fungerar. En jämförelse mellan resultaten i denna analys och övriga studerade fall görs i kapitel 10.13. Vidare ses att spridningen i riskprofilen för dödliga förhållanden blir större än i grundutförandet. Detta beror på att det endast är i fall då sprinkler ej fungerar som konsekvenser erhålls, varför spridningen för sprinklers tillförlitlighet får en stor betydelse för dessa resultat.

10.12 Ökad utrymningsbredd och organisatoriskt brandskydd

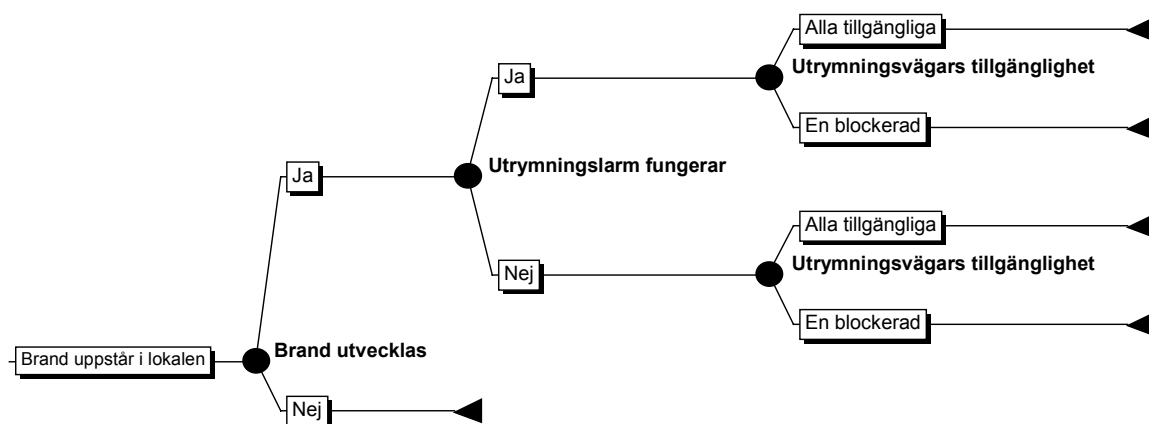
10.12.1 Allmänt

Vid utrymningsdimensionering enligt schablon får enligt svenska byggregler personantalet ej överstiga 150 personer per meter utrymningsbredd /57/. Detta ligger till grund för utformningen av utrymningen i grundutförandet av den studerade samlingslokalen, se kapitel 10.3. I exempelvis Danmark ser byggreglerna något annorlunda ut. Enligt dessa tillåts 200 personer per meter utrymningsbredd i exempelvis kontor och liknande lokaler. För samlingslokaler är kravet istället att det som mest får vistas 100 personer per meter utrymningsbredd i lokalen. Med anledning av detta undersöks hur risknivån påverkas vid en sådan utformning. Liksom i analysen av det sprinklade utförandet förutsätts verksamhetsutövaren kontrollera utrymningsvägarna varför sannolikheten för låst eller blockerad utrymningsväg ej beaktas. Vidare ordnar verksamhetsutövaren så att anställda får utbildning och rutiner för handlande i en utrymningssituation. Detta innebär en kortare reaktionstid samt att en större andel av de utrymmande kan förväntas utrymma via alternativa utrymningsvägar.

Samma brandförloppsberäkningar används som i grundutförandet. Nya utrymningsberäkningar används dock för att ta fram ekvationer för utrymningstid som funktion av personantal. Även antalet exponerade vid negativ säkerhetsmarginal påverkas.

10.12.2 Frekvensanalys

De nya förutsättningarna ger ett nytt utseende på händelseträdet. Sammanlagt fås fem scenarier varav fyra bedöms kunna få konsekvenser i form av besökare utsatta för kritiska eller dödliga förhållanden. Se händelsetråd i figur 10.31 nedan.



Figur 10.31 Händelsetråd för brand i samlingslokalen vid ökad utrymningsbredd och organisatoriskt brandskydd.

De värden på parametrar som används i denna analys är de som tagits fram och använts i grundutförandet se tabell 10.41. Sannolikheten för en blockerad utrymningsväg motsvarar liksom i det sprinklade utförandet den framtagna sannolikheten att en brand blockerar en utrymningsväg.

Tabell 10.41 Indata till händelsetråd.

Parameter	Använd fördelning eller värde
Frekvens för brands uppkomst	Normal (0,059;0,01)
Andel bränder som ej utvecklas	Normal (0,035;0,045)
Utrymningslarms funktion	0,96
Sannolikhet för 1 blockerad utrymningsväg	Likformig (0,20;0,30)

10.12.3 Reaktions- och beslutstid

Reaktions- och beslutstiden bedöms bli något kortare då personalen genomgått utbildning och har rutiner för handlande vid aktiverat utrymningslarm eller på annat sätt detekterad brand. Med anledning av detta används något kortare reaktionstider. I kapitel 8.5.3 sammanfattas resultat från studien av olika underlag för bedömning av reaktionstid. För varuhus bedöms reaktionstiden vid larm utfört som talat meddelande i kombination med att utbildad personal underlättar utrymningen kunna beskrivas med en lognormalfördelning med medelvärde 40 sekunder och standardavvikelse 15 sekunder. Dock är den studerade verksamheten ej att jämföra med ett varuhus då det är ett större antal besökare per personal i samlingslokalen och dessa besökare kan vara svåra att få att uppmärksamma uppmaningarna. Lokalen är samtidigt mindre än de varuhus som ligger till grund för lognormalfördelningen vilket innebär att personal sannolikt har lättare att nå fram till besökarna med information. I grundutförandet användes en lognormalfördelning med medelvärde 50 sekunder och standardavvikelse 25 sekunder för fallet då utrymningslarmet fungerar. Denna bedöms kunna förbättras något för fallet med utbildad personal, dock bedöms skillnaden ej bli särskilt stor då besökare även i grundutförandet får god information från det talade utrymningslarmet och dessutom får en klar indikation på att de ska utrymma då eventuell musik stängs av och ljuset tänds. Spridningen mellan besökares reaktionstid bedöms kunna minskas genom att personal underlättar för de som tvekar att påbörja utrymning. Utifrån detta bedöms reaktions- och beslutstiden kunna beskrivas med en lognormalfördelning med medelvärde 45 sekunder och standardavvikelse 15 sekunder, en förhållandevis liten skillnad mot grundutförandet.

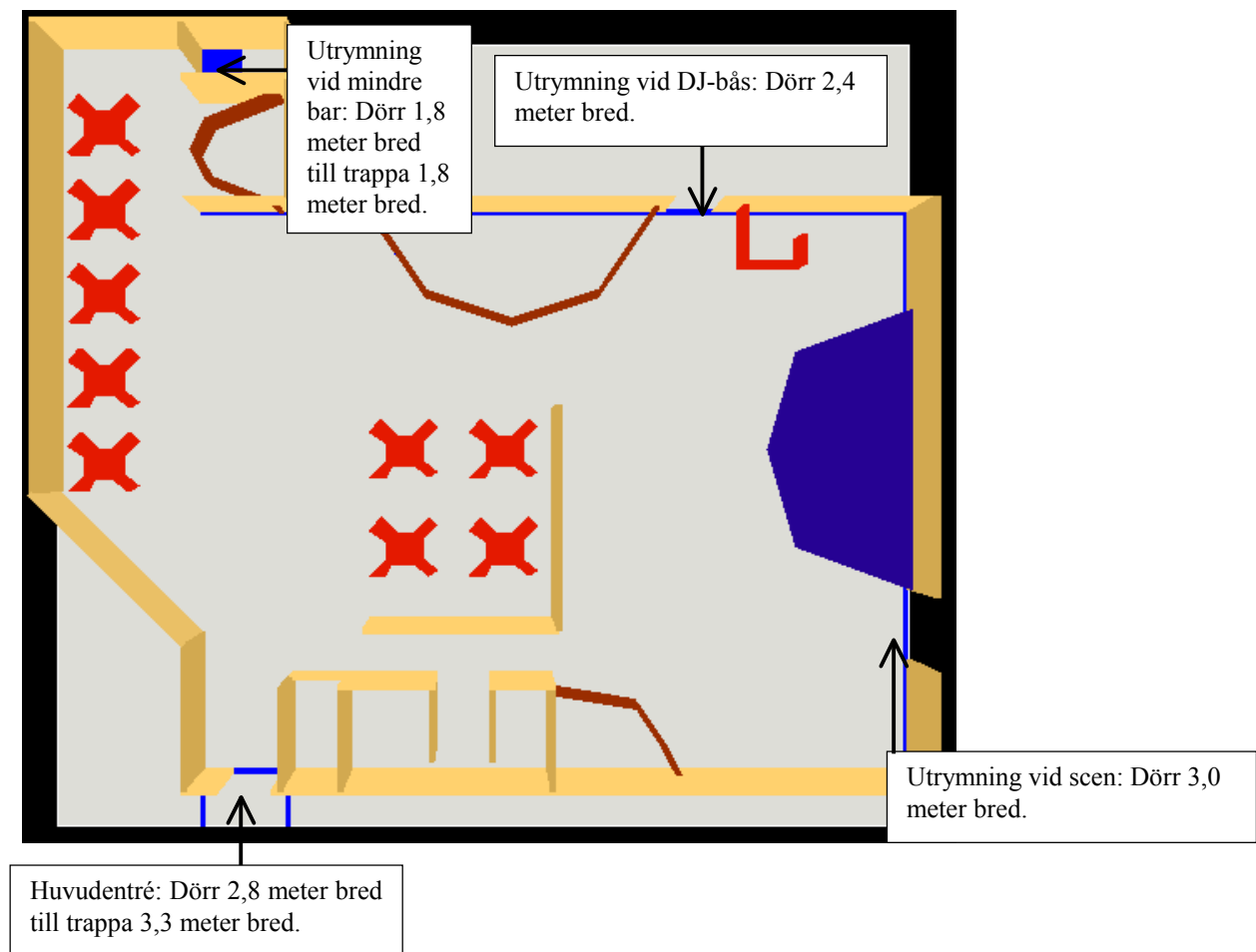
För fallet då utrymningslarm ej fungerar bedöms personalen insats kunna påverka reaktions- och beslutstiden i en större utsträckning. Även här bedöms spridningen minska, och en lognormalfördelning med medelvärde 60 sekunder och standardavvikelse 20 sekunder används. De använda fördelningarna sammanfattas i tabell 10.42.

Tabell 10.42 Reaktionstid vid aktiverat respektive ej aktiverat utrymningslarm.

Reaktionstid	Använd fördelning
Vid aktiverat utrymningslarm, $t_{r, \text{larm}}$	Lognormal (45;15)
Vid ej aktiverat utrymningslarm, $t_{r, \text{ej larm}}$	Lognormal (60;20)

10.12.4 Utrymningsförlopp

Den ökade utrymningsbredden påverkar utrymningsförloppet. Utrymningsberäkningar motsvarande grundfallet genomförs, dock med nya utrymningsbredder i enlighet med figur 10.32. 1000 personer innebär att den totala utrymningsbredden är 10 meter istället för 6,7 meter som i grundutförandet.



Figur 10.32 Ny utrymningsutformning.

Fem olika personantal studeras och simuleringarna utförs såväl med alla utrymningsvägar tillgängliga som med en blockerad. Vid beräkningar med en blockerad utrymningsväg blockerar utrymningen vid DJ-båset. Resultat från dessa simuleringar ges i tabell 10.43 nedan. Jämfört med tidigare beräkningar använder fler besökare alternativa utrymningsvägar vilket ytterligare förbättrar utrymningstiderna.

Tabell 10.43 Resultat från simulerade utrymningsfall.

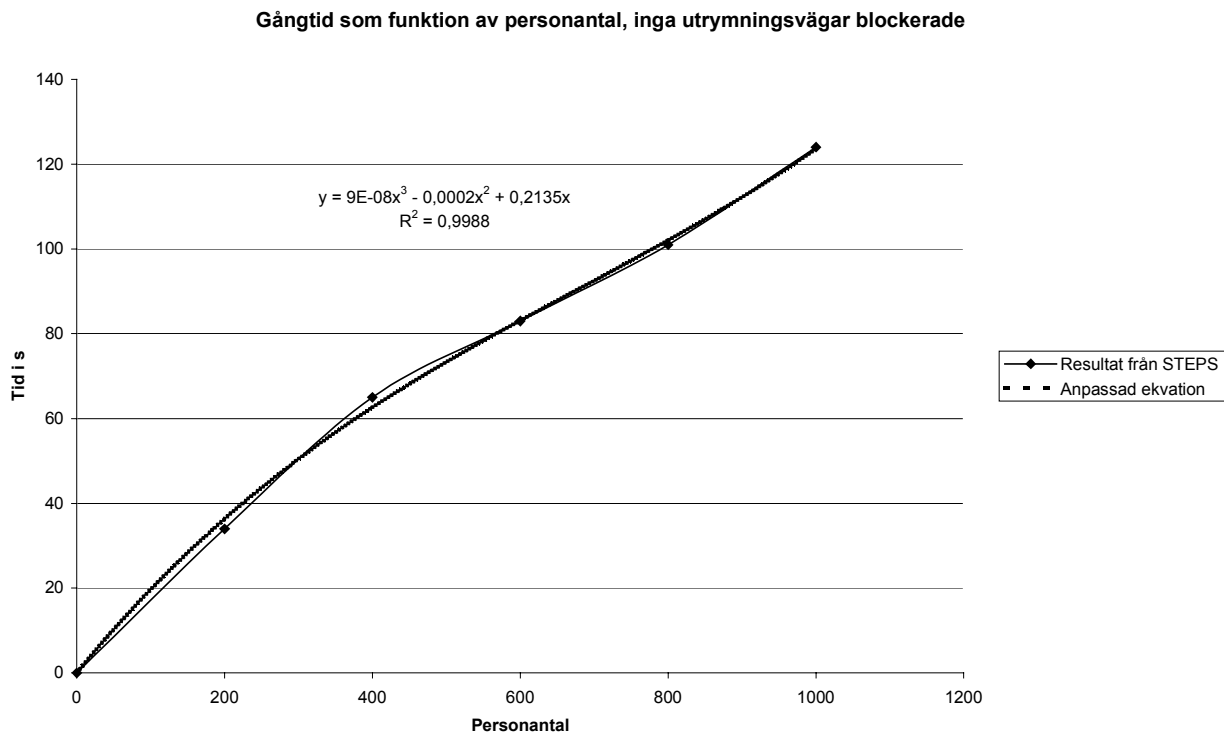
Personantal	Tid till utrymning (s) utrymningsvägar fria	Tid till utrymning (s) en utrymningsväg blockerad
0	0	0
200	34	37
400	65	74
600	83	110
800	101	134
1000	124	161

