LUND UNIVERSITY

Osäkerheter i variabler vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering

Tehler, Henrik

1999

Link to publication

Citation for published version (APA):
Tehler, H. (1999). *Osäkerheter i variabler vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering*. (LUTVDG/TVBB--3105--SE; Vol. 3105). Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.

Total number of authors:
1

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Download date: 24. Dec. 2025

Osäkerheter i variabler vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering

Henrik Johansson

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 3105, Lund 1999

Osäkerheter i variabler vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering

Henrik Johansson

Lund 1999

Rapporten har finansierats av BRANDFORSK och SBUF

Osäkerheter i variabler vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering

Henrik Johansson

Report 3105
ISSN: 1402-3504
ISRN: LUTVDG/TVBB--3105--SE

Number of pages: 72
Illustrations: Henrik Johansson

Keywords
Risk analysis, uncertainties, fire frequency, reliability

Abstract
The aim of this report is to present some of the variable uncertainties associated with the dimensioning of fire protection in buildings and risk analysis in buildings (with respect to fire). A method for assessing the fire frequency in a building is presented along with examples of how the assessed fire frequency can be improved using fire data from a specific building. The probability of different fire severity for a number of occupancies is calculated using statistics from fires in Sweden during 1996. A literature survey concerning the reliability of fire protection systems is presented. In the last chapters an investigation of fire growth and occupant density in warehouses is presented.

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

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

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

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

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

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

Sammanfattning

Målet med denna rapport har varit att undersöka osäkerheterna i några av de variabler som är viktiga vid dimensionering av brandskydd och riskanalyser i byggnader.

Undersökningen har delats upp i 7 olika områden, vilka motsvarar kapitelindelningen i denna rapport.

Vid riskanalyser av byggnader är vetskap om hur ofta det brinner i en byggnad avgörande för att kunna bestämma en kvantitativ risknivå i byggnaden. Detta problem behandlas i kapitel 2 där det ges exempel på olika sätt att angripa osäkerheterna vad gäller brandfrekvensen i en byggnad. Brandfrekvensen är det antal bränder per år som i medeltal kan förväntas under en längre period. Förslag ges på hur tillbudsstatistik i en specifik byggnad kan utnyttjas för att minska osäkerheterna i skattningen av brandfrekvensen.

Kapitel 3 behandlar brandförlopp. I kapitlet undersöks, med hjälp av en enkel modell, hur sannolikheten för olika händelser (t.ex. att personalen släcker branden) varierar beroende på vilken byggnadstyp som studeras. Som hjälp för att skatta de olika sannolikheterna har statistik från bränder i Sverige under 1996 använts. Denna statistik har sammanställts av Räddningsverket /1/.

Samma statistik rörande bränder i Sverige utnyttjas i kapitel 4 för att kunna skatta fördelningen av bränder i byggnader. Med fördelning av bränder avses sannolikheten att en brand skall uppstå i ett visst utrymme givet att den uppstått i byggnaden. Denna information är värdefull då riskanalyser skall genomföras, men också då de så kallade dimensionerande bränderna skall väljas vid projektering av byggnader. Statistiken utnyttjas också i kapitel 6 där antalet bränder som orsakat personskador i de olika byggnadstyperna redovisas tillsammans med deras startutrymme.

I kapitel 5 redovisas en litteraturstudie med avsikt att finna information angående tillförlitligheten hos brandtekniska system (t.ex. sprinklersystem). Informationen inom detta område är för vissa brandtekniska system mycket liten, vilket ökar behovet av undersökningar inom detta område i framtiden.

De två sista kapitlen sammanfattar en undersökning av varuhus i Sverige. Meningen med denna undersökning är att få en uppfattning om hur brandens tillväxthastighet samt persontätheten i ett varuhus kan variera. Dessa två variabler är av central betydelse både vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering av alla typer av byggnader.

Denna rapport utgör inget komplett informationsmaterial inom området, men är ändå så omfattande att informationen bör kunna användas praktiskt (se t.ex. kapitel 9). I framtiden kommer med stor sannolikhet denna rapport att kompletteras när statistik från flera år samlats in och på så vis öka användbarheten av materialet.

Denna rapport har finansierats av Styrelsen för Svensk Brandforskning (BRANDFORSK) och Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF).

Summary
The aim of this report has been to present some of the uncertainties in variables associated with risk analyses and dimensioning of the fire protection in a building. The investigation has been divided into 7 areas, that equals the chapters in this report.

When performing risk analyses in buildings with the aim to establish quantitative measure of the risk level (with respect to fire), it is crucial to know how often a fire can be excepted to occur. This problem is discussed in chapter 2, where examples are given on how one can handle the uncertainties concerning the fire frequency in a building. The fire frequency is the mean number of fires per year during a long period of time. Suggestions on how fire statistics from a particular building can be used to improve the estimation of the fire frequency is given.

The development of a fire is discussed in chapter 3. In the chapter, an investigation of the probability of different events during the development of the fire is presented. The investigation is performed using a model of a fire scenario and statistics from real fires in Sweden during one year /1/.

The same statistics concerning fires in Sweden is used in chapter 4 in order to estimate the distribution of fires. The distribution of fires is the probability that a fire occurs in certain areas (for example in the kitchen) given that a fire has occurred in the building. This information is valuable when risk analyses are performed, but also when the so called dimensioning fire scenarios are chosen. The statistics are also used in chapter 6 where the number of fires resulting in human damage for different types of buildings are presented.

In chapter 5 a literature survey with the aim to find information about the reliability of fire protection systems is presented. The amount of information in this area is very small for some fire protection systems, which increases the need for more investigations of these variables in the future.

The two last chapters summarises an investigation of warehouses in Sweden. The aim of this investigation was to get an idea of how the fire growth and the occupant density vary in warehouses. These two variables are very important in risk analyses and when dimensioning the fire protection in a building.

This report does not constitute a complete information material in this area. Yet, it is as comprehensive that it should be practicable useful (se for example chapter 9). In the future this report will probably be completed by new statistics from more years than one. This will increase the usefulness of the material.

The author wishes to thank the Swedish Fire Research Board (BRANDFORSK) and The Development Fund of the Swedish Construction Industry (SBUF), who has financed this report.

Sida
Sammanfattning **i**
Summary **ii**

1. Inledning **1**
2. Brandfrekvens **3**
2.1. POISSON-FÖRDELNINGEN 3
2.2. INDELNING I BYGGNADSKATEGORIER 5
2.3. RUTSTEINS MODELL 7
2.4. VTT 7
2.5. BAYES SATS 8
2.6. ENKEL RISKANALYS 13
2.6.1. Metod 1 *14*
2.6.2. Metod 2 *14*
2.6.3. Sammanfattning *16*
3. Brandförlopp **19**
3.1. SKATTNING AV SANNOLIKHETER 20
3.1.1. Åldringsvård *22*
3.1.2. Sjukhus *26*
3.1.3. Psykiatrisk vård *26*
3.1.4. Övrig vårdbyggnad *27*
3.1.5. Kriminalvård *27*
3.1.6. Flerbostadshus *28*
3.1.7. Villa *28*
3.1.8. Radhus/Par-/Kedjehus *29*
3.1.9. Fritidshus *29*
3.1.10. Fritidsgård *30*
3.1.11. Skola *30*
3.1.12. Förskola *31*
3.1.13. Elevhem/Studenthem *31*
3.1.14. Kommunikationsbyggnad *32*
3.1.15. Försvarsbyggnad *32*
3.1.16. Förvaltningsbyggnad/Kontor *33*
3.1.17. Kyrka/Motsvarande *33*
3.1.18. Idrottsanläggning *34*
3.1.19. Hotell/Pensionat *34*
3.1.20. Restaurang/Danslokal *35*
3.1.21. Teater/Biograf/Museum *35*
3.1.22. Handel *36*
3.2. SAMMANFATTNING 37
4. Fördelning av bränder i byggnader **39**
5. Brandtekniska system **43**
5.1. FELTRÄDSANALYS 43
5.2. DETEKTIONSSYSTEM 44
5.3. SPRINKLERSYSTEM 45
5.4. PASSIVA SKYDDSSYSTEM 48
6. Bränder som orsakat personskador **49**
7. Bränders tillväxthastighet i affärer **51**
8. Persontäthet i affärer **55**
8.1. KONSUMBUTIKER 55
8.2. KÖPCENTRUM 56
8.3. GENERELL FÖRDELNING FÖR PERSONTÄTHET I BYGGNADSKATEGORIN HANDEL 58
9. Exempel på tillämpning **59**
9.1. BRANDFREKVENS 60
9.2. BRANDFÖRLOPP 63
10. Resultat och diskussion **69**
11. Referenser **71**

1. Inledning

Vid funktionsbaserad dimensionering av brandskydd och i riskanalyser utförs ofta beräkningar för att kontrollera säkerheten i en viss byggnadsutformning. För att utföra dessa beräkningar måste lämpliga värden på de ingående variablerna väljas. Det är upp till personen som utför beräkningarna att välja dessa värden så att de representerar verkligheten på bästa möjliga sätt, men detta val är inte lätt. Svårigheten beror på att de variabler som skall bedömas (till exempel brandtillväxhastighet) ofta är förknippade med stora osäkerheter ,vilka ibland beror på variabelns stokastiska natur och ibland på kunskapsbrister (se Lundin /2/).

Syftet med denna rapport är att beskriva en del av de osäkerheter som är viktiga att känna till vid projektering och vid genomförandet av riskanalyser i byggnader. Stora delar av rapporten innehåller sammanställning av material som insamlats från andra publikationer.

Delar av rapportens innehåll är hämtat från /3/ där en utredning angående industrianläggningar genomförts, men stora delar av resultaten är också användbara för andra byggnader än industrier, varför materialet presenteras i denna rapport också.

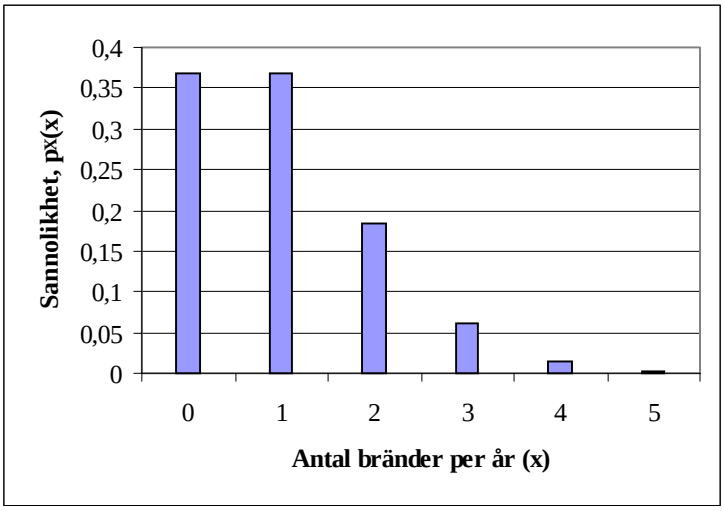
En stor del av rapporten (kapitel 3,4 och 6) bygger på statistik som erhållits från Räddningsverket. Materialet som Räddningsverket sedan 1996 sammanställer i sin databas är mycket användbart då information om olika händelser under ett brandförlopp skall modelleras. Med hjälp av detta nya material kommer kunskapen om bränder att kunna ökas väsentligt och den nya kunskap som erhålls kan på ett bra sätt komplettera de deterministiska modeller, för beräkning av brandspridning, som idag existerar.

Rapporten är en delrapport i projektet ”Dimensionering efter beräknad risk”, vilket finansieras av SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond) och BRANDFORSK. Övriga delar i projektet behandlar bland annat osäkerheter i beräkningsmodeller, kostnadsoptimering av brandskydd, beräkning av säkerhetsfaktorer för olika typer av lokaler mm. Meningen med arbetet inom detta delprojekt har varit att bedriva ett internationellt samarbete inom International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB). Då detta arbete tyvärr inte har fungerat i den omfattning som förutsattes i inledningen av projektet har vissa bitar i de ursprungliga intentionerna minskats.

2. Brandfrekvens

Då riskanalyser utförs i byggnader är brandfrekvensen en mycket viktig parameter. Brandfrekvensen beskriver hur många bränder som i genomsnitt uppkommer under en tidsperiod (vanligtvis ett år). Brandfrekvensen λ används i samband med att uppkomsten av bränder under ett år beskrivs med en Poisson-fördelning (se avsnitt 2.1).