Dessa resultat anpassas till ekvationsuttryck för gångtiden som funktion av personantal för de båda fallen. Detta innebär att gångtiden som funktion av personantal kan beskrivas med följande ekvationer:

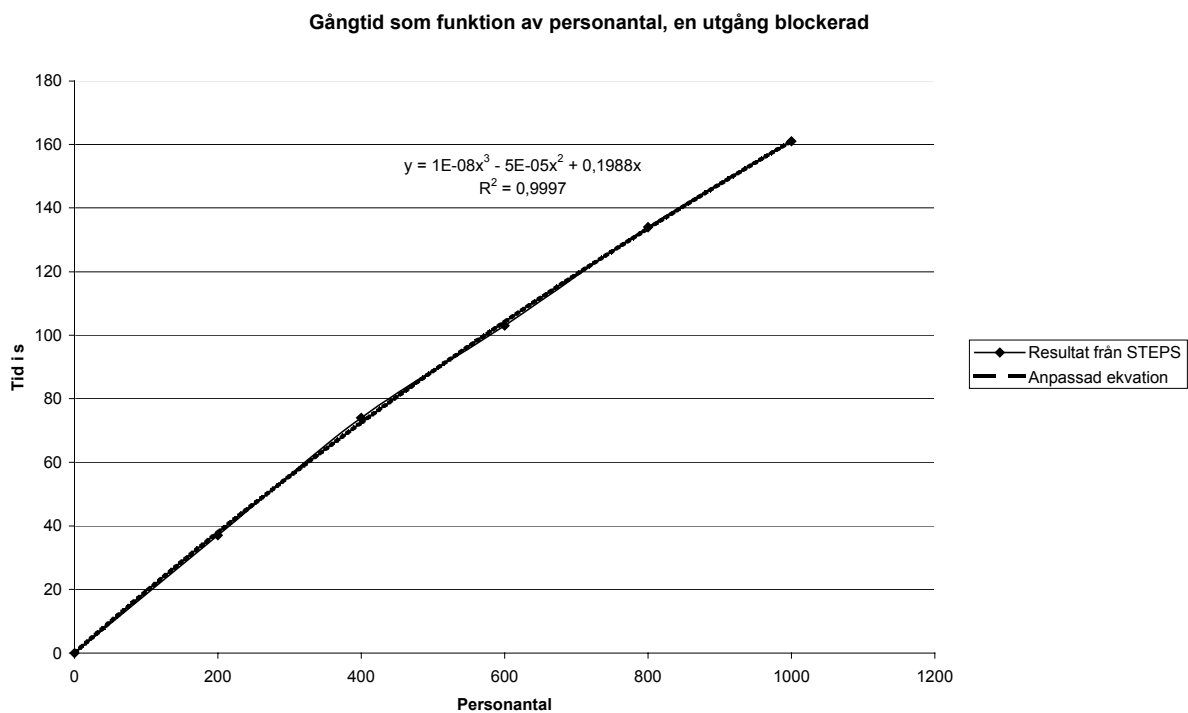
$t_{g0} = 9 \cdot 10^{-8} \cdot P^3 - 0,0002 \cdot P^2 + 0,2135 \cdot P$; då alla utrymningsvägar är tillgängliga

$t_{g1} = 1 \cdot 10^{-8} \cdot P^3 - 5 \cdot 10^{-5} \cdot P^2 + 0,1988 \cdot P$; då en utrymningsväg är blockerad

Dessa resultat illustreras i figur 10.33 och 10.34 nedan.



Figur 10.33 Gångtid som funktion av personantal, inga utrymningsvägar blockerade.



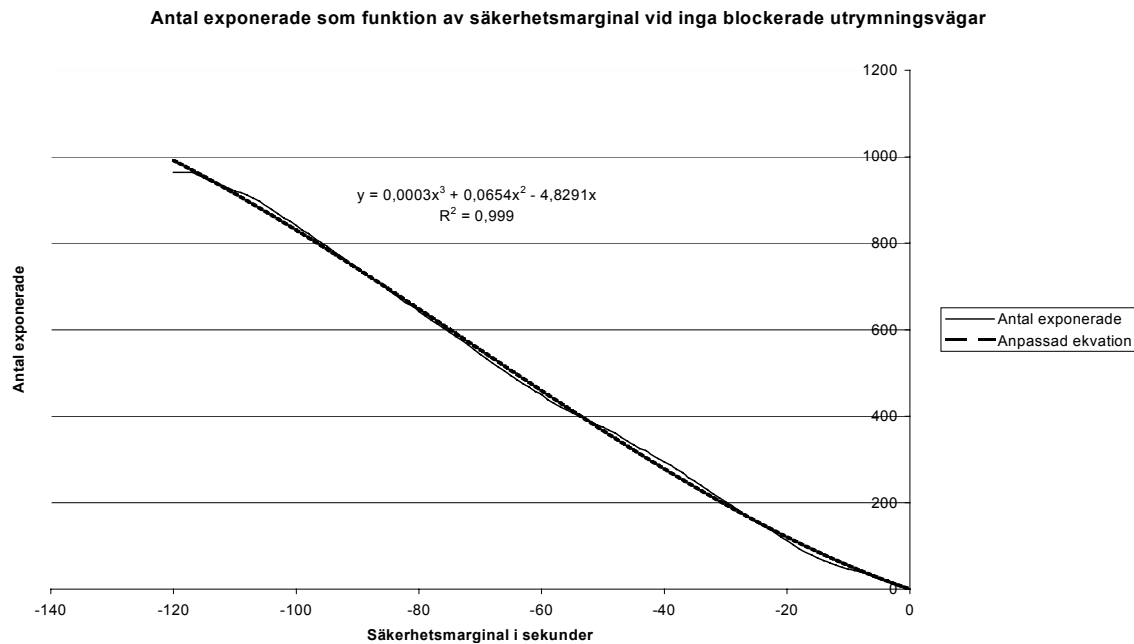
Figur 10.34 Gångtid som funktion av personantal, en utrymningsväg blockerad.

De nya utrymningsberäkningarna innebär även att nya ekvationer för antal exponerade vid olika storlek på den negativa säkerhetsmarginalen behöver tas fram. Detta görs enligt tidigare metod med hjälp av utrymningsberäkningar, och innebär att antalet exponerade som funktion av säkerhetsmarginal kan beskrivas med följande ekvationer:

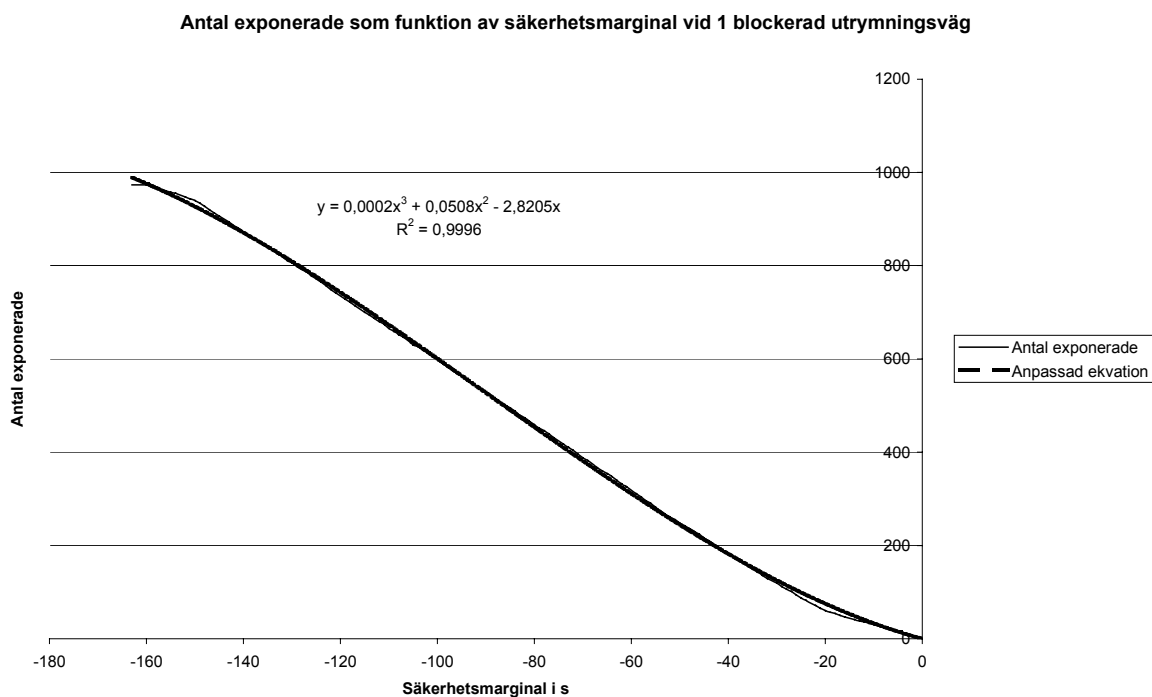
$$N_{\text{exp}} = 0,0003 * S^3 + 0,0654 * S^2 - 4,9291 * S; \text{ g\u00e4ller vid inga blockerade utrymningsv\u00e4gar}$$

$$N_{\text{exp}} = 0,0002 * S^3 + 0,0508 * S^2 - 2,8205 * S; \text{ g\u00e4ller vid en blockerad utrymningsv\u00e4g}$$

Antal exponerade som funktion av säkerhetsmarginalen visas \u00e4ven i figur 10.35 och 10.36.



Figur 10.35 Antal exponerade som funktion av säkerhetsmarginal.



Figur 10.36 Antal exponerade som funktion av säkerhetsmarginal vid en blockerad utrymningsv\u00e4g.

10.12.5 Beräkning av säkerhetsmarginal

De olika scenarierna i händelseträdet representerar olika förutsättningar och ger således olika uttryck för säkerhetsmarginalen. Dessa presenteras nedan:

Scenario 1

Motsvarar en brand som utvecklas. Utrymningslarm fungerar och samtliga utrymningsvägar är tillgängliga.

$$S_{krit} = t_{krit} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g0}$$

$$S_{död} = t_{död} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g0}$$

Scenario 2

Motsvarar en brand som utvecklas. Utrymningslarm fungerar, en utrymningsväg är blockerad.

$$S_{krit} = t_{krit} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g1}$$

$$S_{död} = t_{död} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g1}$$

Scenario 3

Motsvarar en brand som utvecklas. Utrymningslarm fungerar ej, samtliga utrymningsvägar är tillgängliga.

$$S_{krit} = t_{krit} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g0}$$

$$S_{död} = t_{död} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g0}$$

Scenario 4

Motsvarar en brand som utvecklas. Utrymningslarm fungerar ej, en utrymningsväg är blockerad.

$$S_{krit} = t_{krit} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g1}$$

$$S_{död} = t_{död} - t_{v,ej\ larm} - t_{r,ej\ larm} - t_{g1}$$

Scenario 5

Motsvarar att branden ej utvecklas, det vill säga den självslocknar alternativt släcks av personal eller besökare. Scenariet bedöms ej få några konsekvenser varför inga beräkningar av säkerhetsmarginalen görs.

De ekvationer och fördelningar som används som indata till Monte Carlo-simuleringarna sammanställs nedan.

Kritiska och dödliga förhållanden :

$$t_{krit} = 825,36\alpha^{-0,3673}; \text{ Gäller för samtliga utfall}$$

$$t_{död} = 1024,1\alpha^{-0,3652}; \text{ Gäller för samtliga utfall}$$

Varseblivningstider :

$$t_{v,larm} = T_d = 53,7204 + 14,6d - 0,284\alpha; \text{ } 0m < d < 1m; \text{ Gäller då utrymningslarm fungerar}$$

$$= T_d = 145,349\alpha^{-0,34435} d^{0,474794}; \text{ } 1m \leq d; \text{ Gäller då utrymningslarm fungerar}$$

$$t_{v,ej\ larm} = \text{Lognormal}(90;30); \text{ Gäller då utrymningslarm ej fungerar}$$

Reaktionstider :

$$t_{r,larm} = \text{Lognormal}(45;15); \text{ Gäller då utrymningslarm fungerar}$$

$$t_{r,ej\ larm} = \text{Lognormal}(60;20); \text{ Gäller då utrymningslarm ej fungerar}$$

Gångtider :

$$t_{g0} = 9 * 10^{-8} * P^3 - 0,0002 * P^2 + 0,2135 * P; \text{ då alla utrymningsvägar är tillgängliga}$$

$$t_{g1} = 1 * 10^{-8} * P^3 - 5 * 10^{-5} * P^2 + 0,1988 * P; \text{ då en utrymningsväg är blockerad}$$

Använda fördelningar i ekvationerna :

$$\alpha = \text{Weibull}(1,9310;35,808)$$

$$d = \text{Triang}(0;5;7,07)$$

$$P = \text{BetaGeneral}(0,9548;3,3078;0;1126,5)$$

SI - enheter används, dvs samtliga tider avser sekunder, brands tillväxthastighet α avser $\frac{W}{s^2}$, och d, det horisontella avståndet från brand till detektor anges i meter.

Resultat av beräkning av säkerhetsmarginal:

Resultat från beräkning av säkerhetsmarginal ges i tabell 10.44 och 10.45 nedan och redovisas i form av medelvärde, median och 90%-igt konfidensintervall.

Tabell 10.44 Säkerhetsmarginal till kritiska förhållanden för de olika scenarierna.

Scenario	Andel negativa S_{krit}	Medelvärde	5%-fraktil	Median	95%-fraktil
1	4,4 %	80,9 s	2,1 s	73,2 s	183,6 s
2	10,5 %	73,4 s	-21,4 s	68,9 s	181,6 s
3	17,8 %	69,0 s	-46,1	57,4 s	215,4 s
4	23,1 %	60,4 s	-63,4 s	51,7 s	209,1 s
5	-	-	-	-	-

Tabell 10.45 Säkerhetsmarginal till dödliga förhållanden för de olika scenarierna.