Ett annat vanligt förekommande uttryck som rör bränder under en tidsperiod är sannolikheten för brand, eller P(Brand). Vanligtvis uttrycks denna sannolikhet per år. Med P(Brand) menas sannolikheten att *en eller flera* bränder uppkommer under t.ex. ett år. I denna rapport representeras antalet bränder som uppkommer under ett år med den stokastiska variabeln X. I stället för att använda uttrycket P(Brand) används uttrycket $P(X \geq 1)$, d.v.s. sannolikheten att antalet bränder är en eller flera. I Figur 1 visas ett exempel på hur fördelningen för X kan tänkas se ut. $P(X \geq 1)$ är summan av alla sannolikheter vars utfall innebär 1 eller fler bränder (alla utfall utom då $X=0$). Medelvärdet av fördelningen som visas i Figur 1 är 1 brand per år, vilket är mycket för att vara en normal byggnad.



Figur 1 Exempel på en fördelning av antalet bränder under ett år i en byggnad.

Eftersom både brandfrekvensen och $P(X \geq 1)$ vanligtvis beräknas per år (och alltså har enheten år^{-1}) kan det förefalla som om dessa två mått på uppkomsten av bränder är lika. Detta är inte sant, såvida inte brandfrekvensen är liten (<0,1 år^{-1}). Vid dessa låga frekvenser är λ och $P(X \geq 1)$ nästan lika. λ beskriver antalet bränder (i medeltal) under ett år, medan $P(X \geq 1)$ beskriver sannolikheten att en eller fler bränder uppkommer under ett år. $P(X \geq 1)$ kan aldrig bli större än 1, men λ kan i teorin bli hur stor som helst. En noggrannare diskussion om detta redovisas i avsnitt 2.1.

2.1. Poisson-fördelningen

Poisson-fördelningen beskriver en händelse som inträffar slumpmässigt i tiden med en viss frekvens, d.v.s. när händelserna är oberoende och medelvärdet över en längre tid är lika med frekvensen. Antal bränder under en viss tidsperiod antas kunna betraktas som Poisson-fördelade och brandfrekvensen är då medelvärdet av antalet bränder som inträffat per år under en längre period. Poisson-fördelningen beskriver då sannolikheten att ett visst antal bränder skall inträffa under en bestämd tidsperiod (se Figur 2).

Poisson-fördelningen beskrivs med följande sannolikhetsfunktion:

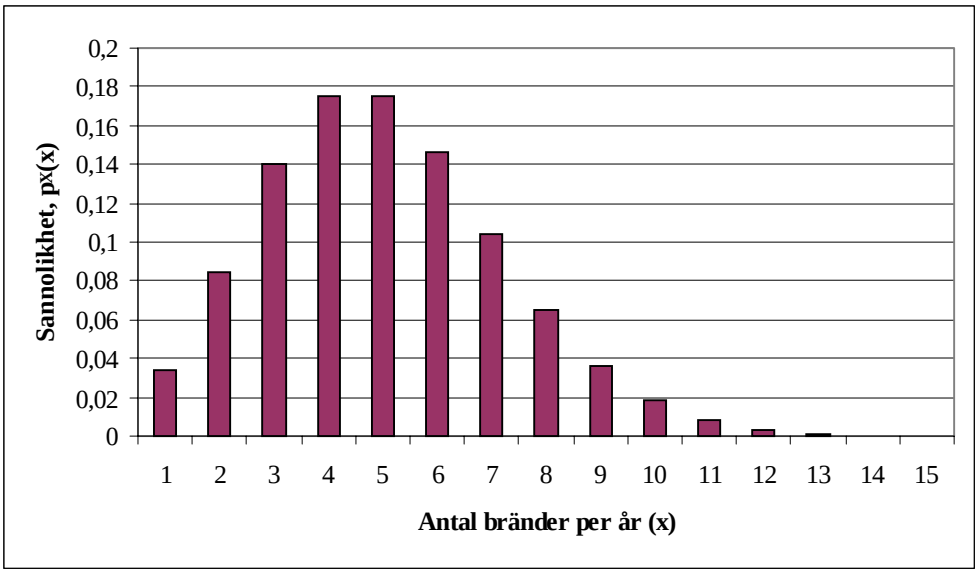
Ekvation 1

$$p_X(x) = e^{-\lambda t}(\lambda t)^x / x! \qquad (x = 0,1,2,...)$$

där

x = Antalet bränder under tidsperioden t.
λ = Brandfrekvensen (år^{-1}).
t = Tidsperioden (år).
$p_X(x)$ = Sannolikheten att x bränder uppkommer under tidsperioden t.

I Figur 2 visas ett exempel på en Poisson-fördelning.



Figur 2 Exempel på Poisson-fördelning. Medelvärdet av fördelningen är 5 bränder per år.

Eftersom Poisson-fördelningen beskriver sannolikheten att ett visst antal bränder skall uppkomma under ett år, kan P(X≥1) räknas ut enligt Ekvation 2.

Ekvation 2

$$P(X \geq 1) = 1 - p_X(0)$$

där

$p_X(0)$ = Sannolikheten att inga bränder uppkommer under ett år.

I början av kapitlet framhölls att P(X≥1) inte var samma sak som brandfrekvensen λ. För att undersöka detta närmare kan Tabell 1 studeras där λ och det motsvarande P(X≥1) finns redovisat. P(X≥1) har räknats ut genom att använda Ekvation 2 och antagandet att antalet bränder är Poisson-fördelade.

λ [år^{-1}]	P(X≥1) [år^{-1}]
5	0.99
4	0.98
3	0.95
2	0.86
1	0.63
0.5	0.39
0.25	0.22
0.1	0.10
0.05	0.05
0.02	0.02

Tabell 1 Brandfrekvensen λ och motsvarande P(X≥1).

I Tabell 1 framgår det att λ och P(X≥1) närmar sig varandra då λ minskar. Då λ är mindre än 0,1 är P(X≥1) ungefär lika med λ.

Skillnaden mellan λ och P(X≥1) blir uppenbar då riskanalyser med höga brandfrekvenser utförs (t.ex. i vissa typer av industrier). I riskanalyser där den förväntade konsekvensen är av intresse kommer resultatet att skilja när P(X≥1) multipliceras med den förväntade konsekvensen vid brand i stället för λ. Då P(X≥1) används har det implicit antagits att det endast kan brinna en gång per år, vilket kan verka lite konstigt. Bättre är alltså att multiplicera den förväntade konsekvensen vid brand med brandfrekvensen λ, då har även hänsyn till att det kan brinna fler än en gång under ett år tagits.

Det är viktigt att vara medveten om skillnaden mellan λ och P(X≥1), även om skillnaden inte spelar någon roll då brandfrekvensen är liten. Vid små brandfrekvenser kan P(X≥1) användas i stället för λ utan att det påverkar resultatet nämnvärt. I byggnader med ”normala” brandfrekvenser har detta hittills inte varit något problem att använda P(X≥1), utan det har helt enkelt kunnat antagits att det inte brinner mer än en gång per år, vilket i dessa fall är korrekt att göra (sannolikheten för mer än en brand när frekvensen är 0,1år^{-1} är mindre än 0,005). Om mer speciella byggnader (större byggnader, industrier mm.) undersöks måste dock hänsyn till den ovan beskrivna effekten tas. Detta undersöks närmare i avsnitt 2.7.

2.2. Indelning i byggnadskategorier

Eftersom brandfrekvensen antas vara beroende av verksamheten i en byggnad görs en uppdelning i olika byggnadstyper som anses ha liknande brandrisker. I denna rapport kommer samma indelning som används av Räddningsverket /1/ att utnyttjas. Denna indelning redovisas på nästa sida.

Det är möjligt att en finare indelning skulle behöva göras, men detta skulle bli mycket svårt eftersom dessa grupper används i det statistikmaterial som finns tillgängligt /1/ och där går inte att urskilja mer detaljerade uppgifter om en byggnad.

Indelning i byggnadskategorier:

- Åldringsvård
- Sjukhus
- Psykiatrisk vård
- Övriga vårdbyggnader
- Kriminalvård
- Flerbostadshus
- Villa
- Radhus
- Fritidshus
- Fritidsgård
- Skola
- Förskola
- Elevhem/Studenthem
- Kommunikationsbyggnad
- Försvarsbyggnad
- Förvaltningsbyggnad/Kontor
- Kyrka/Motsvarande
- Idrottsanläggning
- Hotell/Pensionat
- Restaurang/Danslokal
- Teater/Biograf/Museum
- Handel

Indelningen i verksamhetsgrupper medför att en stor variation av byggnader, t.ex. alla typer av idrottsanläggningar, tilldelas samma egenskaper. Detta innebär att de slutsatser som dras från det statistiska material som är hämtat från en grupp är ett medelvärde inom gruppen. Den enskilda byggnaden kan mycket väl avvika från det inom gruppen framtagna medelvärdet. Detta kan i viss mån kompenseras genom att förutom att bara använda den generella statistiken för gruppen också använda en bedömning av den enskilda byggnaden som är av intresse. Fördelen med att använda större grupper av byggnader är att det finns ett större statistiskt material att tillgå för varje grupp och alltså kan bättre skattningar av de parametrarna som är av intresse utföras. Nackdelen blir, som påtalats ovan, att variationen av byggnader inom gruppen kan bli betydlig och på så vis leda till att spridningen av parametrarna som är av intresse blir stor.

2.3. Rutsteins modell

I Rutstein /4/ redovisas en modell för att kunna beräkna brandfrekvensen som funktion av byggnadsyta och verksamheten.

Brandfrekvensen beräknas med hjälp av följande uttryck:

Ekvation 3

$\lambda = a\ A_F^{\ b}$

där
λ = Brandfrekvensen ($år^{-1}$)
A_F = Arean av den byggnad som sannolikheten för brand skall beräknas för (m^2)
a = Konstant beroende på verksamheten i lokalen (Tabell 2)
b = Konstant beroende på verksamheten i lokalen (Tabell 2)

Dessa uttryck är skapade med hjälp av engelsk statistik från 1970-talet. Eftersom förhållandena i England på 1970-talet skiljer sig från de nuvarande svenska förhållandena, samt att det statistiska materialet för vissa av grupperna var magert då uttrycken togs fram, bör Ekvation 3 användas med försiktighet. Dessutom kan det tänkas att det finns bränder som inte rapporterats till brandförsvaret och på så sätt inte kommit med i statistiken. I så fall ger uttrycket i Ekvation 3 en underskattning av sannolikheten för brands uppkomst.

Verksamhet	a	b
Lager	0,000670	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

Tabell 2 Faktorerna a och b.

Liknande uttryck borde skapas för byggnader i Sverige. Detta skulle kunna göras genom att använda en metod som beskrivs av Ramachandran /5/. Metoden går ut på att undersöka fördelningen av areor hos alla byggnader i en byggnadsklass, samt fördelningen för areorna hos de byggnader som brunnit. På detta sätt kan ett uttryck som beskriver brandfrekvensen som funktion av arean skapas. Som underlag behövs information om vilka objekt som har brunnit under en viss tidsperiod, samt om fördelning av storlekar för de olika typerna av lokaler.

2.4. VTT

J.Rahikainen och O. Keski-Rahkonen har i artikeln ”Determination of ignition frequency of fire in different premises in Finland” /6/ studerat finsk insatsstatistik och noterat sambandet mellan byggnadsyta och brandfrekvenser i olika byggnader i Finland. För att komma fram till ett samband mellan byggnadsyta och brandfrekvens har en modell enligt Ramachandran /5/ använts. I artikeln påpekas att trots att cirka en fjärdedel av all data som samlats in visat sig vara felaktig (bl.a. på grund av fel i instruktionen till dem som fyllde i insatsrapporterna) så kan brandfrekvensen i byggnader över 1000 m^2 beskrivas med det ungefärliga värdet **10^{-5} m^{-2} $år^{-1}$**.

För bränder i sjukhus har en jämförelse med North och Baldwins /7/ resultat i artikeln ”Fire Risk in Hospitals” gjorts. Det råder god överensstämmelse mellan dessa resultat och de som

redovisats i /6/ och det anges också några uppskattade brandfrekvenser. I kontor, laboratorier och vårdavdelningar (wards) anges ett värde mellan **1,3 och 2,0*10^{-5} m^{-2}år^{-1}**. I lager och restaurang (catering) utrymmen anges **1,4*10^{-4} m^{-2}år^{-1}**.