Scenario	Andel negativa $S_{död}$	Medelvärde	5%-fraktil	Median	95%-fraktil
1	0,19 %	144,6 s	52,1 s	132,0 s	276,8 s
2	1,3 %	137,0 s	29,8 s	127,2 s	272,4 s
3	4,4 %	131,6 s	3,5 s	116,1 s	309,1 s
4	6,9 %	124,0 s	-12,8 s	110,2	302,0 s
5	-	-	-	-	-

Vid jämförelse av fall med samtliga utrymningsvägar tillgängliga och fall med en blockerad utrymningsväg ses att medelvärdena för dessa ej skiljer sig avsevärt. Dock fås en betydligt större andel låga och negativa säkerhetsmarginaler i fallet med en blockerad utrymningsväg. Detta kan förklaras med att det för de flesta personantal ej skiljer mycket i gångtid mellan det blockerade och det oblockerade fallet, exempelvis skiljer endast cirka 7 sekunder i gångtid vid 300 besökare. Vid större personantal är skillnaden större, varför i dessa fall oftare uppnås negativa säkerhetsmarginaler för det blockerade fallet. Vid 900 besökare skiljer det cirka 50 sekunder mellan gångtiderna för det blockerade och oblockerade fallet. Stora personantal är förhållandevis ovanliga enligt den framtagna personfördelningen varför medelvärdet påverkas i liten utsträckning, dock blir påverkan större vid låga säkerhetsmarginaler vid en blockerad utrymningsväg.

10.12.6 Konsekvensanalys och riskberäkningar

Beräkning av medelrisk

Vidare omvandlas de beräknade negativa säkerhetsmarginalerna till konsekvenser i form av antal exponerade besökare med hjälp av ekvationer framtagna i kapitel 10.12.4. Dessa anpassas till kontinuerliga konsekvensfördelningar och med hjälp av Monte Carlo-simuleringar beräknas riskfördelningen enligt följande ekvation nedan. Resultat från dessa simuleringar ges i tabell 10.46 och 10.48. En anpassad riskfördelning görs endast för den sammanlagda risken, det vill säga alla scenariers summerade risk R_{tot} . Närmare beskrivning av beräkningarnas utförande ges i kapitel 9.5.2.

$$R_i = f_i * a_{k,i} * K_i$$

$$R_{tot} = \sum_{i=1}^n f_i * a_{k,i} * K_i$$

R_i = Sannolikhetsfördelning för medelrisken för scenario i

f_i = frekvens för scenario i, hämtas vid varje iteration ur händelsetråd

$a_{k,i}$ = Andel iterationer i konsekvensberäkning som medför konsekvens för scenario i

K_i = Värde på konsekvens vid scenario i, hämtas vid varje iteration från konsekvensfördelning för scenario i

R_{tot} = Sannolikhetsfördelning för medelrisken avseende starthändelsen i händelsetrådet

n = Antal scenarier i händelsetrådet

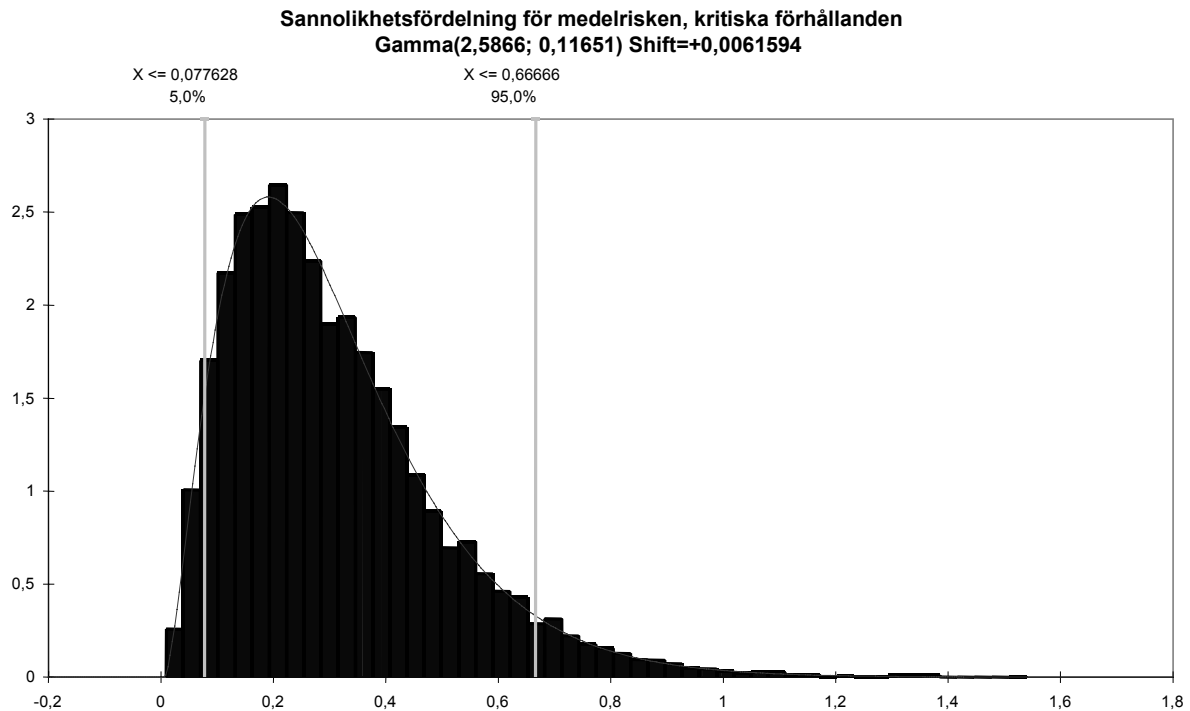
Kritiska förhållanden:

Resultatet från beräkningar av den förväntade risken med avseende på kritiska förhållanden ges i tabell 10.46.

Tabell 10.46 Beräkning av riskfördelning.

Scenario	Frekvens	Andel med konsekvens a_k	Konsekvensfördelning K
1	f_1	4,4 %	BetaGeneral(0,83730; 8,2324; 0,0000; 1100,0)
2	f_2	10,5 %	BetaGeneral(0,85220; 7,4422; 0,0000; 1100,0)
3	f_3	17,8 %	BetaGeneral(0,85798; 4,0881; 0,0000; 1100,0)
4	f_4	23,1 %	BetaGeneral(0,80866; 4,1654; 0,0000; 1100,0)
5	f_5	-	-

Resultatet för den totala riskfördelningen visas i figur 10.37 nedan. Anpassning till kontinuerlig fördelning är gjord i Bestfit. Spridningen redovisas i tabell 10.47 i form av medelvärde och 90%-igt konfidensintervall.



Figur 10.37 Riskfördelning för förväntade antal exponerade för kritiska förhållanden i genomsnitt per år.

Tabell 10.47 Fördelning för medelrisken avseende kritiska förhållanden.

Medelrisk (/år)	5%-fraktil	Medelvärde	95%-fraktil
Gamma(2,5866;0,11651;Shift(0,0061594))	0,078	0,31	0,67

Detta innebär att medelvärdet av det förväntade antalet för kritiska förhållanden exponerade per år är ungefär 0,3 personer. Ett 90%-igt konfidensintervall ger att risken enligt detta mått enligt beräkningarna med 90 % sannolikhet ligger i intervallet 0,078 - 0,67 exponerade per år.

Dödliga förhållanden:

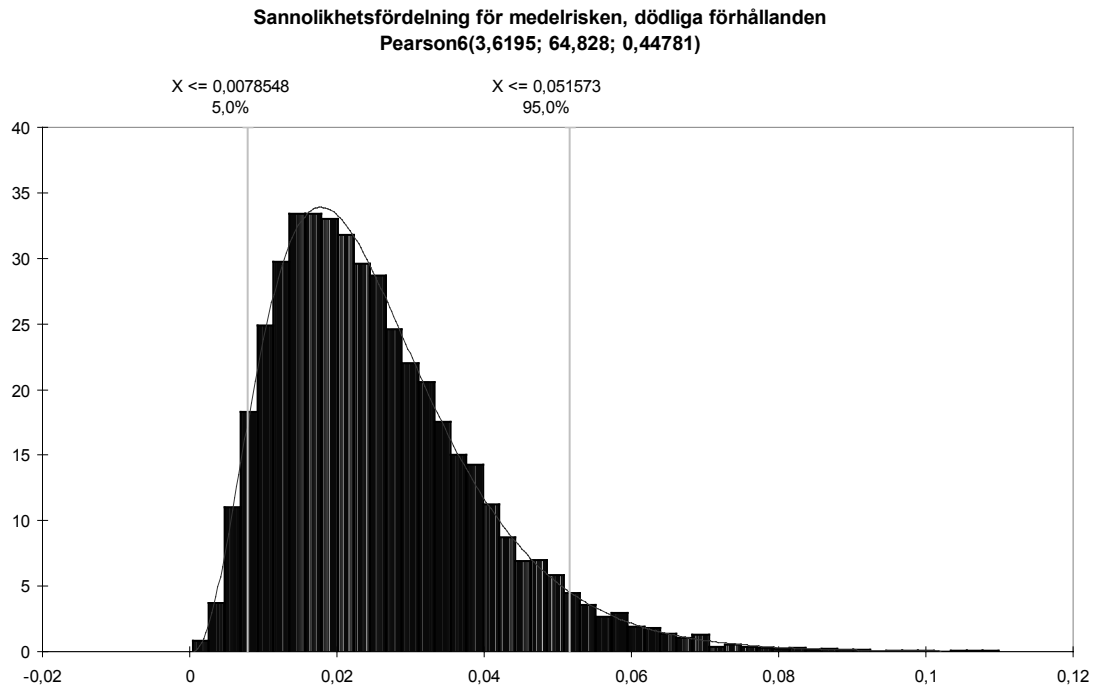
Resultatet från beräkningar av den förväntade risken med avseende på kritiska förhållanden ges i tabell 10.48.

Tabell 10.48 Beräkning av riskfördelning.

Scenario	Frekvens	Andel med konsekvens a_k	Konsekvensfördelning K_i
1	f_1	0,19 %	BetaGeneral(1,2543;20,733;0,0000; 1100,0)*
2	f_2	1,3 %	BetaGeneral(0,94404;14,062; 0,0000; 1100,0)
3	f_3	4,4 %	BetaGeneral(0,88962; 5,2257; 0,0000; 1100,0)
4	f_4	6,9 %	BetaGeneral(0,73547; 4,5719; 0,0000; 1100,0)
5	f_5	-	-

*Anpassningen bygger på ett fåtal observationer

Resultatet för den totala riskfördelningen visas i figur 10.37 nedan. Anpassning till kontinuerlig fördelning är gjord i Bestfit. Spridningen redovisas i tabell 10.49 i form av medelvärde och 90%-igt konfidensintervall.



Figur 10.37 Riskfördelning för förväntat antal exponerade för dödliga förhållanden i genomsnitt per år.

Tabell 10.49 Fördelning för medelrisken avseende dödliga förhållanden.

Medelrisk (år)	5%-fraktil	Medelvärde	95%-fraktil
Pearson6(3,6195;64,828;0,44781)	0,0079	0,025	0,051

Detta innebär att medelvärdet av det förväntade antalet för dödliga förhållanden exponerade per år är ungefär 0,025 personer. Ett 90%-igt konfidensintervall ger att risken enligt detta mått enligt beräkningarna med 90 % sannolikhet ligger i intervallet 0,0079-0,051 exponerade per år.

Beräkning av riskprofil

Vid beräkning av utseende av riskprofil för antal exponerade för kritiska och dödliga förhållanden görs beräkningar motsvarande de i kapitel 10.10.4. Frekvenser för de olika scenarierna används liksom utdata från konsekvensanalys av dessa scenarier. Dessa konsekvensutdata har tagits fram genom att negativa säkerhetsmarginaler omvandlats till ett antal exponerade besökare. Nedan presenteras de ekvationer och beteckningar som används, för närmare beskrivning av dessa beräkningar se kapitel 9.5.3.

f_i = frekvens för scenario i , fås ur händelsetråd

$f_{k,i}$ = frekvens för en viss konsekvens k från scenario i

$p_{k,i}$ = sannolikhet för en viss i konsekvensanalysens scenario i observerad konsekvens k givet att scenario i uppkommit

i_{ka} = antalet iterationer i konsekvensanalysen

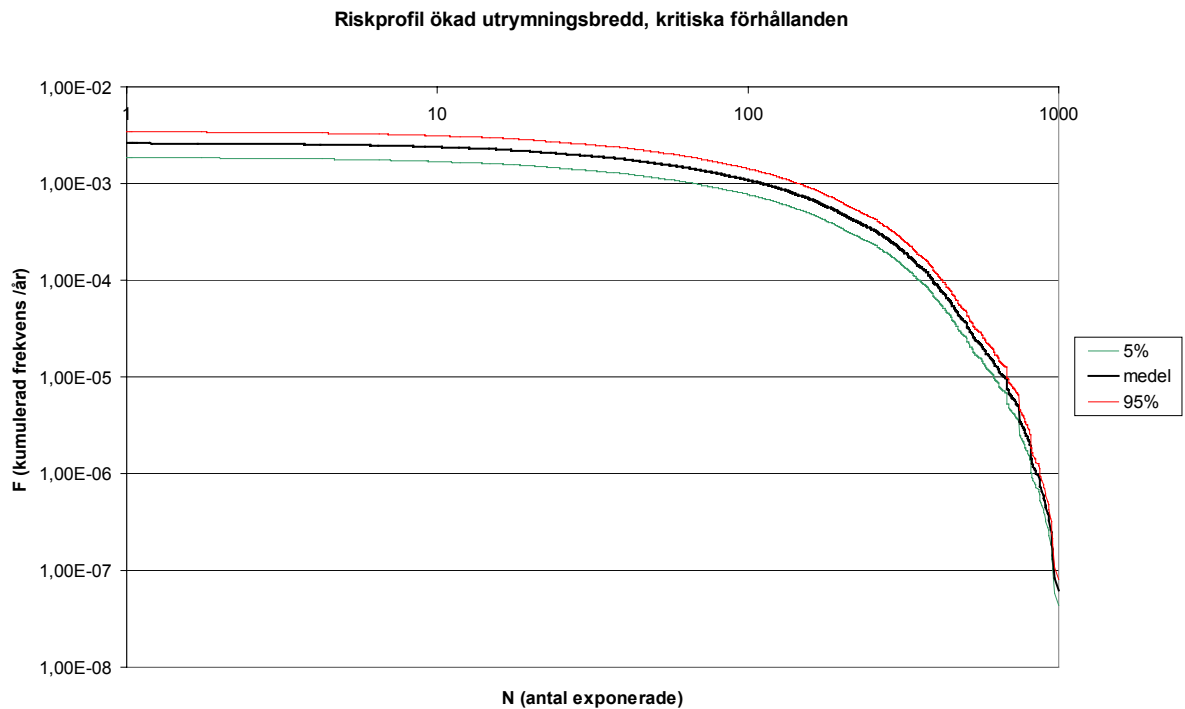
$$p_{k,i} = \frac{1}{i_{ka}}$$

$$f_{k,i} = f_i * p_{k,i}$$

F_k = kumulerad frekvens för en viss konsekvens k , dvs frekvensen för k eller fler exponerade

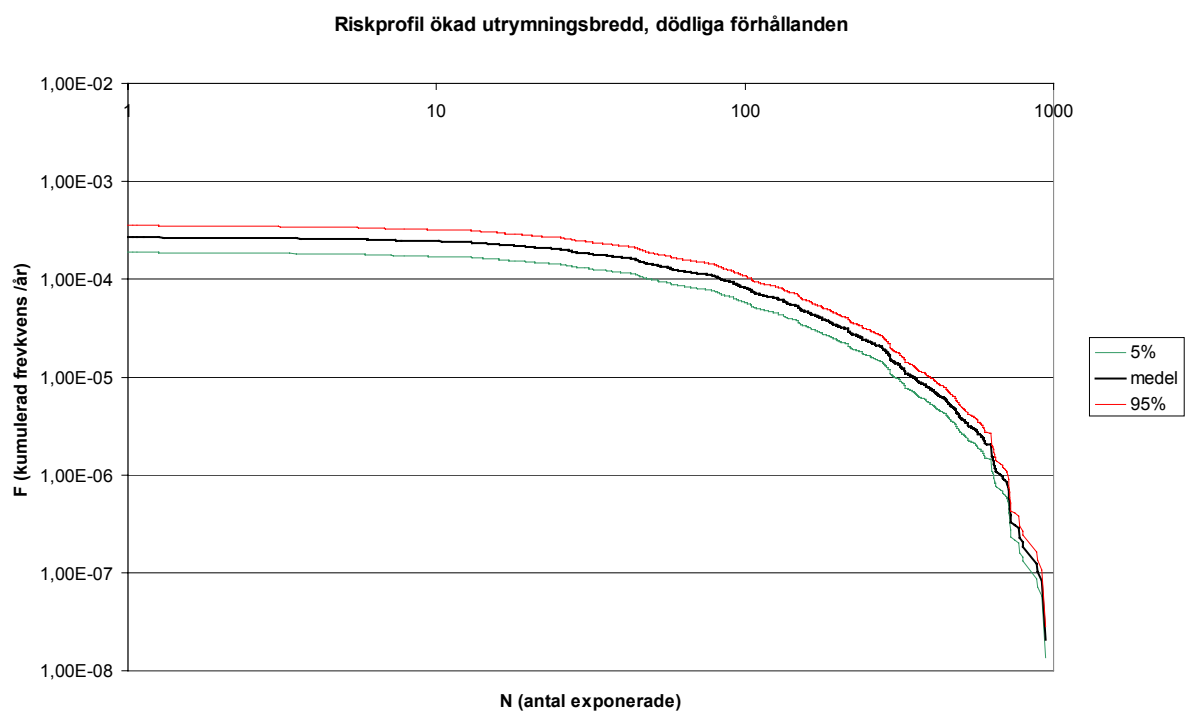
Den kumulerade frekvensen för de olika konsekvensutfallen beräknas. Resultatet från dessa beräkningar, som genomförs med Monte Carlo-simuleringar i @RISK, sammanfattas i figur 10.39 och 10.40 nedan för kritiska och dödliga förhållanden vid ökad utrymningsbredd. Frekvenserna kumuleras så att beräkningsresultaten i tabellerna motsvarar N eller fler exponerade.

Kritiska förhållanden



Figur 10.39 Riskprofil, antal exponerade för kritiska förhållanden i samlingslokalen vid ökad utrymningsbredd.

Dödliga förhållanden:



Figur 10.40 Riskprofil, antal exponerade för dödliga förhållanden i samlingslokalen vid ökad utrymningsbredd.

10.12.7 Slutsatser och kommentarer

Ökad utrymningsbredd i kombination med förbättrat organisatoriskt brandskydd minskar även det andelen fall med negativ säkerhetsmarginal. Jämfört med grundutförandet kan ses att för fallet då utrymningslarmet fungerar och inga utrymningsvägar blockeras är säkerhetsmarginalen negativ i ungefär 4 % av brandfallen jämfört med i 25 % av fallen i grundutförandet. Jämförs de olika beräknade riskmåttens ses även där att denna utformning innebär en väsentlig förbättring jämfört med grundutförandet.

En noggrannare jämförelse mellan resultaten i denna analys och övriga studerade fall görs i kapitel 10.13.

10.13 Jämförelse mellan olika utformningar

10.13.1 Allmänt

En jämförelse av resultaten från riskanalyserna av samlingslokalen vid de olika utformningarna görs nedan. Jämförelser görs av förväntat antal exponerade för kritiska och dödliga förhållanden för de olika utformningarna. Dessutom jämförs utformningarnas riskprofiler.

10.13.2 Jämförelse av medelrisk

De beräknade förväntade antalet exponerade för kritiska och dödliga förhållanden för de olika utformningarna jämförs i tabell 10.50 och 10.51 nedan. Värdena avser genomsnittligt antal exponerade per år och skall tolkas som medelvärden över tiden.

Tabell 10.50 Fördelning för genomsnittligt antal exponerade för kritiska förhållanden per år.

Utformning	5%-fraktil	Medelvärde	95%-fraktil
Grundutförande	0,26	1,5	3,7
Sprinkler	0,055	0,20	0,44
Ökad utrymningsbredd	0,078	0,31	0,67

Tabell 10.51 Fördelning för genomsnittligt antal exponerade för dödliga förhållanden per år.

Utformning	5%-fraktil	Medelvärde	95%-fraktil
Grundutförande	0,077	0,43	1,1
Sprinkler	0,0019	0,014	0,039
Ökad utrymningsbredd	0,0079	0,025	0,051

Jämförs medelvärden ses att för kritiska förhållanden är det förväntade antalet exponerade per år endast omkring en sjundedel vid sprinklat utförande vid jämförelse med grundutförandet. För utformningen med ökad utrymningsbredd reduceras risken till en femtedel av grundutförandets vid jämförelser av medelvärden.

För dödliga förhållanden blir skillnaderna ännu större, risken enligt detta mått reduceras vid sprinklat utförande över 30 gånger när medelvärden studeras. Ökad utrymningsbredd reducerar risken drygt 15 gånger.

Således förefaller det som om såväl sprinkler som ökad utrymningsbredd i kombination med förbättrat organisatoriskt brandskydd väsentligen minskar risken i lokalen. Sprinkler ger något bättre resultat, dock ligger dessa så pass nära varandra att det kan vara intressant att jämföra fördelningarna för dessa båda utformningar. Detta för att få en bild av med vilken säkerhet

sprinkler kan sägas vara en bättre riskreducerande åtgärd än ökad utrymningsbredd. För att göra detta Monte Carlo-simuleras differensen mellan riskfördelningen för det sprinklade utförandet och riskfördelningen för utförandet med ökad utrymningsbredd och förbättrat organisatoriskt brandskydd. Den ekvation som simuleras beskrivs nedan.

$$R_{tot,sprinkl} - R_{tot,utr}$$

$R_{tot,sprinkl}$ = Riskfördelning vid sprinklat utförande

$R_{tot,utr}$ = Riskfördelning vid ökad utrymningsbredd och förbättrat organisatoriskt brandskydd

Andelen positiva värden vid beräkningarna motsvarar sannolikheten att risken är större vid det sprinklade utförandet än vid utförande med ökad utrymningsbredd. Riskfördelningarna för de olika utformningarna beräknas i kapitel 10.11.5 och 10.12.6 för såväl kritiska som dödliga förhållanden och dessa ges i tabell 10.52 nedan:

Tabell 10.52 Riskfördelningarna för de olika utformningarna.

Utformning	Riskfördelning kritiska förhållanden	Riskfördelning dödliga förhållanden
Sprinklat utförande	Pearson6(3,3285; 17,996; 1,0417)	Pearson6(1,8398; 7,6299; 0,051842)
Ökad utrymningsbredd	Gamma(2,5866;0,11651;Shift(0,0061594))	Pearson6(3,6195;64,828; 0,44781)

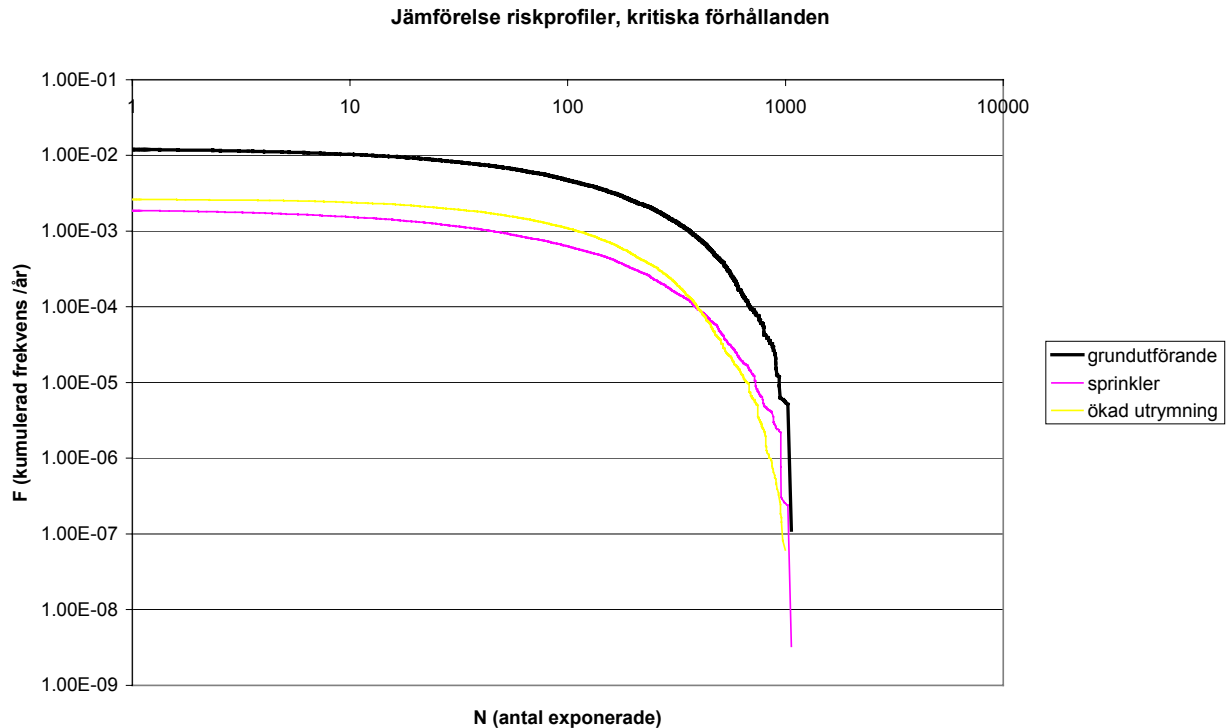
Uttrycket Monte Carlo-simuleras med 10000 iterationer, resultatet illustreras i tabell 10.53 nedan. Beräkningarna indikerar att sannolikheten att det sprinklade utförande utgör en mindre risk, avseende exponering för kritiska förhållanden, än utförandet med ökad utrymningsbredd är omkring 70 %. För dödliga förhållanden är motsvarande sannolikhet omkring 80 %. Således är rangordning utav dessa något osäker även om beräkningarna tyder på att sprinkler utgör ett något säkrare alternativ.

Tabell 10.53 Andel positiva värden vid MonteCarlo-simulering.

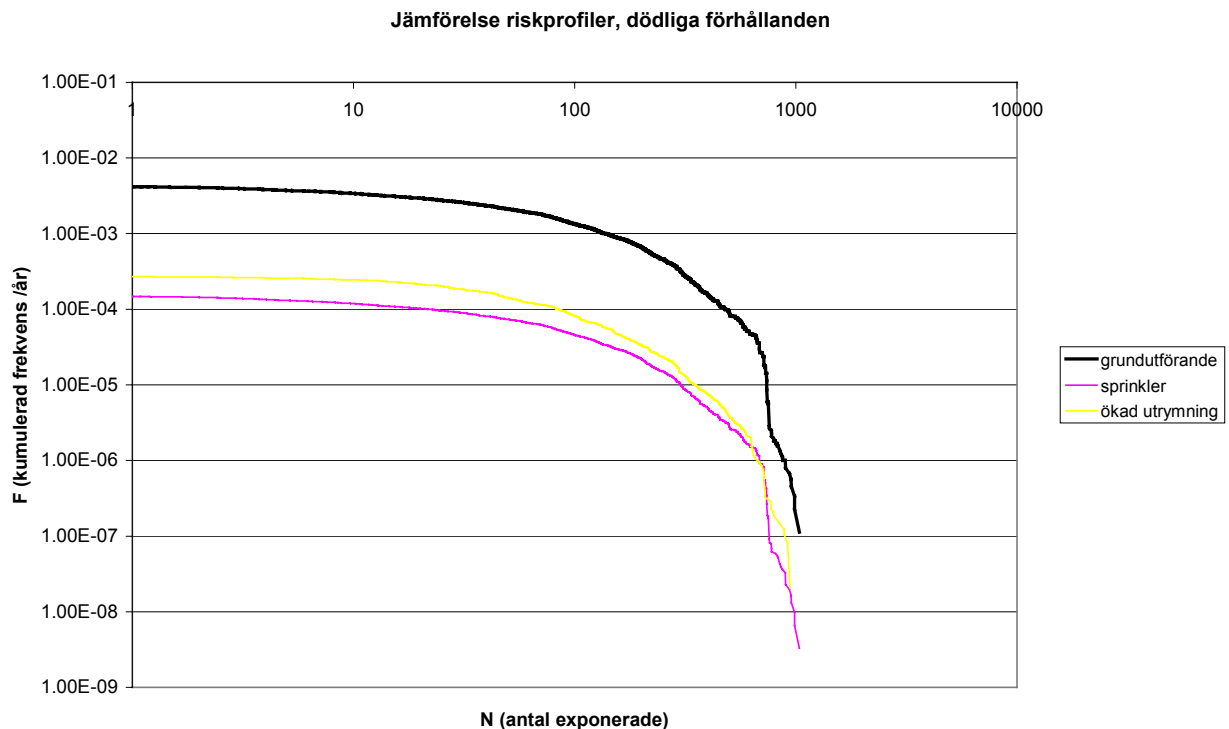
	Andel positiva värden
Kritiska förhållanden	0,321
Dödliga förhållanden	0,232

10.13.3 Jämförelse av riskprofiler

Riskprofilerna för de tre olika studerade utformningarna jämförs för både kritiska och dödliga förhållanden. Se figur 10.41 och 10.42.