2.5. Bayes sats

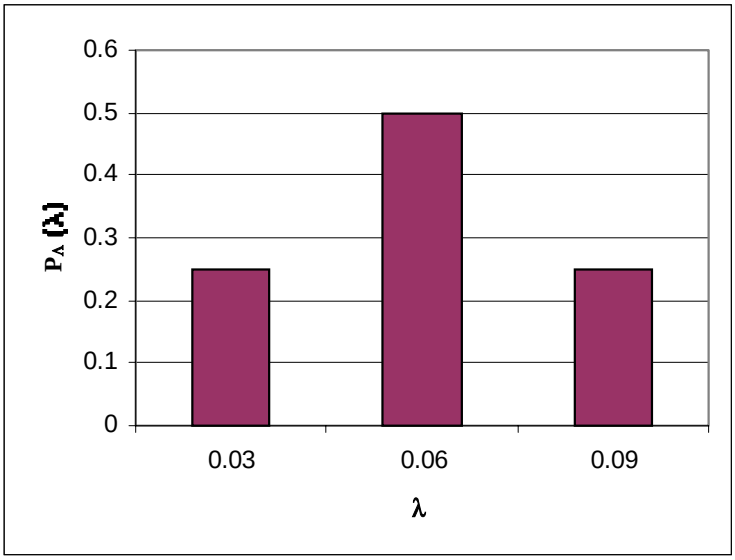
Tidigare i rapporten har brandfrekvensen betraktats som en konstant för en byggnad, men eftersom det inte går att mäta denna parameter exakt finns det en viss kunskapsosäkerhet vad gäller parameterns riktiga värde. Denna osäkerhet representeras av att brandfrekvensen betraktas som en stokastisk variabel. Stokastiska variabler brukar betecknas med stora bokstäver, varför Λ (stora λ) kommer att användas då brandfrekvensen betraktas som en stokastisk variabel. Argumentet betecknas då λ.

För att minska osäkerheterna i en skattning av brandfrekvensen i en byggnad kan tillbudsdata från just den aktuella byggnaden användas. Genom att använda Bayes sats tillsammans med tillbudsdata för den aktuella byggnaden kan en uppdateringen av skattningen utföras.

Först måste en skattning av Λ för den aktuella byggnaden göras. Denna skattning sker genom att Λ uttrycks som en stokastisk variabel. Den stokastiska variabeln kan antingen vara diskret (Λ kan endast anta bestämda värden) eller kontinuerlig (Λ kan anta alla värden i ett intervall).

För enkelhetens skull inleds med ett exempel där Λ är diskret.

Exempel 2.1
En skattning av brandfrekvensen Λ skall utföras för ett hotell med den sammanlagda golvarean 2000 m^2. Först används Ekvation 3 för att få en första skattning av Λ. Resultatet blir att Λ=0,06. Denna skattning representerar någon typ av ”medelhotell” med arean 2000 m^2. Brandfrekvensen för det verkliga objektet kan tänkas avvika från ”medelhotellets” brandfrekvens och eftersom det finns en viss osäkerhet förknippad med denna skattning bedöms att det är 25% sannolikhet att det ”verkliga” Λ antar värdet 0,03, 50% sannolikhet att värdet är 0,06 och 25% sannolikhet att värdet är 0,09. Detta är den första skattningen av Λ. Fördelningen för den stokastiska variabeln Λ kan ses Figur 3.



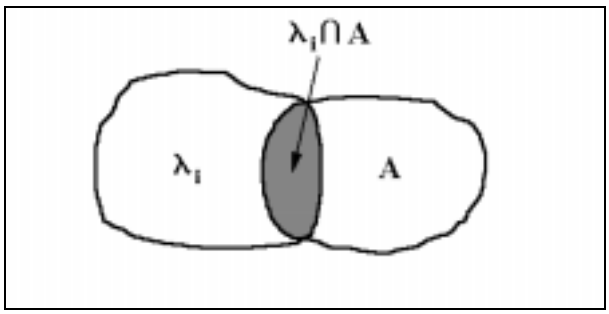
Figur 3 Fördelningen av den stokastiska variabeln Λ.

Målet med modifierings- eller uppdateringsprocessen är att erhålla en ny skattning av brandfrekvensen Λ där även hänsyn till tillbud i byggnaden tagits. Med andra ord: vi tror att Λ har en viss fördelning (beräknat genom generell statistik och subjektiva bedömningar av osäkerheten), men vill genom mätningar (hur ofta har det brunnit i den aktuella byggnaden?) av de verkliga förhållandena förbättra skattningen av Λ.

Antag att det finns n antal händelser λ_i (i=1, 2, 3,….n) där varje händelse motsvarar att brandfrekvensen i en viss byggnad är just λ_i. En annan händelse A motsvarar det antal bränder som har uppkommit under en viss tidsperiod, d.v.s. mätperioden.

Innan vi har gjort några mätningar av A (d.v.s. vi vet inget om antalet bränder i byggnaden) kan vi skatta Λ för byggnaden med hjälp av vilken typ av verksamhet som förekommer i byggnaden, hur stor byggnaden är, med hjälp av subjektiva bedömningar mm. Skattningen av den stokastiska variabeln Λ innebär att vi tror att vissa värden på brandfrekvensen med större sannolikhet representerar verkligheten än andra.

Om vi nu tar reda på hur många bränder som uppstått under en viss tidsperiod så kan vi uppdatera vår skattning av brandfrekvensen Λ, d.v.s. vi vill veta $P(\lambda_i|A)$ för alla i. $P(\lambda_i|A)$ innebär sannolikheten att brandfrekvensen λ_i är den ”verkliga” brandfrekvensen *givet* att vi vet hur många gånger det har brunnit under en viss tid.



Figur 4 Bild som visar snittet mellan λ_i och A.

Ekvation 4 innebär att den betingade sannolikheten för λ_i givet att A har inträffat är lika med sannolikheten för snitthändelsen λ_i och A delat med sannolikheten att A inträffar. Snitthändelsen λ_i och A är samma sak som sannolikheten att λ_i inträffar gånger sannolikheten att A inträffar givet att λ_i har inträffat (se Figur 4), vilket gör att $P(\lambda_i|A)$ beräknas enligt Ekvation 4.

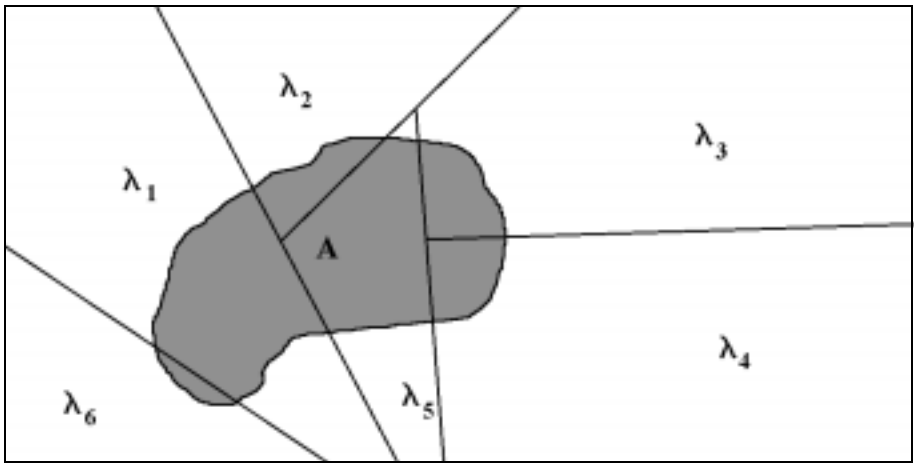
Ekvation 4

$$P(\lambda_i|A) = \frac{P(\lambda_i \cap A)}{P(A)} = \frac{P(\lambda_i) \cdot P(A|\lambda_i)}{P(A)}$$

Ekvation 5

$$P(A) = \sum_{i=1}^{n} P(\lambda_i) \cdot P(A|\lambda_i)$$

Satsen om total sannolikhet /8/ (Ekvation 5) ger att sannolikheten för en händelse A är summan av alla sannolikheter för de positiva och oförenliga händelserna λ_i multiplicerat med den betingade sannolikheten $P(A|\lambda_i)$. Detta förutsätter också att händelserna λ_i fyller upp hela utfallsrummet Ω (se Figur 5).



Figur 5 Visualisering av Ekvation 5. Sannolikheten för händelsen A är lika med summan av $P(\lambda_i)$ multiplicerat med $P(A|\lambda_i)$ för alla λ_i. Förutsatt att λ_i är parvis oförenliga och fyller upp hela utfallsrummet Ω.

Om Ekvation 4 och Ekvation 5 kombineras fås Ekvation 6, vilken kallas för Bayes sats.

Ekvation 6

$$P(\lambda_i|A) = \frac{P(\lambda_i)P(A|\lambda_i)}{\sum_{j=1}^{n} P(\lambda_j)P(A|\lambda_j)}$$

Funktionen $P(A|\lambda_i)$ kallas ”likelihood-funktionen” och beskriver hur stor sannolikheten är att värdet A erhålls vid en mätning, givet λ_i. I den här tillämpningen är likelihood-funktionen en Poisson-fördelning (eftersom uppkomsten av bränder antas vara Poisson-fördelad). I det fallet beskriver likelihood-funktionen hur stor sannolikheten är att A antal bränder uppstår under tidsperioden givet att antal bränder är Poisson-fördelade med medelvärdet λ_i.

$P(\lambda_i)$ (för alla i) kallas *aprioriförde**lning* och beskriver skattningen av Λ innan några mätningar har gjorts.

$P(\lambda_i|A)$ (för alla i) kallas *posteriorifördelning* och beskriver skattningen av Λ efter att uppdateringen med hjälp av mätningen har gjorts.

Faktorn som är placerad i nämnaren är sannolikheten att händelsen A inträffar.

Anledningen till att Bayes sats används är att brandfrekvensens medelvärde ($\overline{\Lambda}$) *efter* att informationen om antalet bränder i byggnaden har erhållits, är av intresse. $\overline{\Lambda}$ används ofta vid riskanalyser för att beräkna den förväntade skadan under ett år.

Exempel 2.2
Betrakta brandfördelningen för hotellet i exempel 2.1. Efter att den första skattningen av osäkerheten i Λ har genomförts kan tillbudsstatistiken för hotellet undersökas. Det visar sig då att under de senaste fem åren har en brand uppstått i byggnaden. Med hjälp av denna information skall den ursprungliga skattningen av Λ uppdateras så att en bättre skattning erhålls.

Nu kommer Bayes sats till användning. Brandfrekvensen innan uppdateringen representeras med den stokastiska variabeln $\Lambda_{Apriori}$ och kallas aprioridfördelningen ($P(\lambda_i)$, för alla i).
$P(A|\Lambda=\lambda_i)$ beskrivs via en Poisson-fördelning och kan uttryckas på följande sätt: sannolikheten att 1 brand uppstår på fem år givet att brandfrekvensen i byggnaden är λ_i. Denna sannolikhet beräknas med hjälp av Ekvation 1.

$$P(A|\Lambda = 0{,}03) = p_X(1) = e^{-0{,}03\cdot 5}(0{,}03\cdot 5)^1/1 = 0{,}129$$

$$P(A|\Lambda = 0{,}06) = p_X(1) = e^{-0{,}06\cdot 5}(0{,}06\cdot 5)^1/1 = 0{,}222$$

$$P(A|\Lambda = 0{,}09) = p_X(1) = e^{-0{,}09\cdot 5}(0{,}09\cdot 5)^1/1 = 0{,}287$$

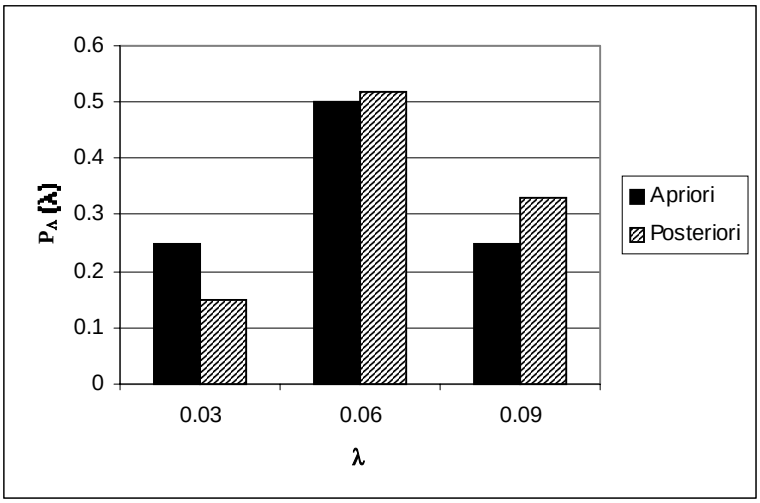
Nu kan posteriorifördelningen enligt Ekvation 6 beräknas:

$$P(\Lambda = 0{,}03|A) = \frac{P(\Lambda = 0{,}03)P(A|\Lambda = 0{,}03)}{\sum_{j=1}^{n} P(\Lambda = \lambda_j)P(A|\Lambda = \lambda_j)} = \frac{0{,}25\cdot 0{,}129}{0{,}25\cdot 0{,}129 + 0{,}5\cdot 0{,}222 + 0{,}25\cdot 0{,}287} = 0{,}15$$

$$P(\Lambda = 0{,}06|A) = \frac{P(\Lambda = 0{,}06)P(A|\Lambda = 0{,}06)}{\sum_{j=1}^{n} P(\Lambda = \lambda_j)P(A|\Lambda = \lambda_j)} = \frac{0{,}5\cdot 0{,}222}{0{,}25\cdot 0{,}129 + 0{,}5\cdot 0{,}222 + 0{,}25\cdot 0{,}287} = 0{,}52$$

$$P(\Lambda = 0{,}09|A) = \frac{P(\Lambda = 0{,}09)P(A|\Lambda = 0{,}09)}{\sum_{j=1}^{n} P(\Lambda = \lambda_j)P(A|\Lambda = \lambda_j)} = \frac{0{,}25\cdot 0{,}287}{0{,}25\cdot 0{,}129 + 0{,}5\cdot 0{,}222 + 0{,}25\cdot 0{,}287} = 0{,}33$$

Dessa beräkningar innebär att posteriorifördelningen (alltså skattningen av Λ efter att hänsyn till tillbudsstatistiken tagits) kan beskrivas som Figur 6 där även en jämförelse visas med hur fördelningen såg ut innan hänsyn till statistiken togs (aprioridfördelningen).



Figur 6 apriori- och posteriorifördelning för den stokastiska variabeln Λ.

*I riskanalyser är det oftast medelvärdet av Λ som är av intresse (såvida inte en osäkerhetsanalys utförs, då hela fördelningen är av intresse). I exemplet med hotellet var medelvärdet av brandfrekvensen **0,06 år^{-1}** innan hänsyn till tillbudsstatistiken togs och **0,07 år^{-1}** efter uppdateringen med hjälp av Bayes sats. Medelvärdet ändrades alltså ca 17%.*

2.6. Enkel riskanalys

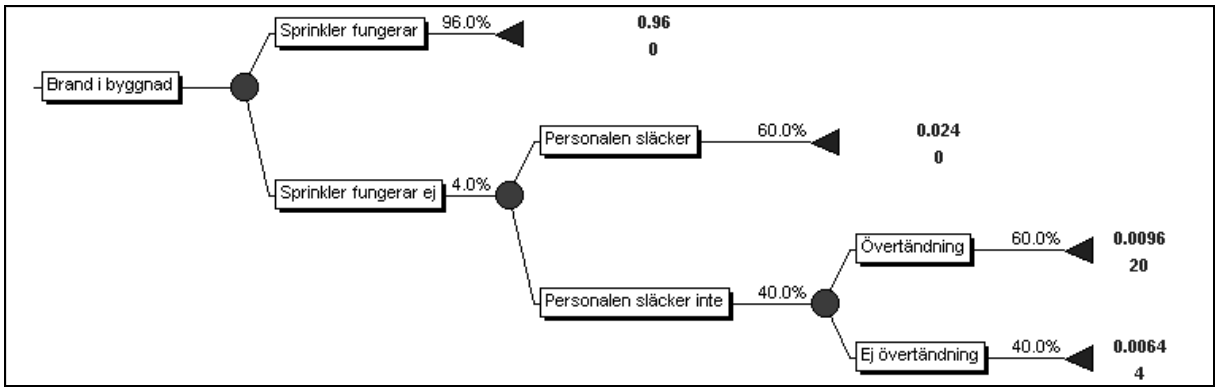
För att undersöka effekten av att P(X≥1) ibland inte är lika med Λ (se början av detta kapitel) utförs en enkel riskanalys av en fiktiv byggnad. I den fiktiva byggnaden finns ett sprinklersystem som kan släcka en uppkommen brand och dessutom har personalen i byggnaden utbildning i att släcka bränder.

Händelseträdet vid en brand i byggnaden visas i Figur 7. Där kan det ses att sannolikheten att sprinklersystemet fungerar och släcker branden har bedömts till 96%. Om inte sprinklersystemet släcker branden har det bedömts att personalen släcker branden med 60% sannolikhet.

Om varken sprinklersystemet eller personalen lyckas släcka branden kan branden utvecklas på två sätt, antingen uppkommer överändning i utrymmet där branden uppstått, eller så gör det inte det och branden slocknar till slut utan att ha spridit sig.

Det är endast i två fall som personer i byggnaden antas utsättas för kritiska förhållanden, nämligen då branden inte släcks av varken sprinklersystem eller personal.

I Figur 7 ses att efter varje ”gren” står två tal. Det övre beskriver sannolikheten att just detta delscenario uppstår givet att en brand uppkommit i byggnaden. Det undre talet beskriver hur många människor som utsätts för kritiska förhållanden om det aktuella delscenariet inträffar. I det fall då överändning uppstår kommer 20 personer att utsättas för kritiska förhållanden. Om inte överändning uppstår och branden inte släcks av sprinklersystem eller personal kommer 4 människor att utsättas för kritiska förhållanden.



Figur 7 Händelseträdet för en brand i den fiktiva byggnaden.

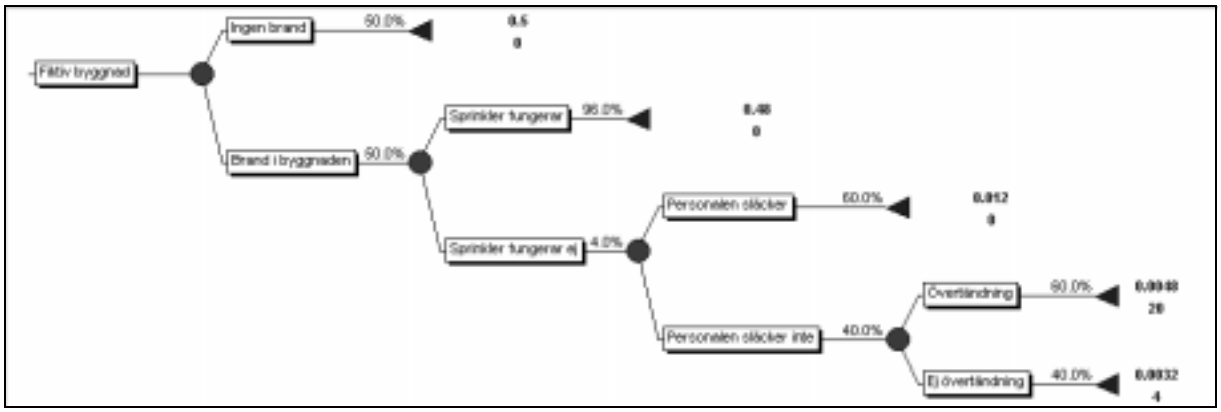
Ett mått på risken i en byggnad är det förväntade antalet personer som utsätts för kritiska förhållanden under ett år. Antalet personer som utsätts för kritiska förhållanden under ett år betecknas med N. Då är medelvärdet av N (eller E(N)) lika med det förväntade antalet personer som utsätts för kritiska förhållanden i byggnaden under ett år.

Sannolikheten för brand i byggnaden under ett år har tidigare beräknats till 0,5. Nu skall en analys av E(N) utföras, dels med metoden där det antas att endast en brand kan uppkomma varje år och dels med metoden där en Poisson-fördelning används (se början av detta kapitel). Den första metoden kallas Metod 1 och den andra Metod 2.

2.6.1. Metod 1

Då metod 1 används, d.v.s. det antas att endast en brand kan uppkomma varje år kommer händelsträdet att se ut enligt Figur 8.

E(N) är i detta fallet lika med **0,1088 personer/år**. Detta innebär att om byggnaden fick stå kvar under en lång tid med samma verksamhet så skulle medelvärdet av antalet personer som utsattes för kritiska förhållanden p.g.a. brand uppgå till 0,1088 personer/år.



Figur 8 Händelseträd för byggnaden då metod 1 används.

Om sannolikheten för att brand uppkommer sänks från 0,5 till 0,1 $år^{-1}$ så minskar det förväntade antalet drabbade personer till **0,0218 personer/år**.

2.6.2. Metod 2

Om istället metod 2 används betraktas antalet bränder som uppkommer under ett år (X) som Poisson-fördelade med medelvärdet Λ. I detta fallet är Λ=0,695 $år^{-1}$ (då blir $P(X\geq1) = 0,5$).

I Figur 9 kan ses att konsekvenserna som finns i slutet på de olika ”grenarna” är större än i händelseträdet då metod 1 användes. Den enda gren som är samma är grenen ”1 brand”. Anledningen till detta är att hela trädet inte kan ritas ut eftersom det då skulle bli väldigt stort. Exempelvis så skulle alla delhändelser under grenen ”3 bränder” fortsätta i ytterligare ett likadant träd, vars delscenarier också skulle fortsätta i ett nytt träd. Detta innebär att hela händelseträdet som visas i Figur 9 har 341 stycken delscenarier. Som tur är så behöver inte alla dessa delscenarier räknas igenom eftersom det är känt att det förväntade antalet, av kritiska förhållanden, påverkade personer vid *en* brand är 0,2176 stycken. 0,2176 erhålls genom att summera sannolikheten multiplicerat med konsekvensen för alla tänkbara delscenarier (4 stycken), *givet* att *en* brand har uppkommit. I Figur 9 kan ses att 0,2176 har adderats till konsekvenserna i grenen ”2 bränder”. Anledningen till detta är, som precis diskuterats, att händelseträdet egentligen skulle fortsätta med ytterligare en brand. Eftersom detta inte går att rita ut i figuren kan den delen av trädet reduceras bort och i stället adderas den *förväntade* konsekvensen vid en brand till de *faktiska* konsekvenserna vid en brand. På motsvarande sätt har den förväntade konsekvensen vid två bränder (0,4352) adderats till grenen ”3 bränder” o.s.v.

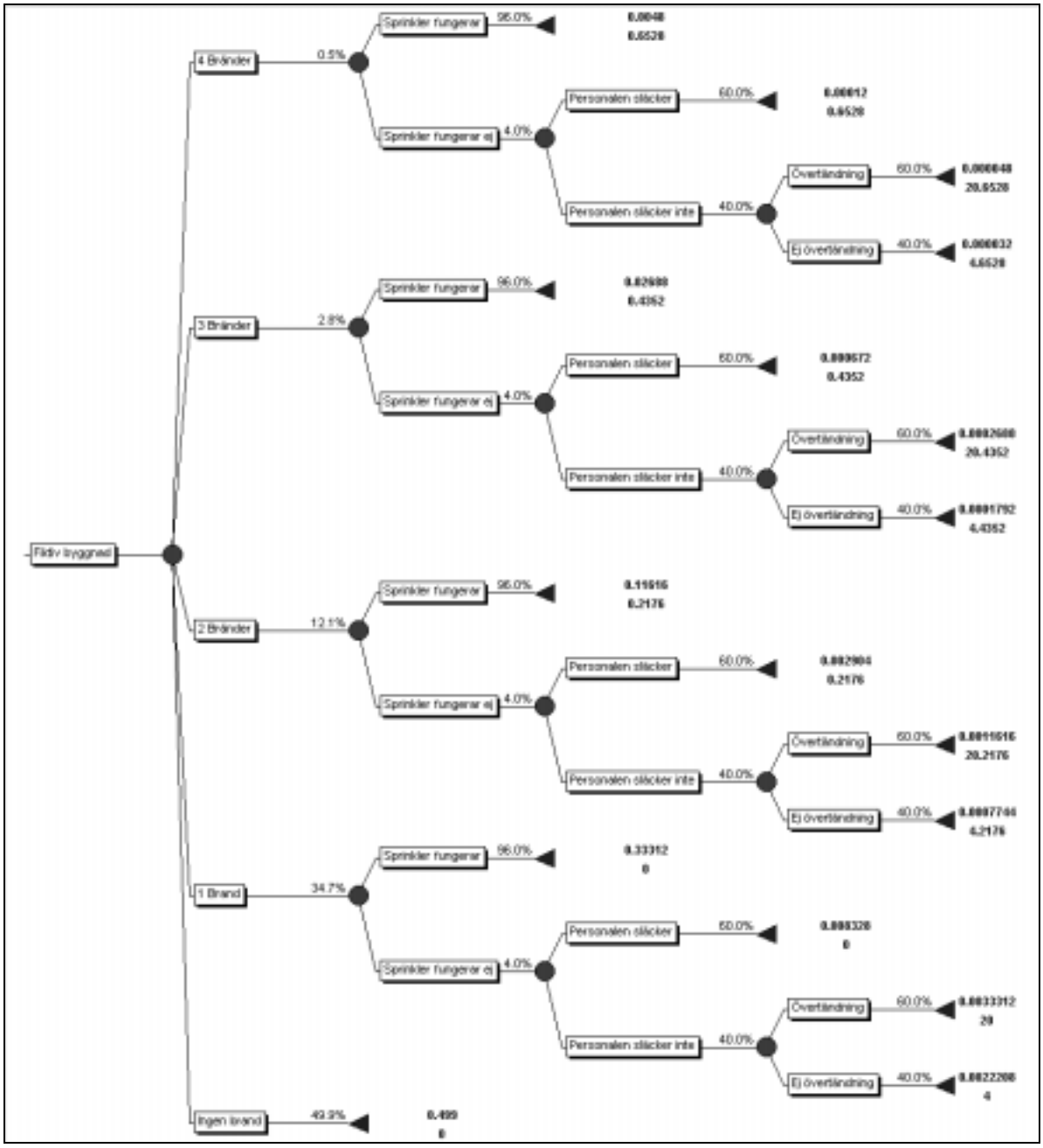
Antalet personer som påverkas av kritiska förhållanden under den första branden betraktas som en stokastisk variabel N_1, antal personer vid den andra branden som N_2 o.s.v. Det förväntade antalet, av kritiska förhållanden, påverkade personer vid första branden blir då $E(N_1)$, vid andra branden $E(N_2)$ o.s.v. I analysen är summan av personerna som påverkas av

kritiska förhållanden intressant d.v.s. då t.ex. tre bränder uppstår är det förväntade värdet av de tre stokastiska variablerna N_1,N_2 och N_3 av intresse.