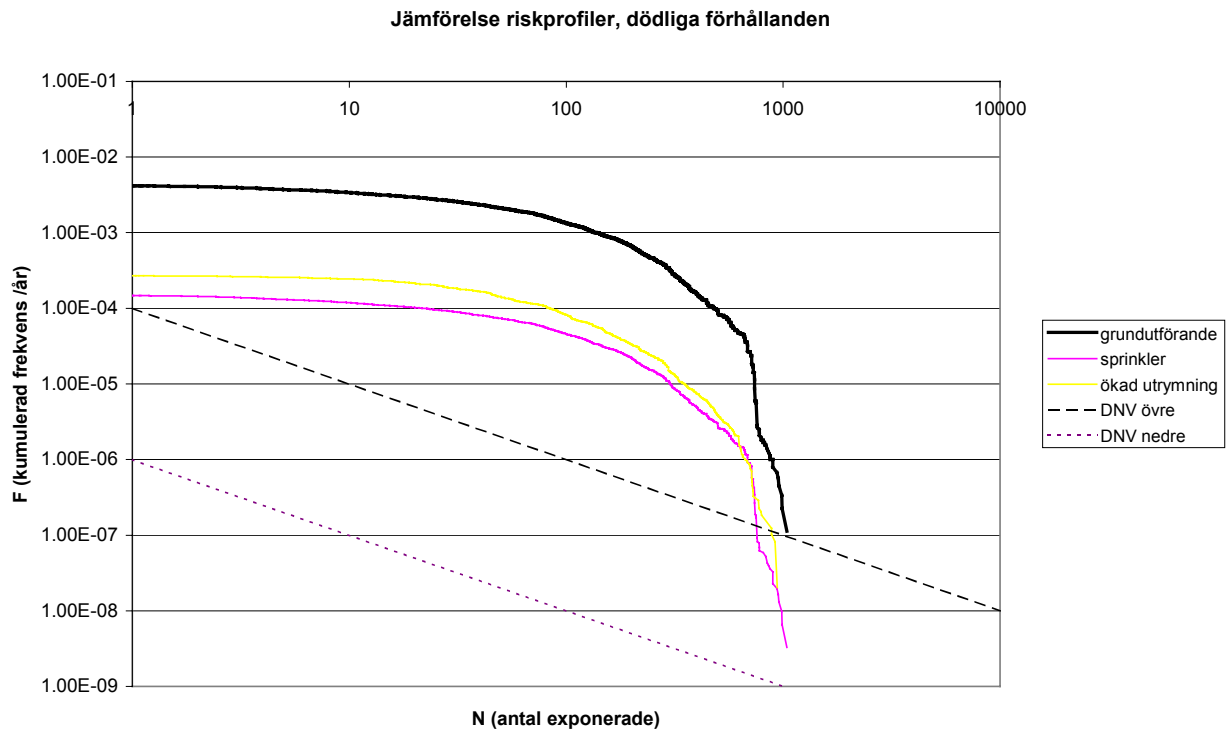
Figur 10.41 Jämförelse av riskprofil med medelfrekvenser för kritiska förhållanden vid de olika utformningarna.



Figur 10.42 Jämförelse av riskprofil med medelfrekvenser för dödliga förhållanden vid de olika utformningarna.

Då inga fastställda kriterier finns för dessa riskprofiler saknas egentligt underlag för bedömning av vilken utformning som motsvarar en acceptabel risknivå. Nedan görs en jämförelse av de beräknade riskprofilerna för dödliga förhållanden med de kriterier som tagits fram av DNV, Det Norske Veritas /56/. Dessa avser dock antal omkomna vilket inte är direkt

jämförbart med antal exponerade för dödliga förhållanden. För att göra en bedömning av förväntat antal omkomna skulle förutom information om antal exponerade för dödliga förhållanden även andra faktorer som exempelvis exponeringstid behöva tas med. Ur figur 10.43 nedan kan utläsas att samtliga kurvor hamnar ovanför DNV:s kriterier. De två strecken som utgör DNV:s kriterier motsvarar två olika nivåer av bedömningen av risk. Området under det nedersta av strecken anses vara tillräckligt säkert under alla omständigheter medan risker i området mellan de båda strecken bör undvikas så långt detta är möjligt.



Figur 10.43 Jämförelse av riskprofil avseende dödliga förhållanden och kriterier för samhällsrisk enligt DNV/56/.

10.13.4 Slutsatser och kommentarer

Som tidigare nämnts är det svårt att bedöma vilken utformning som utifrån beräkning av samhällsrisk kan anses utgöra en acceptabel lösning. Dock motsvarar grundutförandet en utformning som enligt gällande bygglagstiftning är godkänd. Det kan då tyckas allvarligt att denna i så många fall ej ger en tillfredsställande utrymning. I beräkningarna finns dock vissa modellosäkerheter som kan leda till att risken överskattas något. Främst gäller detta användandet av en tvåzonsmodell som innebär att brandgaser antas transportera sig momentant från branden till taknivå och sprida ut sig jämnt längs taket. Detta innebär att den tid det tar för brandgaser att sprida sig i lokalen sannolikt underskattas något. Vidare är användandet av α^2 -bränder en vedertagen metod, dock följer naturligtvis inte alla bränder detta samband. Vid studie av olika brandförsök kan ofta urskiljas något som liknar en α^2 -kurva, vanligt är dock att branden har en förbrinntid under vilken tillväxten är långsammare och effektutvecklingen måttlig. Det är naturligtvis inte omöjligt att vissa utav de bränder som uppvisar detta fenomen skulle upptäckas redan i detta skede, med en tidigare påbörjad utrymning som följd.

11 Slutsatser

Det är genomförbart att genom olika studier av data och undersökningar finna metoder att välja indata till brandtekniska riskanalyser som tar hänsyn till de ofta stora osäkerheterna i dessa indata. Det är vidare också genomförbart att med hjälp av dessa indata beräkna och presentera den risk som brand i en byggnad innebär, och att i dessa beräkningar ta hänsyn till ingående osäkerheter och presentera vad dessa innebär för variansen i det beräknade resultatet.

Skillnaden mellan detta förfarande och att använda deterministiska värden är stor, och resultatet från beräkningarna påverkas i hög grad. Om beräkningarna i de exempelanalyser som genomförs istället genomförts med deterministiska värden baserade på konservativa värden (95 %-fraktiler) visar det sig att exempelvis grundutförandets scenario 1 enligt denna metod beräknas få drygt 300 personer exponerade för dödliga förhållanden. Den probabilistiska analysen påvisar dock att sannolikheten att personer utsätts för dödliga förhållanden i detta scenario är omkring 6 %. På liknande sätt leder den deterministiska analysen till ett resultat som antyder att ingen utsätts för kritiska förhållanden om medelvärden används, medan det i den probabilistiska analysen visas att detta kan uppkomma och dessutom omfatta ett stort antal personer.

Metoden som används påverkar således resultaten i stor utsträckning, och i denna rapport har eftersträvat att ta fram en metodik som möjliggör jämförelser mellan olika utformningar vilket förenklar vid optimeringsproblem. Vid en deterministisk analys hanteras ej osäkerheter mer än översiktligt. De stora osäkerheter som finns i indata gör att resultat blir komplicerade att jämföra med varandra och det blir således svårt att uttala sig om vilken utformning som är att föredra. Ett sätt att komma tillrätta med detta är att hantera och analysera osäkerheterna genom att använda sannolikhetsfördelningar och låta indata variera i enlighet med dessa. Detta är dock ingen garanti för att resultaten blir rättvisande och korrekta då det fortfarande finns osäkerheter som ej kan kvantifieras och fall kan uppstå som ej förutsetts i analysen. Dock utgör den metodik ihop med de metoder och modeller för framtagande av indata som presenteras ett mer avancerat och nyanserat alternativ till den deterministiska analysen.

De osäkerheter som gått igenom har olika stor inverkan på de beräknade resultaten i de exempel som beräknas. Vad gäller säkerhetsmarginalens storlek framgår av den begränsade känslighetsanalys som genomförts att brandens tillväxthastighet och personantalet i byggnaden är viktiga parametrar. Osäkerheterna i dessa är främst stokastiska, och är således svåra att reducera. Undersökningen av dessa osäkerheter har givit värdefull information till riskanalysen och osäkerheterna påverkar i hög grad resultaten. Vid beräkningar av medelrisk visar det sig för det sprinklade fallet att osäkerheterna i sprinklers tillförlitlighet får stor inverkan på resultatet. Denna parameter har bestämts utifrån statistik från olika länder som tagits fram på olika sätt. Mer detaljerad statistik indelad efter utförande och underhåll av sprinklersystemen skulle kunna minska osäkerheterna i denna parameter avsevärt. Det bör dock påpekas att den undersökning som görs av parametrars signifikans ej är fullständig och dessutom gäller för just de exempel som beräknas i rapporten. Andra objekt med andra förutsättningar skulle kunna få andra rangordningar av parametrars signifikans.

12 Diskussion

Utgångspunkten i arbetet har varit att systematiskt studera de parametrar som är viktiga i en brandteknisk riskanalys. Analysen har syftat till att utifrån befintlig information kunna göra bedömningar av vilka värden på de olika parametrarna som är rimliga att använda vid olika beräkningar. Då osäkerheterna är stora kring många av dessa parametervärden har detta beaktats genom att det i de fall det varit möjligt tagits fram sannolikhetsfördelningar för dessa värden.

Under arbetet har svårigheter påträffats vad gäller möjligheten att finna detaljerade uppgifter som möjliggör att i riskanalyser ta hänsyn exempelvis till specifika systems tekniska utformning, organisatoriskt brandskydd och andra särskilda förutsättningar. Detta har lett till att bedömningarna i vissa fall blivit mer generella än vad som varit önskvärt. Exempelvis hade mer detaljerad information kunnat ge en mer nyanserad bild av exempelvis brands tillväxthastighet i olika byggnadstyper, funktionssannolikhet för olika typer av brand- och utrymningslarm beroende på grad av underhåll etc. En möjlighet att erhålla denna information är naturligtvis att göra egna undersökningar av intressanta parametrar. Detta har dock inte bedömts vara möjligt inom tidsramen för detta projekt.

Dessa begränsningar till trots har en genomgång av olika statistik med olika förutsättningar i kombination med olika beräkningsmetoder resulterat i att viss hänsyn kunnat tas till underhåll, utbildning, teknisk utformning etc. vid val av indata till riskanalysen.

Presentationen av de olika parametrarna är inte heltäckande och kan inte appliceras i en riskanalys utan hänsyn till speciella förutsättningar i den lokal som studeras. Olika objektstyper studeras, dock finns verksamheter med förutsättningar som faller utanför den analys som är görs i denna rapport. Dock är metodiken med vilken information arbetas fram applicerbar i de flesta fall.

Den metodik för utförande av brandteknisk riskanalys som presenteras och genomförs som exempel i rapporten tar hänsyn till osäkerheter i indata till frekvens- och konsekvensberäkningar vid brandtekniska bedömningar. Genomförandet av analysen har varit förhållandevis tidskrävande dels på grund av omfattande beräkningar men framförallt på grund av ovana vid tillvägagångssättet. Intrycket av arbetet med metodiken är dock att den är genomförbar utan orimliga arbetsinsatser och framförallt bedöms resultatet ge en mer nyanserad och korrekt bild av säkerhetsnivån i den studerade byggnaden. En viktig information som visas i utdata är att ett scenario i händelseträdet inte har en specifik konsekvens, utan olika konsekvenser kan fås beroende på andra faktorer än de som tas upp i händelseträdet.

Osäkerheterna i det normala förfarandet vid brandtekniska beräkningar, där en dimensionerande brand studeras och en specifik personbelastning antas, kvantifieras och dessutom studeras vad som händer om de olika tekniska systemen som förutsätts fallerar. Sammantaget innebär detta att det vid användande av metoden genomförs en mer grundlig analys av brandsäkerheten och möjligheten att välja indata på ett sätt som ger de resultat som eftersträvas begränsas. Vidare innebär analysen av de fall där olika tekniska system ej fungerar som avsett att konsekvensen av detta måste bedömas vilket kan föranleda ändringar i utformningen av brandskyddet för att uppnå en större robusthet med redundans i systemen.

Alla osäkerheter studeras ej, och resultatet är ej att betrakta som en exakt beräkning av risknivån i en lokal. Osäkerheter finns naturligtvis i de fördelningar som används. Det sätt som fördelningen för brands tillväxthastighet utreds på innebär exempelvis avläsning av diagram från experiment som inte till fullo motsvarar det som egentligen studeras. Detta ger upphov till osäkerheter på en annan nivå än vad som tas hänsyn till vid framtagandet av fördelningen. Att även analysera dessa osäkerheter kräver ytterligare information och kräver dessutom att en betydligt större mängd Monte Carlo-simuleringar måste göras för att se spridningen mellan dessa. Detta bedöms vara för tidskrävande och komplicerat för att vara tillämbart i dessa sammanhang. Monte Carlo-simuleringar används i den metodik som presenteras i rapporten som ett ingenjörsvärktyg för att få detaljerade resultat för bedömning av risknivå med tillräcklig precision, ej som ett verktyg för att göra matematiskt fullständigt korrekta analyser och beräkningar.

13 Förslag till fortsatta studier

Under arbetets gång har olika brister i tillgänglig information uppmärksammats. Detta har lett till att hänsyn ej kunnats tas till samtliga önskvärda parametrar, och vissa bedömningar har fått göras på förhållandevis grunda underlag. Således skulle ytterligare undersökningar kunna förbättra kunskapsläget och leda till bättre bedömningar.

Det underlag som används för bedömning av brands tillväxthastighet baseras på en grov indelning i byggnadstyper och startföremål för brand. En mer detaljerad indelning av denna statistik skulle kunna nyansera denna parameter med framtagande av flera olika fördelningar. Vidare har inte påträffats någon metod för att ta hänsyn till ytskiktens inverkan på brandförloppet. Detta innebär att det är svårt att kvantifiera olika ytskiktsskikt i riskanalyser vilket försvårar jämförelser av olika utformningar. Försök inom detta område vore intressanta att studera för möjlig integrering i riskanalyser.

Nivån på underhåll på olika tekniska system påverkar som nämnts säkerhetsnivån. Den statistik som finns för bedömning av funktionssannolikheter är dock sällan indelad på sådant sätt att hänsyn tas till underhåll och teknisk utformning av systemen. En annan klassindelning vid framtagande av statistik skulle förenkla jämförelser av olika systems tillförlitlighet.