Eftersom $E(N_1 + N_2 + N_3) = E(N_1) + E(N_2) + E(N_3)$ (se t.ex. Blom /8/), så blir det förväntade antalet, av kritiska förhållanden, påverkade personer vid tre bränder lika med det förväntade antalet vid en brand multiplicerat med tre. I Figur 9 kan ses att konsekvenserna av vissa delscenarier är större än då metod 1 används. Som tidigare påpekats beror detta på vilken av grenarna som beskriver antalet bränder som undersöks. Om t.ex. grenen 2 bränder betraktas, skall värdet 0,2176 adderas till samtliga konsekvenser för den första branden. 0,2176 är det förväntade antalet, av kritiska förhållanden påverkade personer vid *en* brand. I stället för att rita ett nytt händelseträd för den andra branden kan den förväntade konsekvensen vid en brand adderas till konsekvenserna av den första branden.

Då metod 2 används för att beräkna E(N) och det maximala antalet bränder som antas kunna uppkomma under ett år är fyra blir **E(N)=0,1504 personer/år**.

Varför tillåts bara fyra bränder uppstå under ett år och inte 10 eller 100 stycken? Jo, det beror på att när Λ=0,695 år^{-1} så är sannolikheten att fler än fyra bränder skall inträffa väldigt liten och påverkan på resultatet är marginell. Till exempel så blir E(N)=0,1512 personer/år om 20 stycken bränder kan uppstå under ett år, d.v.s. en liten skillnad jämfört med när endast 4 bränder antogs kunna uppstå.



Figur 9 Händelseträdet då metod 2 används.

Eftersom medelvärdet endast skiljer 0,5% då fyra bränder används jämfört med då 20 används anses approximationen vara acceptabel.

Om brandfrekvensen ändras från 0,695 $år^{-1}$ till 0,1 $år^{-1}$ så sjunker det förväntade, av kritiska förhållanden, påverkade personer till **0,0218 personer/år**, d.v.s. samma resultat som med Metod 1.

2.6.3. Sammanfattning

I det fiktiva exemplet ovan demonstreras tydligt skillnaderna i att använda den enklare metoden (Metod 1) jämfört med den mer avancerade (Metod 2).

För låga brandfrekvenser (<0,1 $år^{-1}$) så blir resultatet i form av förväntat antal, av kritiska förhållanden, påverkade personer samma. Om däremot brandfrekvensen ökas så skiljer resultatet. I exemplen ovan skiljer resultatet från metod 2 hela 38% från resultatet med metod 1. Detta visar tydligt att metod 1 inte bör användas då brandfrekvensen är hög. Däremot är den en acceptabel förenkling då brandfrekvensen är lägre än 0,1 $år^{-1}$.

P(X≥1) ($år^{-1}$)	**λ ($år^{-1}$)**	**$E(N)_{Metod\ 1}$ ($år^{-1}$)**	**$E(N)_{Metod\ 2}$ ($år^{-1}$)**
0,5	0,7	0,1088	0,1504
0,1	0,1	0,0218	0,0218

Tabell 3 Förväntat antal, av kritiska förhållanden, påverkade personer då metod 1 respektive 2 används.

När Metod 2 användes gjordes beräkningarna på ett mer omständigt sätt än vad som behövs. Det är nämligen inte nödvändigt att rita ett händelseträd med grenarna ”1 brand”, ”2 bränder”, ”3 bränder” o.s.v. Det räcker med att beräkna den förväntade konsekvensen vid en brand och sedan multiplicera detta värde med brandfrekvensen (se Ekvation 7).

Ekvation 7

$$E(N_{\text{År}}) = \Lambda \cdot E(N_1)$$

I Ekvation 7 innebär $E(N_{\text{År}})$ det förväntade antalet, av kritiska förhållanden, påverkade personer under *ett år*. Λ är brandfrekvensen och $E(N_1)$ innebär det förväntade antalet, av kritiska förhållanden, påverkade personer vid *en brand*.

Att uttrycket ”sannolikhet för brand” har använts i tidigare rapporter innebär inte att dessa beräkningar varit fel. Om brandfrekvensen är lägre än ca 0,1 $år^{-1}$ kan P(X≥1) användas som en approximation och även om brandfrekvensen är större än 0,1 $år^{-1}$ så är det troligt att uttrycket ”sannolikhet för brand” eller på engelska ”probability of fire” avser en frekvens och inte en sannolikhet. Till exempel så använder Rutstein /4/ uttrycket ”probability of fire”, men sannolikheten beskrivs med ett uttryck av formen $a_* A^b$ där a och b beror på verksamheten i byggnaden och A är byggnadsarean. Om det var en sannolikhet som beskrevs, så skulle värdet av uttrycket aldrig kunna överstiga 1 (enligt Kolmogorovs axiomsystem, se t.ex. /8/), men $a_* A^b$ kan bli större än 1 om bara A (byggnadsarean) är tillräckligt stor. Till exempel så överskrider uttrycket för sjukhus 1 redan vid 16000 m^2 byggnadsyta. Det är därför troligt att det egentligen är en frekvens som avsetts då sannolikhetsbegreppet använts. Detta har också antagits i avsnitt 2.3 där Rutsteins modell redovisas.

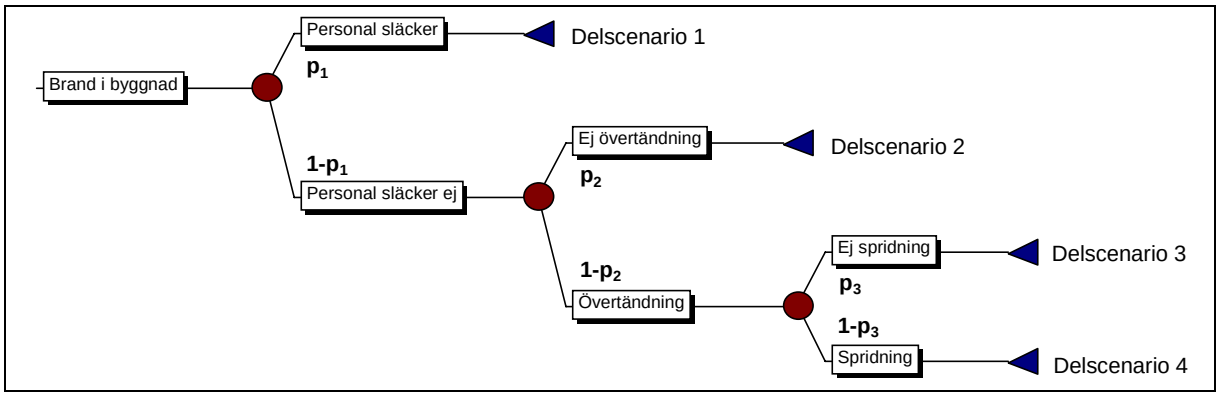
3. Brandförlopp

I detta kapitel kommer insatsstatistik från bränder i olika typer av byggnader att analyseras med avsikten att kunna dra slutsatser angående sannolikheten för olika typer av brandförlopp, beroende på byggnadstyp och verksamhet. För att göra detta används en grov modell över hur ett brandförlopp i en byggnad kan utvecklas (se Figur 10).

Modellen som används är utformad som ett händelseträd och det är meningen att genom att undersöka statistik över inträffade bränder så skall information angående sannolikheten för olika händelser erhållas. Händelseträdet är sammansatt av ett antal sannolikhetsnoder, vilka symboliserar en osäker situation. Till exempel ses i Figur 10 att den första sannolikhetsnoden (cirkel) representerar osäkerheten huruvida personalen i byggnaden släcker branden eller ej. Egentligen innefattas mer än bara personalens släckning i denna nod, t.ex. att en besökare i byggnaden släcker branden, att branden slocknar på grund av bränslebrist o.s.v. Anledningen till att namnet ”Personalen släcker” valts är att det bedömts vara den vanligaste orsaken till att bränder inte blir stora.

Om inte personalen släcker branden, eventuella sprinklersystem släcker branden eller branden slocknar av sig själv så kan en övertändning inträffa. Då övertändningen inträffar antas hela det rum där branden uppstått involveras i branden.

Om övertändning uppstår kan branden med en viss sannolikhet sprida sig till andra brandceller. Branden antas inte kunna sprida sig till andra brandceller utan att övertändning uppstått.



Figur 10 Beskrivning av modell som används för att karaktärisera ett brandförlopp.

Målet med denna modell är att kunna skatta t.ex. sannolikheten att personalen släcker en uppkommen brand med hjälp av statistik från riktiga bränder. I Figur 10 kan ses att varje delscenario är numrerat från 1 till 4, t.ex. så innebär delscenario 3 att brand uppstått, personalen släcker den inte, övertändning uppstår, men branden sprider sig inte utanför brandcellen där den uppstått. I den statistik som samlas in av Räddningsverket /1/ anges brandens omfattning då brandförsvaret kom till platsen som ett av sex alternativ:

- Endast rökutveckling (1)
- Brand i startföremålet (2)
- Brand i ett rum (3)
- Brand i flera rum (samma brandcell) (4)
- Brand i flera brandceller (5)
- Branden släckt/slocknad (6)

Dessutom anges också var branden släcktes som:

- I startföremålet (1)
- I startrummet (2)
- I startbrandcellen (3)
- I startbyggnaden (4)
- Branden spred sig till andra byggnader (5)

Dessa två uppgifter ger så mycket information om en brand att det räcker för att ange vilket av de fyra delscenarierna i Figur 10 som branden tillhör. Följande indelning kommer att användas:

	Var släcktes branden?				
Brandens omfattning vid ankomst	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1,6	Scenario 1	Scenario 1	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 4
2	Scenario 2	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 4
3,4	Scenario 3	Scenario 3	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 4
5	Scenario 4	Scenario 4	Scenario 4	Scenario 4	Scenario 4

Tabell 4 Indelning i delscenarier beroende på brandens storlek vid räddningstjänstens ankomst och vid släckning.

3.1. Skattning av sannolikheter

Med hjälp av modellen för brandförlopp som presenterats i förra avsnittet och insatsstatistik kan sannolikheten för olika händelser skattas. De olika händelserna kan till exempel vara att personalen släcker en brand (se Figur 10) eller att övertändning uppstår, givet att personalen inte släckt branden. Dessa sannolikheter betecknas med p_1 (personalens insats), p_2 (övertänding) och p_3 (spridning till annan brandcell), se Figur 10.

För att skatta sannolikheterna i Figur 10 måste det antas att antalet bränder där en viss händelse inträffar (t.ex. personalen släcker) betraktas som binomialfördelad. X betecknar antalet bränder (alltså den *absoluta* frekvensen) där händelsen inträffat, n det totala antalet bränder där händelsen skulle kunnat inträffa och p sannolikheten att händelsen skall inträffa vid en brand, alltså $X \in \mathrm{Bin}(n, p)$.

I fortsättningen kommer ”händelsen” att ersättas med ”personalen släcker branden” eftersom detta uttryckssätt gör det lättare att följa resonemanget. Samma tillvägagångssätt används dock när sannolikheten för händelsen ”ej övertändning, givet att branden inte släckts av personalen” skall skattas.

Då antalet bränder är stort kan binomialfördelningen approximeras med en normalfördelning (se /8/).

$$X \in N(np, \sqrt{np(1-p)})$$

Villkoret för att denna approximation skall gälla är att olikheten i Ekvation 8 är uppfylld.

Ekvation 8

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

Detta måste kontrolleras för varje skattning av sannolikheten p_1 (även för p_2 och p_3). Ekvation 8 innebär att normalapproximationen inte gäller då antalet bränder är litet eller sannolikheten att personalen släcker branden är liten. I viss mån kan mängden bränder justeras eftersom undersökningen kan göras mer eller mindre detaljerad. Det kan t.ex. tänkas att p_1, p_2 och p_3 skattas för hela gruppen ”Åldringsvård”, vilket innebär att tillgången av bränder (n) är ganska stor. Om större detaljeringsgrad önskas, t.ex. sannolikheten att branden släcks av personal i byggnadskategorin ”Åldringsvård” där branden börjat på en vårdavdelning, kommer antalet bränder (n) att minska och alltså gäller kanske inte normalapproximationen.

Tillvägagångssättet då p_1, p_2 och p_3 skattas är följande:
I var och en av n oberoende bränder räknas hur många gånger branden släckts av personalen. För den *absoluta* frekvensen bränder som släckts av personalen (X) gäller att $X \in \mathrm{Bin}(n,p)$. Maximum Likelihood skattningen och Minsta kvadratskattningen sammanfaller vid skattning av p. Det visar sig att $p^* = x/n$ då (p^* betyder en skattning av p) både ML-metoden och MK-metoden används.

Den *relativa* frekvensen kan uttryckas som X/n. Eftersom X, då n är stort, kan approximeras som $X \in N(np, \sqrt{np(1-p)})$ innebär det att X/n kan uttryckas som $X/n \in N(p, \sqrt{p(1-p)/n})$. p^* (skattningen av p) är en observation av X/n. Som medelfel för X/n används $\sqrt{p^*(1-p^*)/n}$. Konfidensintervallet för p blir:

$$I_p = (p^* - \lambda_{\alpha/2} \cdot \sqrt{p^*(1-p^*)/n}, p^* + \lambda_{\alpha/2} \cdot \sqrt{p^*(1-p^*)/n})$$

Då antalet bränder som undersöks är få ökar variansen i resultatet, d.v.s. spridningen ökar. Därför kommer så generella grupper av bränder som möjligt att studeras. Detta innebär att skattningen av de olika sannolikheterna p_1, p_2 och p_3 kommer endast att genomföras för bränder i den aktuella typen av byggnad, och endast i de fall då ett stort underlag (antal bränder) finns tillgängligt undersöks mer specifika typer av bränder, t.ex. bränder i vårdanläggningar som uppstått i vårdrum. Om det inte finns tillräckligt många bränder för att normalapproximationen skall gälla då något p skall beräknas kommer inget konfidensintervall att anges.

Ibland anges inte brandens omfattning på insatsrapporterna, och då kan inte dessa bränder användas i beräkningarna. För varje byggnadskategori anges först det totala antalet registrerade bränder och sedan hur många av dessa där brandens omfattning finns angiven.

Då skattningen av de olika parametrarna p_1, p_2 och p_3 redovisas kan det ibland förekomma att inget värde finns redovisat för en skattning eller ett konfidensintervall. Detta betyder att datamaterialet varit för magert för att göra en skattning.

3.1.1. Åldringsvård

Totalt antal registrerade bränder: 305
Antal bränder med angiven omfattning: 241

Antal bränder som registrerats i de olika klasserna redovisas i Tabell 5.

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	82	66	8				8
Brand i startföremålet (2)	55	44	9				2
Brand i ett rum (3)	13		10	3			
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	2				2		
Brand i flera brandceller (5)	1	1					
Branden slocknad/släckt (6)	88	72	7	1			8

*Tabell 5 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen (byggnadskategorin Åldringsvård). *Förklaring finns på sida 20.*

Skattning av p_1

$$p_1^* = \frac{X}{n} = \frac{170}{241} = 0{,}705$$

Test för att undersöka om binomialfördelningen kan approximeras med en normalfördelning:

$$n \cdot p^* \cdot (1 - p^*) = 241 \cdot 0{,}705 \cdot (1 - 0{,}705) = 50{,}1 > 10 \;\Rightarrow\; \text{Approximationen är giltig.}$$

Ett tvåsidigt konfidensintervall för p med approximativ konfidensgrad 0,95 kan uttryckas som:

$$I_{p1} = p^* \pm \lambda_{0,025} \cdot \sqrt{\frac{p^* \cdot (1 - p^*)}{n}}$$

$$I_{p1} = 0{,}705 \pm 1{,}96 \cdot \sqrt{\frac{0{,}705 \cdot (1 - 0{,}705)}{241}}$$

$$I_{p1} = 0{,}705 \pm 0{,}058$$

I_{p1} = (0,647 ; 0,763)

Detta betyder att sannolikheten för att personalen släcker en uppkommen brand i klassen ”Åldringsvård”, med ungefär 95% sannolikhet, är mellan 0,65 och 0,76.

Skattning av p_2
Totala antalet bränder: 71

$$p_2^* = \frac{X}{n} = \frac{55}{71} = 0{,}775$$

Användning av Ekvation 8 ger att normalapproximationen är giltig.

På samma sätt som konfidensintervallet för p_1 skapades fås:

$I_{p2} = (0{,}678 ; 0{,}872)$

Notera att detta intervall är nästan dubbelt så brett som intervallet för p_1, vilket beror på att färre antal bränder funnits tillgängliga.

Skattning av p_3
Totala antalet bränder: 16 st

$$p_3^* = \frac{X}{n} = \frac{13}{16} = 0{,}813$$

Normalapproximationen är inte tillämplig i detta fallet eftersom antalet bränder är för litet. Detta betyder att ingenting angående spridningen av p_3 är känt, endast dess skattade medelvärde.

Endast vårdavdelning
Vid dimensionering och riskanalyser av byggnader där åldringsvård bedrivs antas ofta bränderna uppstå inne på vårdavdelningarna. Dessa betraktas normal som de bränder, vilka utgör den största risken för patienterna. Anledningen till detta är att en vårdavdelning normalt utförs som egen brandcell. Det finns därför ett intresse av att göra denna studie mer detaljerad, d.v.s. bara undersöka bränder som börjat på en vårdavdelning då de olika sannolikheterna skattas. För att göra detta antas att alla bränder som uppstått i något av nedan angivna utrymmen räknas som bränder i vårdavdelningar:

- Förråd
- Kök
- Trapphus/Korridor
- Vardagsrum
- Sovrum/Sovsal
- Samlingslokal
- Personalutrymme

Anledning till att vardagsrum tagits med som en del av vårdavdelningen är att då brandens startutrymme angivits som vardagsrum har i 23 fall av 50 startföremålet angivits som spisen. Detta tyder på att utrymmet som avses är den gemensamhetsyta som normalt kombineras med kök i en vårdavdelning. Det kan även tänkas att med vardagsrum avses någon del av de boendes utrymmen, vilket också är en del av vårdavdelningen. Samlingslokal har betraktats som en del av vårdavdelningen eftersom det bedömts som troligt att samma utrymme som ovan (gemensamhetsutrymmet) kan ha beskrivits som samlingslokal av de som skrivit insatsrapporterna.

Givetvis går det inte att göra en indelning som stämmer med alla byggnader i kategorin åldringsvård. Om den ovan angivna definitionen på utrymmen som ingår i en vårdavdelning skiljer mycket från ett specifikt objekt bör i stället den mer generella statistiken för byggnader i gruppen åldringsvård användas (se tidigare i detta avsnitt).

Totalt antal bränder där startposition och omfattning angivits: 219 st
Antal bränder där startpositionen varit på vårdavdelningen (enligt antagandet ovan): 179 st

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	63	51	5				7
Brand i startföremålet (2)	29	25	4				
Brand i ett rum (3)	12		9	3			
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	1				1		
Brand i flera brandceller (5)	0						
Branden slocknad/släckt (6)	74	62	6				6

*Tabell 6 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (Vårdavdelning i byggnadskategorin Åldringsvård). *Förklaring finns på sida 20.*

Skattning av p_1

$$p_1^* = \frac{X}{n} = \frac{137}{179} = 0{,}765$$

Normalapproximationen är giltig.

I_{p1} = (0,70 ; 0,83)

Skattning av p_2

$$p_2^* = \frac{X}{n} = \frac{29}{42} = 0{,}690$$

Skattning av p_3

$$p_2^* = \frac{X}{n} = \frac{12}{13} = 0{,}923$$

		Omfattning vid brandförsvarets framkomst*					
Utrymme	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Förråd	5	2	2	1			
Kök	65	28	10	5	1		21
Trapphus/Korridor	9	1	3				5
Vardagsrum	50	23	5	3			19
Sovrum/Sovsal	38	7	6	3			22
Samlingslokal	9	2	3				4
Personalutrymme	3						3
Totalt	**179**	**63**	**29**	**12**	**1**	**0**	**74**

*Tabell 7 Fördelningen av bränder i vårdavdelningar. *Förklaring finns på sida 19.*

I Tabell 7 kan ses att de flesta bränder i vårdavdelningar uppstått i kök, vardagsrum eller sovrum. En tendens inom äldrevård är att göra vårdavdelningar mer öppna, d.v.s. köket, matplatsen och de boendes rum har direkt kontakt. Bara genom att studera Tabell 7 framgår

att två sätt att sänka riskerna för de boende är att dels avskilja utrymmet utanför de boendes rum från köket, samt att avskilja de boendes rum från varandra (vilket inte är krav om utformningen sker enligt en vårdavdelning). Genom dessa åtgärder skulle ett bättre skydd mot över 50% av bränderna erhållas (d.v.s. de bränder som börjat i köket och i andra vårdrum).

Sannolikheten att personalen släcker en uppkommen brand kan jämföras mellan beräkningarna då hela byggnaden innefattades och då endast vårdavdelningarna betraktades. Den skattade sannolikheten för att personalen släcker branden i det första fallet är 0,71 och i det andra 0,77. Detta tyder på att sannolikheten att personalen släcker en brand är något större om den uppstår inne i en vårdavdelning än om den uppstår på något annat ställe.

3.1.2. Sjukhus

Totalt antal registrerade bränder: 163
Antal bränder med angiven omfattning: 123

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	22	16	4				2
Brand i startföremålet (2)	23	17	6				
Brand i ett rum (3)	7	2	5				
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	0						
Brand i flera brandceller (5)	0						
Branden slocknad/släckt (6)	71	45	7				19

*Tabell 8 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (Sjukhus). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p_1	0,756	0,83	0,68
p_2	0,767	-	-
p_3	-	-	-

Tabell 9 Skattningar av parametrar, samt 95% konfidensintervall för parametern.

3.1.3. Psykiatrisk vård

Totalt antal registrerade bränder: 87
Antal bränder med angiven omfattning: 86

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	11	11					
Brand i startföremålet (2)	22	12	10				
Brand i ett rum (3)	6		4	2			
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	1				1		
Brand i flera brandceller (5)	1					1	
Branden slocknad/släckt (6)	45	29	3		2		11

*Tabell 10 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Psykisk vård). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p_1	0,628	0,73	0,53
p_2	0,688	-	-
p_3	0,600	-	-

Tabell 11 Skattningar av parametrar, samt 95% konfidensintervall för parametern.

3.1.4. Övrig vårdbyggnad

Totalt antal registrerade bränder: 114
Antal bränder med angiven omfattning: 101

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	33	31			1		1
Brand i startföremålet (2)	10	7	3				
Brand i ett rum (3)	13	2	6	3	1		1
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	1				1		
Brand i flera brandceller (5)	1	1					
Branden slocknad/släckt (6)	43	27	4		1		11

*Tabell 12 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Övrig vårdbyggnad). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p_1	0,733	0,82	0,65
p_2	0,370	-	-
p_3	0,706	-	-

Tabell 13 Skattningar av parametrar, samt 95% konfidensintervall för parametern.

3.1.5. Kriminalvård

Totalt antal registrerade bränder: 43
Antal bränder med angiven omfattning: 38

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	8	7	1				
Brand i startföremålet (2)	9	6	2		1		
Brand i ett rum (3)	0						
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	2			2			
Brand i flera brandceller (5)	2			2			
Branden slocknad/släckt (6)	17	5	11				1

*Tabell 14 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Kriminalvård). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning
p_1	0,658
p_2	0,615
p_3	0,400

Tabell 15 Skattningar av parametrar.

3.1.6. Flerbostadshus

Totalt antal registrerade bränder: 3802
Antal bränder med angiven omfattning: 2901

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	813	650	60	7	4		92
Brand i startföremålet (2)	953	611	317	11	6		8
Brand i ett rum (3)	410	14	271	116	6		3
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	160	4	26	61	67		2
Brand i flera brandceller (5)	18	3	2	1	9	3	
Branden slocknad/släckt (6)	547	261	55	7			224

*Tabell 16 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Flerbostadshus). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p_1	0,463	0,48	0,44
p_2	0,600	0,62	0,58
p_3	0,838	0,85	0,82

Tabell 17 Skattningar av parametrar, samt 95% konfidensintervall för parametern.

3.1.7. Villa

Totalt antal registrerade bränder: 4058
Antal bränder med angiven omfattning: 3741

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	828	659	103	17	21		28
Brand i startföremålet (2)	1605	1065	449	9	48	4	30
Brand i ett rum (3)	313	11	203	72	25	0	2
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	375	6	33	41	276	8	11
Brand i flera brandceller (5)	75	5	1	2	44	19	4
Branden slocknad/släckt (6)	545	303	101	10	12	0	119

*Tabell 18 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Villa). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p_1	0,351	0,37	0,34
p_2	0,636	0,66	0,62
p_3	0,469	0,49	0,45

Tabell 19 Skattningar av parametrar, samt 95% konfidensintervall för parametern.