Eventuella korrelationer mellan parametrar är ett annat intressant område för studier. Undersökningar av exempelvis korrelation mellan brands uppkomst och personantal i lokalen samt brands tillväxthastighet och reaktionstid skulle ge ytterligare information för en förbättrad bedömning av den risk som en brand i en specifik lokal utgör.

Vidare har det varit svårt att kvantifiera det organisatoriska brandskyddet, främst på grund av att statistik ej är indelad efter detta samt att det i stort sett ej förekommer några standardiserade nivåer för organisatoriskt brandskydd. Detta är en mycket viktig faktor för brandsäkerheten och den risknivå som föreligger i en byggnad varför mer energi bör läggas inom detta område.

Referenser

- 1: <http://www.boverket.se/novo/filelib/personal/sabber/nybbr5.pdf>, Boverket, 2002-07-08
- 2: *Osäkerheter i variabler vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering*, Henrik Johansson, Institutionen för Brandteknik Rapport 3105, Lunds Tekniska Högskola, Lund 1999
- 3: *Räddningstjänst i siffror 1996*, Statens Räddningsverk, Karlstad 1997
- 4: *Räddningstjänst i siffror 1997*, Statens Räddningsverk, Karlstad 1998
- 5: *Räddningstjänst i siffror 1998*, Statens Räddningsverk, Karlstad 1999
- 6: *Räddningstjänst i siffror 1999*, Statens Räddningsverk, Karlstad 2000
- 7: *Räddningstjänst i siffror 2000*, Statens Räddningsverk, Karlstad 2001
- 8: *Initial Fires*, Stefan Särdaqvist, Institutionen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 1993
- 9: *Utrymningsdimensionering*, Boverket Rapport 1994:10, Karlskrona 1996
- 10: *Meddelande från Räddningsverket 2001:2, Systematiskt brandskyddsarbete, Allmänna råd och kommentarer*, Karlstad, 2001
- 11: http://www.svbf.se/AA6_IBK/Dok/IBK_om_ibk.asp, Svenska Brandförsvarsföreningen, 2002-07-08
- 12: http://www.svbf.se/AA2_foretag/Dok/Foretag_VBH_klassf.asp, Svenska Brandförsvarsföreningen, 2002-07-08
- 13: *Riskhantering 3 – Tekniska riskanalysetoder*, Kemikontoret, 2001
- 14: *Riskanalysetoder*, Hans T. Karlsson, Avdelningen för kemisk teknologi, Lunds Universitet, 1997
- 15: *Tillförlitlighet och säkerhet – Statistiska metoder och tekniker*, Georg Lindgren, Igor Rychlik, Institutionen för matematisk statistik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 1997
- 16: *Datorlaboration: Bayesiansk uppdatering*, Institutionen för Brandteknik, Lund
- 17: *The Words of Risk Analysis*, Stan Kaplan, Risk Analysis, Vol. 17, No.4, pp. 407-417, 1997
- 18: *Brandskydd, Teori & praktik*, Brandskyddslaget, LTH Brandteknik, Stockholm 1994
- 19: *Fisketorget – Shoppingcenter, Köpenhamn, Brandteknisk riskanalys*, Michael Lundquist, Brandskyddslaget, Rapport 2000-07-14, Stockholm, 2000

-
- 20: *Tid för utrymning vid brand*, Håkan Frantzich, Institutionen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2001
- 21: *Uncertainty and Risk Analysis in Fire Safety Engineering*, Håkan Frantzich, Institutionen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 1998
- 22: *Uncertainties in risk analysis: six levels of treatment*, Paté-Cornell, M.E., Reliability Engineering and System Safety, Vol. 54, 1996, pp.95-111
- 23: *Enclosure Fire Dynamics*, Björn Karlsson & James Quintiere, CRC Press LLC, Boca Raton 2000
- 24: *Fire safety engineering in buildings*, BSI Draft for Development DD240, British Standards Institution, London, 1997
- 25: *Determination of Ignition Frequency of Fire in Different Premises in Finland*, Rahikainen, J., Keski-Rahkonen, O, EUROFIRE 98, Brussels 1998
- 26: *Fire Engineering Guidelines*, First Edition, Fire Code Reform Center Limited, Sydney 1996
- 27: *Fire risk in hospitals*, North, M.A., Baldwin, R., Fire Research Note No. 983, Fire Research Station, Borehamwood (1973), 45 p
- 28: *Fire Safety Risk Analysis of a Health Care Facility*, Håkan Frantzich, Institutionen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 1998
- 29: *BestFit, Guide to using*, Version 4, Palisade Corporation, Newfield NY, 2000
- 30: *Är utrymningschablonerna vid brandteknisk dimensionering säkra?*, Magdalena Angerd, Rapport 5028, Avdelningen för brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund 1999
- 31: *Brand och brandskydd i undermarksanläggningar*, Haukur Ingasson, Staffan Bengtsson, Fredrik Hiort, SP RAPPORT 1997:41, Borås 1997
- 32: *Fire Safety in Buildings Principles and Practice*, G.J. Langdon-Thomas, A.&C. Black Ltd., London 1972, pp.203
- 33: *Fire Safety Engineering in buildings. Part 1: Guide to the application of fire safety engineering principles*, BSI Draft for development DD240, British Standards Institution, London 1997
- 34: *Balanced Design Concepts*, W.D. Moore, workshop editor R.W. Bukowski, NISTIR 5264, Gaihersburg Maryland 1993
- 35: *SKI-projekt Yttre händelser, Realistisk modellering av brandförlopp, brandfysikaliska beräkningar samt feldata för brandskyddssystem*, Sydkraft Konsult, 1996
- 36: *Competitive steel buildings through natural fire safety concept, Part 4: Statistics*. Centre de Recherches, 1999

- 37: *Estimates of the Operational Reliability of Fire Protection Systems*. Bukowski, Budnick, Schemel. International Conference on Fire Research and Engineering (ICFRE3), Third(3rd). Proceedings society and Fire Protection Engineers (SFPE), National Institute of Standards and Technology (NIST) and International Association of Fire Safety Science (IAFSS). October 4-8 1999, Chicago, IL, Society of Fire Protection Engineers, Boston 1999
- 38: *Sikkerhetsnivået mht brann ved preaksepterte løsninger. Risikoanalyse av et bo- og servicesenter*, Mostue, B., Stensaas, J.P. SINTEF-rapport STF22 A00828, Trondheim, 2000.
- 39: *Evaluering av tiltak mot brann. Har røykvarslere, håndsløkkingsapparater og sprinkleranlegg hatt effekt på brannsikkerheten i Norge?*, Mostue, B. SINTEF-rapport STF22 A00853, Trondheim, 2000
- 40: *Code of Practice for fire safety in the design, construction and use of buildings*, British Standard, BS 9999-2, Draft for public comment document
- 41: *American survey shows high success rate for sprinklers*, Fire Prevention No. 170, Fire Prevention Association, pp. 30-33
- 42: *Litteraturstudie angående brandskydd i kärnkraftverk*, S. Isaksson, SKI Rapport 96:1, SKI best. Nr 94166, Stockholm 1996
- 43: *Sprinkler trade-offs and the Australian experience*, H. W. Marryatt, Fire Journal, Jan 1981, pp 59-62
- 44: *The performance of sprinkler systems*, R. Rutstein, S. Gilbert, Home Office Scientific Advisory Branch Memorandum 9/78, London 1978
- 45: *Costs and benefits of automatic sprinkler system*, R. A. Young, Commission of the European Communities Symposium, Fires in Buildings, Luxembourg 1984
- 46: *Sprinklers and the building regulations – the case of trade-offs*, C. Stirland, British Steel Corporation Report T/RS/1189/22/81C, Teesside 1981
- 47: *Brand og brandsikkerhed i forsamlingslokaler- et fælles ansvar*, Köpenhamns Brandväsen och Tryk i Danmark, Köpenhamn 2000
- 48: *Unannounced evacuation of large retail-stores*, Anders Sandberg, Institutionen för Brandteknik, Lund 1997
- 49: *Handicapped people or handicapping environment?*, J Sime, Building Journal, pp 84-92, Hong Kong, 1989
- 50: <http://fast.nist.gov/fmabbs.html#DETTACTT2>, NIST, 2002-09-08
- 51: *Beräkna skillnader i aktiveringstider mellan första och andra rökdetektor. En enkel beräkningsstudie*. Bengt Hägglund, Brandskyddslaget, 2001

52: *FAST, A User's Guide, Engineering Tools for Estimation Fire Growth and Smoke Transport*, National Institute of Standards and Technology, Peacock et al., Special Publication 921, Gaithersburg, MD, 2000

53: *STEPS – Simulator of Transient Evacuation and Pedestrian movementS*, Mott MacDonald, Croyden, 2001

54: *@RISK, Guide to using*, Version 4, Palisade Corporation, Newfield NY, 2000

55: *Precision Tree, User's guide*, Palisade Corporation, Newfield NY, 2000

56: *Värdering av risk*. Statens Räddningsverk, FoU rapport, rapportnr: P21-182, Karlstad, 1997

57: *Boverkets Byggregler*. Boverket, Karlskrona, 1998

Bilaga A: Brandstatistik och tillväxthastigheter

Allmän byggnad

	-96	-97	-98	-99	-00	Tot	Andel	Viktad andel	grp	α	Viktat α
Ej angivet	222	122	58	35	1	438	0,0463	0,0000	-		
Byggnadens utsida	89	133	92	118	133	565	0,0597	0,0000	-		
Rökkanal	8	12	13	15	14	62	0,0065	0,0118	C	0,0370	4,37E-04
Lös inredning	218	336	385	365	329	1633	0,1725	0,3112	A	0,0300	0,0093
Eldstad	19	13	27	22	16	97	0,0102	0,0185	C	0,0370	6,84E-04
Uppvärmningsanordning	39	32	44	34	44	193	0,0204	0,0368	H	3,00E-03	1,10E-04
Bastuaggregat	14	18	21	22	20	95	0,0100	0,0181	B	0,0250	4,53E-04
Torktumlare	9	17	18	16	21	81	0,0086	0,0154	C	0,0370	5,71E-04
Torkskåp	0	7	2	4	5	18	0,0019	0,0034	C	0,0370	1,27E-04
Diskmaskin	15	17	7	17	12	68	0,0072	0,0130	D	8,00E-05	1,04E-06
Kaffebryggare	9	15	16	18	13	71	0,0075	0,0135	D	8,00E-05	1,08E-06
Spis	172	187	187	228	230	1004	0,1060	0,1913	D	8,00E-05	1,53E-05
Kyl/frys	15	24	17	27	17	100	0,0106	0,0191	D	8,00E-05	1,52E-06
Tvättmaskin	13	10	8	11	13	55	0,0058	0,0105	D	8,00E-05	8,38E-07
TV	13	8	16	16	12	65	0,0069	0,0124	B	0,0250	3,10E-04
Stereo/video	2	1	2	2	2	9	0,0010	0,0017	B	0,0250	4,29E-05
Strykjärn	0	1	0	0	1	2	0,0002	0,0004	D	8,00E-05	3,05E-08
Glödlampa	14	11	11	21	18	75	0,0079	0,0143	D	8,00E-05	1,14E-06
Lysrör	61	62	65	56	62	306	0,0323	0,0583	D	8,00E-05	4,66E-06
Transformator	10	18	10	16	16	70	0,0074	0,0133	B	0,0250	3,33E-04
Andra elinstallationer	87	101	108	100	107	503	0,0531	0,0958	H	3,00E-03	2,88E-04
Fläkt/ventilationsanl.	33	38	42	43	39	195	0,0206	0,0372	B	0,0250	0,0009
Skräp i container	34	51	58	62	47	252	0,0266	0,0480	E	0,0520	0,0025
Maskin	10	16	21	21	19	87	0,0092	0,0166	B	0,0250	4,14E-04
Personbil	4	6	7	7	12	36	0,0038	0,0069	F	0,0500	3,43E-04
Övriga vägfordon	1	2	1	2	5	11	0,0012	0,0021	F	0,0500	1,05E-04
Explosivt-/sprängämne	8	3	6	2	6	25	0,0026	0,0048	G	0,1900	0,0009
Brandfarlig vätska	14	26	18	32	18	108	0,0114	0,0206	G	0,1900	0,0039
Brandfarlig gas	2	6	4	7	6	25	0,0026	0,0048	G	0,1900	0,0009
Tåg	1	0	0	1	0	2	0,0002	0,0004	F	0,0500	1,91E-05
Okänd	134	135	113	128	97	607	0,0641	0,0000	-		
Annat	609	583	457	453	508	2610	0,2757	0,0000	-		
								1,0000		Medel α:	0,02274

	andel	viktad andel	alpha	viktat alpha
A	0,3112	0,479026107	0,03	0,014371
B	0,0993	0,152830742	0,025	0,003821
C	0,0492	0,075682018	0,037	0,0028
D	0,3203			
E	0,0480	0,073921971	0,052	0,003844
F	0,0093	0,014373717	0,05	0,000719
G	0,0301			
H	0,1326	0,204165444	0,003	0,000612

Medel α : **0,026167**

alpha/grupp	H	B	C	A	F	E
0,001	0,333					
0,003	0,333					
0,005	0,333					
0,01		0,25	0,0625	0,15	0,16	
0,02		0,25	0,0625	0,2	0,16	0,083333
0,03		0,25	0,25	0,3	0,16	0,083333
0,04		0,25	0,25	0,2	0,16	0,166667
0,05			0,0625	0,15	0,16	0,166667
0,06			0,0625		0,04	0,166667
0,07			0,0625		0,04	0,083333
0,08			0,0625		0,04	0,083333
0,09			0,0625		0,04	0,083333
0,1			0,0625		0,04	0,083333