3.1.8. Radhus/Par-/Kedjehus

Totalt antal registrerade bränder: 241
Antal bränder med angiven omfattning: 218

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	44	37	6				1
Brand i startföremålet (2)	68	47	19	2			
Brand i ett rum (3)	29	3	11	15			
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	16		3	4	9		
Brand i flera brandceller (5)	2				1	1	
Branden slocknad/släckt (6)	59	39	4	1			15

*Tabell 20 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Radhus/Par-/Kedjehus). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p_1	0,468	0,53	0,40
p_2	0,569	0,66	0,48
p_3	0,780	-	-

Tabell 21 Skattningar av parametrar, samt 95% konfidensintervall för parametern.

3.1.9. Fritidshus

Totalt antal registrerade bränder: 511
Antal bränder med angiven omfattning: 467

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	46	33	9	1			3
Brand i startföremålet (2)	143	73	55	1	14		
Brand i ett rum (3)	54	10	20	16	8		
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	169	2	3	15	138	1	10
Brand i flera brandceller (5)	20	1			11	8	
Branden slocknad/släckt (6)	35	16	8	1	3		7

*Tabell 22 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Fritidshus). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p_1	0,163	0,20	0,13
p_2	0,327	0,37	0,28
p_3	0,300	0,34	0,26

Tabell 23 Skattningar av parametrar, samt 95% konfidensintervall för parametern.

3.1.10. Fritidsgård

Totalt antal registrerade bränder: 23
Antal bränder med angiven omfattning: 18

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	1	1					
Brand i startföremålet (2)	10	4	5		1		
Brand i ett rum (3)	0						
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	2				2		
Brand i flera brandceller (5)	3				3		
Branden slocknad/släckt (6)	2	1		1			

*Tabell 24 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Fritids). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning
p_1	0,111
p_2	0,563
p_3	0,143

Tabell 25 Skattningar av parametrar.

3.1.11. Skola

Totalt antal registrerade bränder: 363
Antal bränder med angiven omfattning: 269

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	69	50	11			2	6
Brand i startföremålet (2)	74	44	23		5		2
Brand i ett rum (3)	25	1	16	7	1		
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	4			2	2		
Brand i flera brandceller (5)	6				2	4	
Branden slocknad/släckt (6)	91	52	9	1			29

*Tabell 26 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Skola). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p_1	0,584	0,64	0,52
p_2	0,616	0,71	0,53
p_3	0,628	0,69	0,57

Tabell 27 Skattningar av parametrar, samt 95% konfidensintervall för parametern.

3.1.12. Förskola

Totalt antal registrerade bränder: 51
Antal bränder med angiven omfattning: 38

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	10	10					
Brand i startföremålet (2)	17	12	5				
Brand i ett rum (3)	4		3	1			
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	3				3		
Brand i flera brandceller (5)	1				1		
Branden slocknad/släckt (6)	3	2					1

*Tabell 28 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Psykisk vård). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning
p_1	0,342
p_2	0,680
p_3	0,500

Tabell 29 Skattningar av parametrar.

3.1.13. Elevhem/Studenthem

Totalt antal registrerade bränder: 20
Antal bränder med angiven omfattning: 18

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	6	5					1
Brand i startföremålet (2)	5	2	3				
Brand i ett rum (3)	1	1					
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	1			1			
Brand i flera brandceller (5)	0						
Branden slocknad/släckt (6)	5	3	1				1

*Tabell 30 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Elevhem). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning
p_1	0,611
p_2	0,714
p_3	-

Tabell 31 Skattningar av parametrar.

3.1.14. Kommunikationsbyggnad

Totalt antal registrerade bränder: 51
Antal bränder med angiven omfattning: 34

Antal bränder som registrerats i de olika klasserna redovisas i Tabell 32.

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	8	5					3
Brand i startföremålet (2)	11	6	5				
Brand i ett rum (3)	2		2				
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	2				2		
Brand i flera brandceller (5)	0						
Branden slocknad/släckt (6)	11	4					7

*Tabell 32 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Kommunikation). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning
p_1	0,559
p_2	0,733
p_3	0,500

Tabell 33 Skattningar av parametrar.

3.1.15. Försvarsbyggnad

Totalt antal registrerade bränder: 15
Antal bränder med angiven omfattning: 14

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	2	2					
Brand i startföremålet (2)	6	4	1		1		
Brand i ett rum (3)	2				2		
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	2		2				
Brand i flera brandceller (5)	0						
Branden slocknad/släckt (6)	2	2					

*Tabell 34 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Försvarsbyggnad). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning
p_1	0,286
p_2	0,500
p_3	0,400

Tabell 35 Skattningar av parametrar.

3.1.16. Förvaltningsbyggnad/Kontor

Totalt antal registrerade bränder: 151
Antal bränder med angiven omfattning: 95

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	35	25	3	1			6
Brand i startföremålet (2)	29	16	9	2	2		
Brand i ett rum (3)	10		4	5	1		
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	2				2		
Brand i flera brandceller (5)							
Branden slocknad/släckt (6)	19	9	1				9

*Tabell 36 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Handel). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p_1	0,558	0,66	0,46
p_2	0,595	0,74	0,45
p_3	0,706	-	-

Tabell 37 Skattningar av parametrar, samt 95% konfidensintervall för parametern.

3.1.17. Kyrka/Motsvarande

Totalt antal registrerade bränder: 30
Antal bränder med angiven omfattning: 22

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	6	6					
Brand i startföremålet (2)	8	3	4		1		
Brand i ett rum (3)	2		2				
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	0						
Brand i flera brandceller (5)	1				1		
Branden slocknad/släckt (6)	5	5					

*Tabell 38 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Kyrkor mm.). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning
p_1	0,500
p_2	0,636
p_3	0,500

Tabell 39 Skattningar av parametrar.

3.1.18. Idrottsanläggning

Totalt antal registrerade bränder: 72
Antal bränder med angiven omfattning: 56

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	10	10					
Brand i startföremålet (2)	21	14	7				
Brand i ett rum (3)	7	1	4		2		
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	4				3	1	
Brand i flera brandceller (5)	0						
Branden slocknad/släckt (6)	14	9	3				2

*Tabell 40 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Idrottsanläggningar). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p_1	0,429	0,56	0,30
p_2	0,656	-	-
p_3	0,455	-	-

Tabell 41 Skattningar av parametrar, samt 95% konfidensintervall för parametern.

3.1.19. Hotell/Pensionat

Totalt antal registrerade bränder: 73
Antal bränder med angiven omfattning: 58

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	16	14	2				
Brand i startföremålet (2)	13	9	3		1		
Brand i ett rum (3)	7		6	1			
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	0						
Brand i flera brandceller (5)	1					1	
Branden slocknad/släckt (6)	21	17	1				3

*Tabell 42 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Hotell). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p_1	0,638	0,76	0,51
p_2	0,571	-	-
p_3	0,778	-	-

Tabell 43 Skattningar av parametrar, samt 95% konfidensintervall för parametern.

3.1.20. Restaurang/Danslokal

Totalt antal registrerade bränder: 136
Antal bränder med angiven omfattning: 105

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	21	19	2				
Brand i startföremålet (2)	32	22	5		5		
Brand i ett rum (3)	17		9	6	2		
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	12			1	10	1	
Brand i flera brandceller (5)	12			4	7	1	
Branden slocknad/släckt (6)	11	9	1				1

*Tabell 44 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Restaurang). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p_1	0,305	0,39	0,22
p_2	0,370	0,48	0,26
p_3	0,348	0,44	0,26

Tabell 45 Skattningar av parametrar, samt 95% konfidensintervall för parametern.

3.1.21. Teater/Biograf/Museum

Totalt antal registrerade bränder: 46
Antal bränder med angiven omfattning: 37

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	8	8					
Brand i startföremålet (2)	12	7	3				2
Brand i ett rum (3)	2		1	1			
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	3				3		
Brand i flera brandceller (5)	0						
Branden slocknad/släckt (6)	12	6	4				2

*Tabell 46 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Teater). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning
p_1	0,541
p_2	0,706
p_3	0,400

Tabell 47 Skattningar av parametrar.

3.1.22. Handel

Totalt antal registrerade bränder: 239
Antal bränder med angiven omfattning: 185

		Var släcktes branden*					
Brandens omfattning vid ankomst	**Antal bränder**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**0**
Endast rökutvecklig (1)	57	46	4				7
Brand i startföremålet (2)	71	52	13		5	1	
Brand i ett rum (3)	16	1	10	5			
Brand i flera rum (samma brandcell) (4)	6				3	1	2
Brand i flera brandceller (5)	2					2	
Branden slocknad/släckt (6)	33	22	2				9

*Tabell 48 Brandens omfattning då räddningstjänsten kommit till platsen, samt var bränderna släcktes (byggnadskategorin Handel). *Förklaring finns på sida 20.*

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p_1	0,486	0,56	0,41
p_2	0,684	0,78	0,59
p_3	0,600	-	-

Tabell 49 Skattningar av parametrar, samt 95% konfidensintervall för parametern.

3.2. Sammanfattning

I detta avsnitt kommer resultatet i kapitel 3 att sammanfattas. I kapitlet har statistik från bränder i Sverige under 1996 analyserats. En enkel modell för ett brandförlopp har konstruerats (se Figur 10). Med hjälp av modellen och statistiken kan följande sannolikheter skattas: sannolikheten för att personalen släcker en brand (p_1), sannolikheten för att en brand *inte* leder till övertändning, givet att personalen inte släcker den (p_2) samt sannolikheten att branden *inte* sprider sig till annan brandcell givet att övertändning uppstått (p_3).

I Tabell 50 sammanfattas skattningarna av p_1, p_2 och p_3. De skattningar som är gråmarkerade och kursiva har inget konfidensintervall kunnat skapas för. Detta innebär att de bör betraktas som osäkrare än de övriga skattningarna.

Byggnadskategori	p_1	p_2	p_3
Åldringsvård	0,71	0,78	*0,81*
Åldringsvård - Vårdavdelning	0,77	*0,69*	*0,92*
Sjukhus	0,76	*0,78*	-
Psykiatrisk vård	0,63	*0,69*	*0,60*
Övriga vårdbyggnader	0,73	*0,37*	*0,71*
Kriminalvård	*0,66*	*0,62*	*0,40*
Flerbostadshus	0,46	0,60	0,84
Villa	0,35	0,64	0,47
Radhus	0,47	0,57	*0,78*
Fritidshus	0,16	0,33	0,30
Fritidsgård	*0,11*	*0,56*	*0,14*
Skola	0,58	0,62	0,63
Förskola	*0,34*	*0,68*	*0,50*
Elevhem/Studenthem	*0,61*	*0,71*	-
Kommunikationsbyggnad	*0,56*	*0,73*	*0,50*
Försvarsbyggnad	*0,29*	*0,50*	*0,40*
Förvaltningsbyggnad/Kontor	0,56	0,60	*0,71*
Kyrka/Motsvarande	*0,50*	*0,64*	*0,50*
Idrottsanläggning	0,43	*0,66*	*0,46*
Hotell/Pensionat	0,64	*0,57*	*0,78*
Restaurang/Danslokal	0,31	0,37	0,35
Teater/Biograf/Museum	*0,54*	*0,71*	*0,40*
Handel	0,49	0,68	*0,60*

Tabell 50 Sammanfattning av skattade sannolikheter för olika byggnadskategorier.

I Tabell 50 kan ses att de olika byggnadskategorierna är grupperade i fem stycken grupper. Den första gruppen innehåller vårdbyggnader av olika slag, d.v.s. byggnader där det finns personer som av olika anledningar inte själva kan sätta sig i säkerhet vid brand. Den andra gruppen innehåller bostäder av olika slag och det är i denna grupp som de flesta bränderna uppstår. Grupp tre innehåller olika typer av byggnader som kan relateras till undervisning på ett eller annat sätt. Grupp fyra består av byggnader som till största delen utgör en arbetsplats för människor och grupp fem består av byggnader där den största delen av människorna vistas tillfälligt.

Vid en snabb jämförelse av dessa grupper ses att gruppen som innehåller vårdbyggnader innebär den i genomsnitt högsta sannolikheten att personalen släcker branden. Vid jämförelse med t.ex. restauranger och danslokaler så är sannolikheten att personalen släcker en brand i vårdbyggnader nästan dubbelt så stor. Denna stora skillnad behöver inte bara bero på att

personalen är bättre tränad för att släcka bränder i vårdbyggnader utan kan också bero på andra orsaker. Det har tidigare nämnts att i begreppet ”personalen släcker” innefattas även alla andra orsaker som kan få en brand att inte växa så stor att övertändning uppstår. Dessa orsaker kan till exempel vara att bränslet tar slut för branden eller att ett sprinklersystem släcker branden.