Bilaga B: Regressionsanalys av DETACT-T2

Indata till regressionsanalys

DETACT-T2-resultat

d = 0 m

Tid till detektion som funktion av alfa och H vid avstånd 0 m i sekunder

H	alfa	0,003	0,012	0,025	0,047	0,1	0,19
2,4		51,6	32,4	25,8	21	16,8	14,4
3		65,4	40,2	31,8	26,4	21	17,4
3,6		79,2	48,6	37,8	31,2	24,6	21
4,2		93	56,4	44,4	36	28,8	24
4,8		107,4	64,8	50,4	41,4	32,4	27
5,4		121,8	73,2	57	46,2	36,6	30

d = 1 m

Tid till detektion som funktion av alfa och H vid avstånd 1 m i sekunder

H	alfa	0,003	0,012	0,025	0,047	0,1	0,19
2,4		81	49,8	39	31,8	25,2	21
3		94,8	57,6	45	37,2	29,4	24,6
3,6		109,2	66	51,6	42	33	27,6
4,2		123,6	74,4	57,6	46,8	37,2	30,6
4,8		138,6	82,8	64,2	52,2	40,8	33,6
5,4		153,6	91,2	70,8	57	45	37,2

d = 2 m

Tid till detektion som funktion av alfa och H vid avstånd 2 m i sekunder

H	alfa	0,003	0,012	0,025	0,047	0,1	0,19
2,4		109,8	66,6	52,2	42,6	33,6	28,2
3		124,8	75	58,8	47,4	37,8	31,2
3,6		139,8	83,4	64,8	52,8	41,4	34,2
4,2		154,8	92,4	71,4	57,6	45,6	37,2
4,8		170,4	100,8	78	63	49,2	40,8
5,4		184,8	109,2	84,6	67,8	53,4	43,8

d = 3 m

Tid till detektion som funktion av alfa och H vid avstånd 3 m i sekunder

H	alfa	0,003	0,012	0,025	0,047	0,1	0,19
2,4		109,8	66,6	52,2	42,6	33,6	28,2
3		124,8	75	58,8	47,4	37,8	31,2
3,6		139,8	83,4	64,8	52,8	41,4	34,2
4,2		154,8	92,4	71,4	57,6	45,6	37,2
4,8		170,4	100,8	78	63	49,2	40,8
5,4		184,8	109,2	84,6	67,8	53,4	43,8

d = 4 m

Tid till detektion som funktion av alfa och H vid avstånd 4 m i sekunder

H	alfa	0,003	0,012	0,025	0,047	0,1	0,19
2,4		168	101,4	78,6	64,2	50,4	42
3		184,2	109,8	85,2	69	54,6	45
3,6		199,8	118,8	91,8	74,4	58,2	48
4,2		216	127,8	98,4	79,2	62,4	51
4,8		232,2	136,8	105	84,6	66	54
5,4		248,4	145,8	111,6	90	70,2	57

d = 5 m

Tid till detektion som funktion av alfa och H vid avstånd 5 m i sekunder

	alfa	0,003	0,012	0,025	0,047	0,1	0,19
H							
	2,4	196,8	118,2	91,8	75	58,8	48,6
	3	213,6	127,2	98,4	79,8	63	51,6
	3,6	230,4	136,2	105	85,2	66,6	54,6
	4,2	246,6	145,8	112,2	90	70,2	57,6
	4,8	263,4	154,8	118,8	95,4	74,4	60,6
	5,4	280,2	163,8	125,4	100,8	78	63,6

d = 6 m

Tid till detektion som funktion av alfa och H vid avstånd 6 m i sekunder

	alfa	0,003	0,012	0,025	0,047	0,1	0,19
H							
	2,4	226,2	135,6	105,6	85,8	67,2	55,8
	3	243	144,6	112,2	90,6	71,4	58,2
	3,6	260,4	154,2	118,8	96	75	61,2
	4,2	277,8	163,2	125,4	100,8	78,6	64,2
	4,8	294,6	172,8	132	106,2	82,8	67,2
	5,4	311,4	181,8	139,2	111,6	86,4	70,8

d = 7 m

Tid till detektion som funktion av alfa och H vid avstånd 6 m i sekunder

	alfa	0,003	0,012	0,025	0,047	0,1	0,19
H							
	2,4	255	153	118,8	96	75,6	62,4
	3	273	162	125,4	101,4	79,2	65,4
	3,6	290,4	171,6	132	106,2	83,4	68,4
	4,2	308,4	181,2	139,2	111,6	87	71,4
	4,8	325,8	190,8	145,8	117	91,2	74,4
	5,4	343,2	199,8	153	102	94,8	77,4

Utdata från regressionsanalys

0 m < d < 1m

UTDATASAMMANFATTNING

Regressionsstatistik	
Multipel-R	0,772802482
R-kvadrat	0,597223676
Justerad R-kvadrat	0,579454132
Standardfel	19,47168466
Observationer	72

ANOVA

	fg	KvS	Mkv	F	p-värde för F
Regression	3	38228,65776	12742,88592	33,60939848	1,93779E-13
Residual	68	25781,96224	379,1465035		
Totalt	71	64010,62			

	Koefficienter	Standardfel	t-kvot	p-värde	Nedre 95%	Övre 95%	Nedre 95,0%	Övre 95,0%
Konstant	17,34633651	9,577252485	1,811201755	0,074526349	-1,764762008	36,45743503	-1,764762008	36,45743503
Avstånd	14,6	4,589520088	3,181160496	0,002210821	5,441760651	23,75823935	5,441760651	23,75823935
Höjd	11,36666667	2,239456494	5,075636296	3,20548E-06	6,897903442	15,83542989	6,897903442	15,83542989
Alfa	-0,284238777	0,035270046	-8,05892856	1,7127E-11	-0,354619016	-0,213858539	-0,354619016	-0,213858539

1m ≤ d

UTDATASAMMANFATTNING

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel-R	0,993780527
R-kvadrat	0,987599736
Justerad R-kvadrat	0,987449733
Standardfel	0,028135776
Observationer	252

ANOVA

	<i>fg</i>	<i>KvS</i>	<i>Mkv</i>	<i>F</i>	<i>p-värde för F</i>
Regression	3	15,63577821	5,211926071	6583,85815	4,822E-236
Residual	248	0,196322223	0,000791622		
Totalt	251	15,83210043			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfel</i>	<i>t-kvot</i>	<i>p-värde</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Övre 95%</i>	<i>Nedre 95,0%</i>	<i>Övre 95,0%</i>
Konstant	1,928189075	0,010324537	186,7579252	9,1002E-269	1,907854131	1,948524019	1,907854131	1,948524019
Log Avstånd	0,474794248	0,006436845	73,76195217	1,0071E-170	0,462116403	0,487472093	0,462116403	0,487472093
Log Höjd	0,463707545	0,014781836	31,37009104	2,66265E-88	0,434593619	0,492821472	0,434593619	0,492821472
Log Alfa	-0,344346125	0,002982871	-115,4411809	1,4516E-217	-0,350221111	-0,338471139	-0,350221111	-0,338471139

Bilaga C: Beräkningsdata för exempelriskanalys

C.1 Allmänt

Då syftet med riskanalysen är att genomföra ett exempel på den metodik som presenteras i kapitel 9 bedöms det ej nödvändigt att återge indata- och utdatafiler från de beräkningsprogram som används. I denna bilaga återges således sammanfattningar av vilka indata som ges till de olika programmen och de bedömningar av utdata som görs. Önskas förutsättningar i form av indatafiler och resultat i form av utdatafiler kan detta fås på begäran.

Generellt ges förutsättningar och resultat översiktligt för den analys som motsvarar grundutförandet för att ge exempel på indata till och resultat från beräkningarna. För det sprinklade fallet och fallet med ökad utrymningsbredd presenteras ej in- och utdata, information om dessa beräkningar kan även det fås på begäran.

C.2 Brandförlopp (FAST 3.1.6)

C.2.1 Indata

Dels används beräkningar med osprinklade bränder som förutsätts växa till 3 MW, dels används sprinklade brandförlopp för jämförelse. Olika tillväxthastigheter simuleras för båda fallen.

Grundutförande:

Den geometri som används som indata till FAST 3.1.6 beskrivs i figur 10.7 i rapporten. Takhöjden är 3,2 m. Fem olika bränder simuleras vilka samtliga följer ett αt^2 -samband. Effektkurvorna beskrivs i tabell 10.19 och figur 10.9 i rapporten,

C.2.2 Utdata

Tid till kritiska och förhållanden bedöms för samtliga beräkningar vilket omvandlas till ett uttryck som beskriver dessa tider som funktion av brandens tillväxthastighet. Förhållanden i de olika rummen tas in i bedömningen.

Grundutförande:

Tabell C.1

Alfa = 3 W/s ²	Brandgaslager 1,9 m över golv	Temperatur i brandgaslager 80°C	Brandgaslager 1,5 m över golv	Temperatur i brandgaslager 120°C
Rum 1	420 s	480 s	510 s	710 s
Rum 2	380 s	> 600 s	440 s	>800 s
Rum 3	330 s	-	380 s	>800 s
Rum 4	300 s	-	330 s	>800 s

Tid till kritiska förhållanden bedöms vara 580 sekunder. Detta då temperaturen i rum 2 vid den tidpunkten uppnått 70°C. Kritiska förhållanden uppnås lokalt i rum 1 efter 480 s. Dödliga förhållanden uppnås efter 710 s.

Tabell C.2

Förhållanden i rum 1-4 vid t_{krit} och $t_{död}$	Brandgaslagrets höjd vid t_{krit}	Brandgaslagrets temperatur vid t_{krit}	Brandgaslagrets höjd vid $t_{död}$	Brandgaslagrets temperatur vid $t_{död}$
Rum 1	Ca 1,1 m	Ca 90°C	Ca 0,4 m	Ca 120°C
Rum 2	Ca 1,0 m	Ca 70°C	Ca 0,0 m	Ca 90°C
Rum 3	Ca 0,3 m	Ca 60°C	Ca 0,0 m	Ca 80°C
Rum 4	Ca 0,1 m	Ca 50°C	Ca 0,0 m	Ca 60°C

Tabell C.3

Alfa = 10 W/s ²	Brandgaslager 1,9 m över golv	Temperatur i brandgaslager 80°C	Brandgaslager 1,5 m över golv	Temperatur i brandgaslager 120°C
Rum 1	330 s	240 s	380 s	390 s
Rum 2	300 s	390 s	340 s	520 s
Rum 3	240 s	450 s	300 s	600 s
Rum 4	220 s	530 s	260 s	>700 s

Tid till kritiska förhållanden bedöms vara 330 sekunder, det vill säga 5 ½ minuter. Tid till dödliga förhållanden bedöms vara 420 sekunder. Temperaturen når då i rum 2 90°C.

Tabell C.4

Förhållanden i rum 1-4 vid t_{krit} och $t_{död}$	Brandgaslagrets höjd vid t_{krit}	Brandgaslagrets temperatur vid t_{krit}	Brandgaslagrets höjd vid $t_{död}$	Brandgaslagrets temperatur vid $t_{död}$
Rum 1	Ca 1,9 m	Ca 100°C	Ca 1,2 m	Ca 130°C
Rum 2	Ca 1,6 m	Ca 70°C	Ca 0,9 m	Ca 90°C
Rum 3	Ca 1,3 m	Ca 50°C	Ca 0,8 m	Ca 70°C
Rum 4	Ca 0,9 m	Ca 40°C	Ca 0,4 m	Ca 50°C

Tabell C.5

Alfa = 30 W/s ²	Brandgaslager 1,9 m över golv	Temperatur i brandgaslager 80°C	Brandgaslager 1,5 m över golv	Temperatur i brandgaslager 120°C
Rum 1	250 s	140 s	290 s	210 s
Rum 2	230 s	220 s	260 s	320 s
Rum 3	200 s	290 s	240 s	420 s
Rum 4	180 s	340 s	210 s	> 700 s

Tid till kritiska förhållanden bedöms vara 230 sekunder, det vill säga nära 4 minuter. Tid till dödliga förhållanden bedöms vara 290 sekunder.

Tabell C.6

Förhållanden i rum 1-4 vid t_{krit} och $t_{död}$	Brandgaslagrets höjd vid t_{krit}	Brandgaslagrets temperatur vid t_{krit}	Brandgaslagrets höjd vid $t_{död}$	Brandgaslagrets temperatur vid $t_{död}$
Rum 1	Ca 2,1 m	Ca 130 ^o C	Ca 1,5 m	Ca 160 ^o C
Rum 2	Ca 1,8 m	Ca 80 ^o C	Ca 1,2 m	Ca 110 ^o C
Rum 3	Ca 1,6 m	Ca 60 ^o C	Ca 0,5 m	Ca 80 ^o C
Rum 4	Ca 1,3 m	Ca 50 ^o C	Ca 0,2 m	Ca 60 ^o C

Tabell C.7

Alfa = 50 W/s ²	Brandgaslager 1,9 m över golv	Temperatur i brandgaslager 80 ^o C	Brandgaslager 1,5 m över golv	Temperatur i brandgaslager 120 ^o C
Rum 1	220 s	130 s	250 s	160 s
Rum 2	200 s	180 s	230 s	250 s
Rum 3	180 s	230 s	210 s	370 s
Rum 4	160 s	280 s	190 s	560 s

Tid till kritiska förhållanden bedöms vara 200 sekunder, det vill säga drygt 3 minuter. Tid till dödliga förhållanden bedöms vara 250 sekunder.

Tabell C.8

Förhållanden i rum 1-4 vid t_{krit} och $t_{död}$	Brandgaslagrets höjd vid t_{krit}	Brandgaslagrets temperatur vid t_{krit}	Brandgaslagrets höjd vid $t_{död}$	Brandgaslagrets temperatur vid $t_{död}$
Rum 1	Ca 2,1 m	Ca 150 ^o C	Ca 1,5 m	Ca 180 ^o C
Rum 2	Ca 1,9 m	Ca 90 ^o C	Ca 1,2 m	Ca 120 ^o C
Rum 3	Ca 1,6 m	Ca 70 ^o C	Ca 1,0 m	Ca 90 ^o C
Rum 4	Ca 1,3 m	Ca 50 ^o C	Ca 0,6 m	Ca 70 ^o C

Tabell C.9

Alfa = 80 W/s ²	Brandgaslager 1,9 m över golv	Temperatur i brandgaslager 80 ^o C	Brandgaslager 1,5 m över golv	Temperatur i brandgaslager 120 ^o C
Rum 1	190 s	90 s	230 s	120 s
Rum 2	170 s	140 s	200 s	210 s
Rum 3	160 s	190 s	190 s	330 s
Rum 4	150 s	240 s	170 s	530 s

Tid till kritiska förhållanden bedöms vara 170 sekunder, det vill säga knappt 3 minuter. Tid till dödliga förhållanden bedöms vara 210 sekunder.

Tabell C.10

Förhållanden i rum 1-4 vid t_{krit} och $t_{död}$	Brandgaslagrets höjd vid t_{krit}	Brandgaslagrets temperatur vid t_{krit}	Brandgaslagrets höjd vid $t_{död}$	Brandgaslagrets temperatur vid $t_{död}$
Rum 1	Ca 2,1 m	Ca 160 ⁰ C	Ca 1,7 m	Ca 190 ⁰ C
Rum 2	Ca 1,9 m	Ca 100 ⁰ C	Ca 1,4 m	Ca 120 ⁰ C
Rum 3	Ca 1,8 m	Ca 70 ⁰ C	Ca 1,2 m	Ca 90 ⁰ C
Rum 4	Ca 1,5 m	Ca 50 ⁰ C	Ca 0,8 m	Ca 70 ⁰ C

C.3 Utrymningsförlopp (STEPS 1.0.6.4)

C.3.1 Indata

Indata till STEPS utgörs av samlingslokalens geometri, olika simulerade personantal, flöden i utrymningsvägar och olika parametrar som styr fördelningen av personer mot de olika utgångarna. I beräkningarna är huvudentrén den mest utnyttjade utgången, vid köbildning kan dock personer ändra sina val och välja andra utrymningsvägar.

Grundutförande:

I grundutförandet görs fem simuleringar där alla utrymningsvägar är tillgängliga, fem med en blockerad och fem med två blockerade. I kapitel 10.7.6 och 10.7.7 presenteras de personflöden i utrymningsvägar som används och de utrymningsfall som simuleras.

C.3.2 Utdata

Utdata från simuleringarna i STEPS ges i form av totala utrymningstider och information om hur många personer som befinner sig i byggnaden vid olika tidpunkter i utrymningsförloppet.

Grundutförande:

Utdata i form av resultat för den totala utrymningstiden ges i tabell 10.20. Information om kvarvarande personer vid olika tidpunkter ligger till grund för de ekvationer för antal exponerade som funktion av säkerhetsmarginal som illustreras i figurer 10.15, 10.16 och 10.17.

C.4 Frekvensanalys (@RISK och Bestfit)

C.4.1 Indata

Indata till frekvensanalysen utgörs av de parametrar som används i händelseträdet.

Grundutförande:

Indata till händelseträdet presenteras i kapitel 10.5. För sannolikhet för blockering av utrymningsväg på grund av brand genomförs ett antal strålningsberäkningar i Excel. Exempel på utseende hos dessa och resultat ges därför.

Beräkning av den infallande strålningen från en flamma

("The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", Society of Fire Protection Engineers, National Fire Protection Association, LTH-Brandteknik)

Projekt: Examensarbete, strålning från brinnande möbler mot utrymningsväg

Projektansvarig: Marcus Andersson och Katarina Wadensten

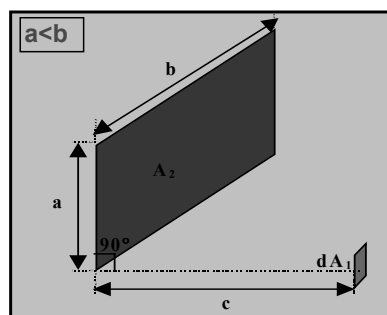
OBS! Läs kommentarerna under beräkningens gång, de är viktiga!

Förklaring: svart text
grön text
blå cell

SFPE = The SFPE handbook....
Btop = Brandskydd, teori och...

Steg 1: Beräkning av synfaktor

a	0,54	[m]
b	1,64	[m]
c	4,70	[m]
π	3,14	
X	0,1149	
Y	0,3489	
ϕ	0,0117	
Antal ytor	4	
$\Sigma\phi$	0,0469	

**Steg 2: Beräkning av strålning**

σ	5,67E-08 [W/m ² K ⁴]
ϵ	0,7 [dim..lös]
T_g	1073 [K] 800 [°C]
q''	2,47 [kW/m ²]

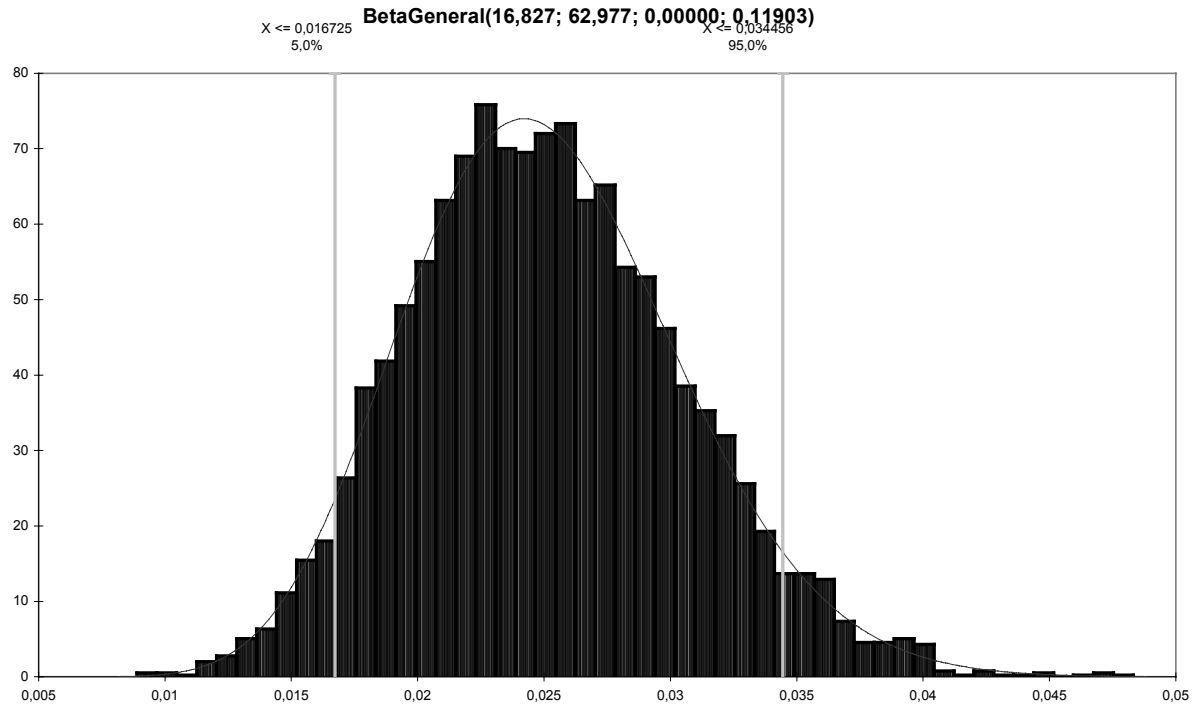
Figur C.1 Beräkningsblad för strålningsberäkningar

C.4.2 Utdata

Utdata från frekvensanalysen i @RISK ges i form av frekvensfördelningar för de olika scenarierna. Dessa representerar frekvensen med vilken en specifik sluthändelse förväntas inträffa och anges med spridning på grund av osäkerheter i beräkningarna.

Grundutförande:

Som exempel på utseende på utdata från frekvensanalysen ges frekvensfördelningen för scenario 1.



Figur C.2 Frekvensfördelning för scenario 1

C.5 Konsekvensanalys (@RISK och Bestfit)

C.5.1 Indata

Säkerhetsmarginal, grundutförande:

De ekvationer och fördelningar som används för dessa beräkningar anges i kapitel 10.9.2. Här presenteras endast scenario 1, det vill säga fallet med fungerande utrymningslarm och samtliga utrymningsvägar tillgängliga. I kapitel C.5.2 illustreras resultatet av simuleringarna. Uttrycken Monte Carlo-simuleras med 5000 iterationer.

$$S_{krit} = t_{krit} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g0}$$

$$S_{död} = t_{död} - t_{v,larm} - t_{r,larm} - t_{g0}$$

I

Konsekvensfördelning, grundutförande:

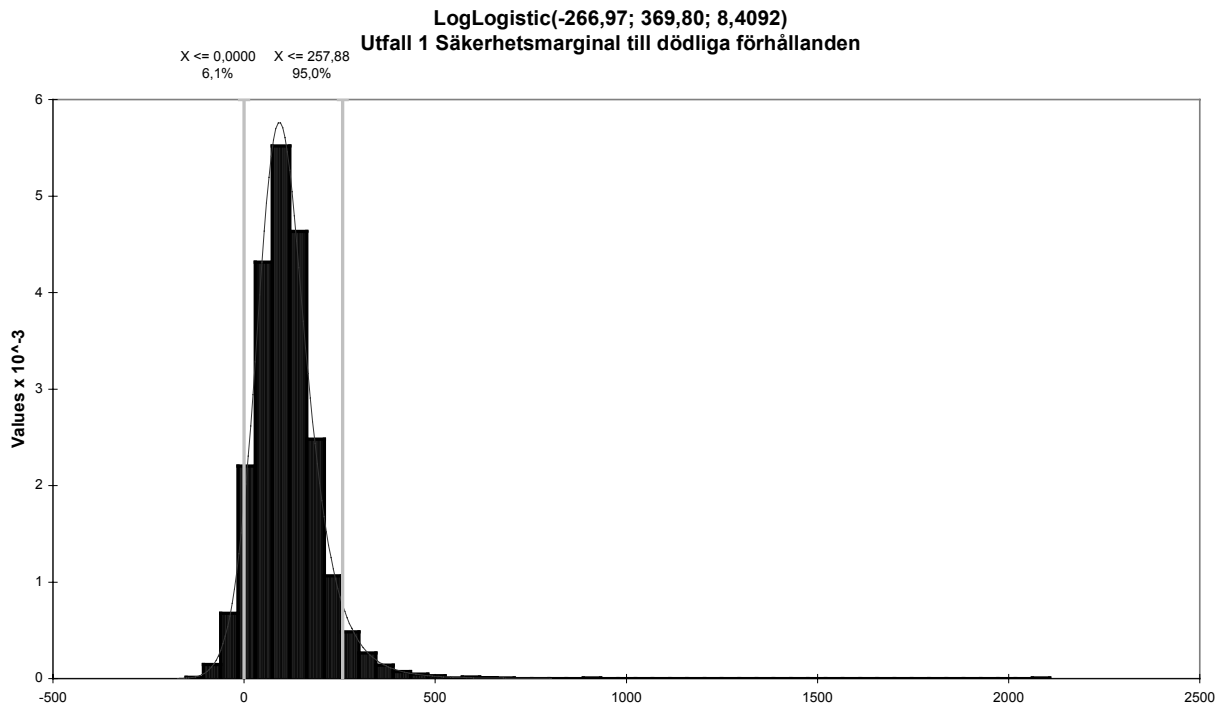
De simulerade resultaten för säkerhetsmarginalen sorteras så att endast de negativa värdena används. Dessa omvandlas sedan med hjälp av ekvationer framtagna i kapitel 10.10.2 till en konsekvens i form av exponerade besökare. Detta simuleras sedan i Bestfit för att erhålla konsekvensfördelningar för de olika scenarierna. Resultaten från detta presenteras i kapitel C.5.2.

C.5.2 Utdata

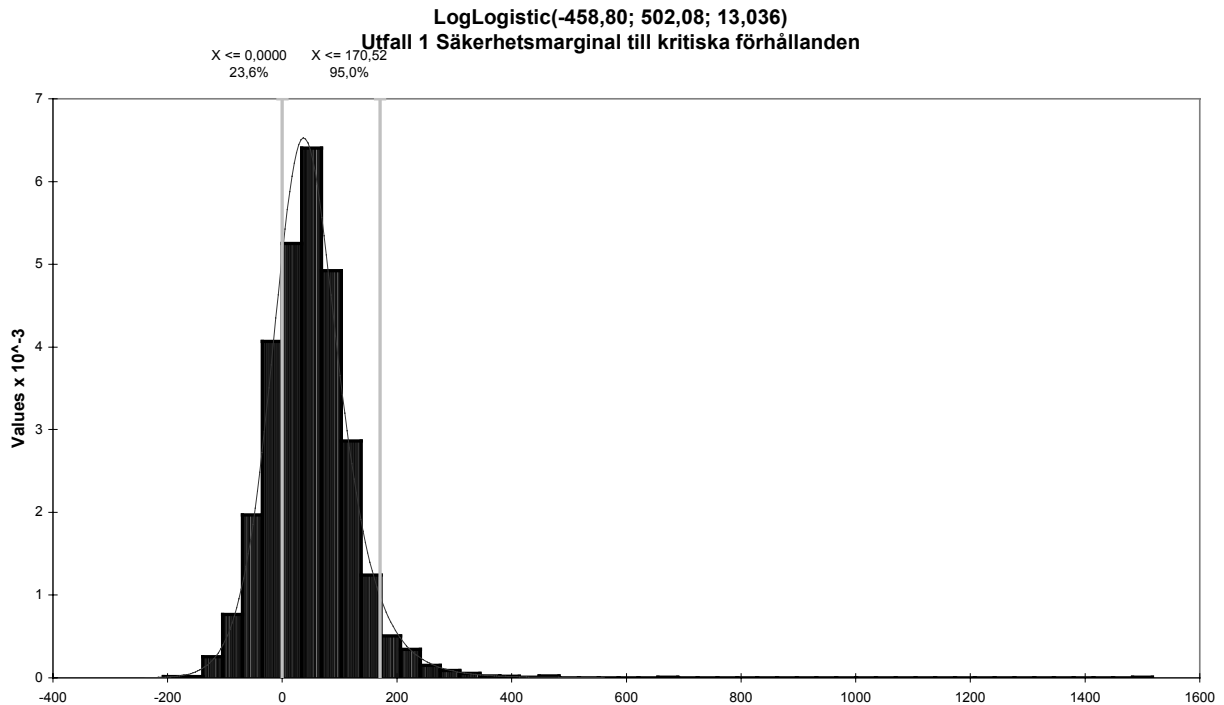
Säkerhetsmarginal, grundutförande:

För att visualisera beräkningarna av säkerhetsmarginalen ges här en graf som visar säkerhetsmarginalen till kritiska och dödliga förhållanden för scenario 1. Övriga scenarier har liknande utseende, dock är tiderna i de scenarierna förskjutna så att säkerhetsmarginalen är mindre och blir negativ i större andel av fallen. De simulerade resultaten har anpassats till en

kontinuerlig fördelning i Bestfit, och den andel negativa S som anges i figurerna avser den anpassade fördelningen.



Figur C.3 Scenario 1, säkerhetsmarginal till kritiska förhållanden.



Figur C.4 Scenario 1, säkerhetsmarginal till dödliga förhållanden.

I figurerna ses att säkerhetsmarginalen till kritiska förhållanden är negativ i 23,6 % av fallen för den anpassade fördelningen vilket ska jämföras med 24,6 % för de simulerade resultaten

som utgör underlag för anpassningen. För dödliga förhållanden är säkerhetsmarginalen negativ i 6,1 % av fallen enligt den anpassade fördelningen och i 6,2 % i simuleringsresultaten.

Konsekvensfördelning, grundutförande:

Resultaten från anpassningen av de beräknade konsekvenserna för de olika scenarierna presenteras i form av grafer. I figur 10.18 och 10.19 i rapporten anges den anpassade konsekvensfördelningen för scenario 1 för kritiska och dödliga förhållanden.