Tyvärr finns inte så detaljerad statistik att även dessa enskilda orsaker kan studeras, men med hjälp av de grova riktlinjer angående sannolikheten för olika händelser (se Tabell 50) i en *grupp* av byggnader kan i alla fall ett rimligt värde för den enskilda byggnaden erhållas. Det är med utgångspunkt från byggnadsgruppens parametervärde (p_1, p_2 och p_3) upp till ingenjören som utför dimensioneringen eller riskanalysen att motivera varför sannolikheten i den enskilda byggnaden avviker från gruppens värde. På detta sätt kan en mer realistisk bedömning av parametervärden erhållas än då enskilda ingenjörer skall ”gissa” parametervärdena utifrån sina egna referensramar och dessutom kommer troligtvis bedömningarna från två personer att skilja sig mindre eftersom gruppens värde kan användas som utgångspunkt vid bedömningen.

4. Fördelning av bränder i byggnader

I det statistikmaterial som finns tillgängligt från Räddningsverket /1/ beskrivs bland annat i vilken byggnadsdel som bränderna under 1996 har börjat. Dessa uppgifter kan användas för att underlätta bedömningen av hur fördelningen av bränder i en byggnad ser ut. Med denna fördelning menas sannolikheten att en brand börjar i en viss del av byggnaden givet att brand har uppkommit i byggnaden. Fördelningen är användbar framförallt i riskanalyser då bränder i olika delar av en byggnad vanligtvis ger upphov till olika konsekvenser, men också vid dimensionering av byggnader då fördelningen kan vara till hjälp vid val av dimensionerande bränder. I Tabell 51 och Tabell 52 presenteras en sammanställning av var bränder har uppstått under 1996. De utrymmen där brand uppstått flest gånger är gråmarkerade.

	Handel	**Teater/Biograf/Museum**	**Kyrka/Motsv.**	**Restaurang/Danslokal**	**Hotell/Pensionat**	**Försvarsbyggnad**	**Idrottsanläggningar**	**Kommunikationsbyggnad**	**Förvaltningsbyggnad/Kontor**
Inte angivet	15,5	6,5	6,7	7,4	15,1	6,7	12,5	3,9	9,3
Utomhus	5,0	2,2	10,0	8,1	2,7	13,3	4,2	7,8	11,3
Fristående förråd	0,4				2,7		8,3	2,0	
Förråd	1,7			1,5	1,4			2,0	0,7
Fristående garage							1,4	9,8	1,3
Inbyggt garage	2,5	4,3	3,3	0,7	1,4		1,4		1,3
Radgarage			6,7	1,5				2,0	
Kök	10,0	6,5	6,7	18,4	11,0	6,7	2,8	3,9	5,3
Skorsten		6,5		1,5			1,4		0,7
Pannrum	2,1	4,3		0,7	1,4		5,6	2,0	1,3
Luftbehandlingsutrymme			3,3	2,2	1,4	6,7			0,7
Soprum/Nedkast	0,4			3,7	4,1				1,3
Trapphus/korridor	2,9	2,2		4,4	1,4			3,9	
Tvättstuga					2,7		2,8		0,7
Toalett/bastu	1,3	2,2		2,9	1,4		4,2		0,7
Vardagsrum	0,8	8,7		5,1	5,5	13,3			0,7
Sovrum/sovsal					5,5				
Hall	1,3		6,7	0,7	1,4				2,0
Verkstad/Hobbyrum	0,8		3,3				2,8		2,0
Vind	0,8	2,2		1,5			1,4	2,0	5,3
Källare	1,7	2,2		2,9	2,7		1,4		0,7
Balkong/Loftgång				1,5					
Elcentral	2,1	4,3	6,7	2,2			6,9	2,0	0,7
Produktionslokal	8,8			2,9					1,3
Försäljningslokal	16,3			3,7				2,0	0,7
Samlingslokal	0,8	23,9	16,7	8,1	15,1		11,1	2,0	0,7
Personalutrymme	4,2			0,7	2,7		1,4		5,3
Kontor	0,8	2,2		0,7			2,8	3,9	14,6
Datacentral									2,6
Lastbrygga	1,3								0,7
Lager	2,5			0,7		13,3			1,3
Okänd	3,3	4,3	3,3	7,4	5,5	6,7	1,4	7,8	9,9
Annat	12,6	17,4	26,7	8,8	15,1	33,3	26,4	43,1	17,2
Antal bränder	**239**	**46**	**30**	**136**	**73**	**15**	**72**	**51**	**151**

Tabell 51 Procentuell fördelning av bränders startutrymme i allmänna byggnader (1)

Dessa fördelningar är generella och framtagna för en hel grupp av byggnader. För att skapa liknande fördelningar för den enskilda byggnaden kan antingen bedömningar angående brandfördelningen i förhållande till resten av byggnadsgruppen göras, eller så kan tillbudsstatistik från den aktuella lokalen användas för att uppdatera både brandfördelningen och brandfrekvensen i hela byggnaden. Detta förutsätter dock att det finns tillgång till bra tillbudsstatistik för det aktuella objektet.

	Sjukhus	**Åldringsvård**	**Psykiatrisk Vård**	**Kriminalvård**	**Övriga Vårdbyggnader**	**Skola**	**Fritidsgård**	**Förskola**	**Elev/Studenthem**
Inte angivet	17,8	11,5	3,4	16,3	5,3	16,5	8,7	15,7	
Utomhus	1,2	1,3				5,8		13,7	5,0
Fristående förråd		0,3	1,1			3,0	8,7	2,0	
Förråd	0,6	1,6	1,1			1,4			
Fristående garage		0,7			0,9	0,8			
Inbyggt garage		0,3			0,9	0,3			
Radgarage		0,7			0,9	0,6	4,3		
Kök	4,3	21,7	11,5		14,0	5,0	4,3	7,8	15,0
Skorsten					1,8	0,8		2,0	
Pannrum		2,0		2,3	1,8	1,4			10,0
Luftbehandlingsutrymme	0,6	0,3			1,8	1,4		2,0	
Soprum/Nedkast	1,8	1,6		2,3	2,6	1,9			10,0
Trapphus/korridor	4,3	3,9	10,3		5,3	12,4		3,9	10,0
Tvättstuga	1,2	1,6			1,8		4,3	3,9	
Toalett/bastu	10,4	0,3	5,7	2,3	3,5	3,3			
Vardagsrum	1,2	20,1	6,9	2,3	15,8	2,2	4,3	2,0	15,0
Sovrum/sovsal	16,6	13,2	36,8	41,9	19,3	0,6			15,0
Hall	0,6	0,3			2,6	1,9			5,0
Verkstad/Hobbyrum	1,2	0,7	1,1		0,9	1,9		2,0	
Vind	1,2	0,7	1,1		0,9	0,8			
Källare	2,5	1,3	1,1		0,9	3,3		3,9	10,0
Balkong/Loftgång	0,6	0,3				0,3	4,3	2,0	
Elcentral	1,8	1,6				1,9		2,0	
Produktionslokal					0,9	0,3			
Försäljningslokal								2,0	
Samlingslokal	3,1	3,9	1,1		3,5	7,2	17,4	3,9	
Personalutrymme	2,5	1,0			0,9	3,0		3,9	
Kontor	1,8	1,0				2,2			
Datacentral						0,8			
Lastbrygga	0,6								
Lager					0,9				
Upplag									
Djurstall							4,3		
Höupplag/Loge/Lada						0,3			
Cistern									
Silo									
Okänd	4,3	1,0			4,4	1,1	21,7	7,8	
Annat	19,6	6,9	18,4	32,6	8,8	17,6	17,4	19,6	5,0
Antal bränder	**163**	**304**	**87**	**43**	**114**	**363**	**23**	**51**	**20**

Tabell 52 Procentuell fördelning av bränders startutrymme i allmänna byggnader (2).

Då materialet i Tabell 51 och Tabell 52 används bör hänsyn tas till att informationen endast kommer från ett år. Detta betyder att förhållandena mellan de olika utrymmena kan ändras när flera års statistik sammanställs. Dessutom framgår av tabellerna att det är en stor del av bränderna där startutrymmen inte är angivet, vilket innebär att kvalitén på materialet blir lägre.

Då byggnader delas upp i olika områden (ofta efter brandcellsindelningen) kan det tänkas att flera typer av utrymmen finns inom ett och samma område. Om det är sannolikheten för brand inom respektive områden som är av intresse kan följande enkla viktningsmetod användas.

Viktningsmetoden går ut på att sannolikheten för brand i ett område (givet att brand uppstått i byggnaden) viktas efter vilka typer av utrymmen som finns där, samt hur stora utrymmena är. Metoden beskrivs i Ekvation 9 och innebär att även om ett område är väldigt stort i förhållande till övriga områden behöver inte sannolikheten att branden börjar där vara större eftersom den sannolikheten också beror på vilken typ av verksamhet som bedrivs i området. Metoden förutsätter att sannolikheten för brand i ett område är beroende av vilken typ av verksamhet som bedrivs där samt linjärt proportionell mot arean av området.

Ekvation 9

$$P(O_n|\text{Brand}) = \sum_i f_i \cdot \frac{A_{i,n}}{A_i}$$

där

$P(O_n|\text{Brand})$ = Sannolikheten att branden börjar i område (n) givet att brand uppkommit i byggnaden.
f_i = Andel bränder som uppkommer i utrymmen av typ (i).
A_i = Arean av alla utrymmen av typ (i) i byggnaden (m^2).
$A_{i,n}$ = Arean av utrymmena (i) i område (n) (m^2).

Exempel 3.1
Brandfördelningen i ett nästan 6000 m^2 stort varuhus skall skattas. Varuhuset består av fyra större brandceller som också blir de områden som brandfördelningen skall skattas för. Områdena innehåller följande utrymmen:

	Lager	***Kök***	***Försäljningslokal***	***Kontor***	***Personalutrymme***
Område 1	*400 m^2*		*1500 m^2*		
Område 2	*200 m^2*		*1000 m^2*		
Område 3			*1500 m^2*	*200 m^2*	*50 m^2*
Område 4		*200 m^2*		*400 m^2*	*100 m^2*
Totalt	***600 m^2***	***200 m^2***	***4000 m^2***	***600 m^2***	***150 m^2***

Fördelningen mellan de olika typerna av utrymmen blir (genom att använda Tabell 51 och kategorin Handel):

Utrymme (i)	***f_i***
Lager	*0,074*
Försäljningslokal	*0,482*
Kontor	*0,024*
Personalutrymme	*0,124*
Kök	*0,296*

$$P(O_1|Brand) = \sum_i f_i \cdot \frac{A_{i,1}}{A_i} = 0{,}074 \cdot \frac{400}{600} + 0{,}482 \cdot \frac{1500}{4000} = 0{,}230$$

$$P(O_2|Brand) = \sum_i f_i \cdot \frac{A_{i,2}}{A_i} = 0{,}074 \cdot \frac{200}{600} + 0{,}482 \cdot \frac{1000}{4000} = 0{,}145$$

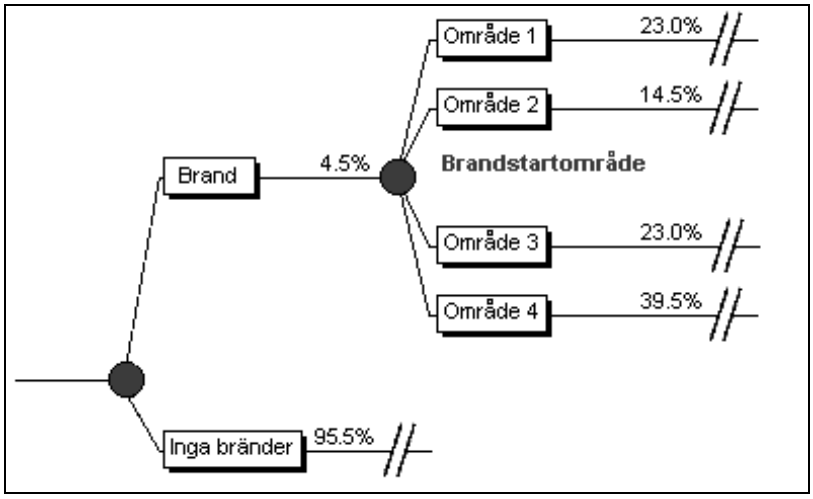
$$P(O_3|Brand) = \sum_i f_i \cdot \frac{A_{i,3}}{A_i} = 0{,}482 \cdot \frac{1500}{4000} + 0{,}024 \cdot \frac{200}{600} + 0{,}124 \cdot \frac{50}{150} = 0{,}230$$

$$P(O_4|Brand) = \sum_i f_i \cdot \frac{A_{i,4}}{A_i} = 0{,}296 \cdot \frac{200}{200} + 0{,}024 \cdot \frac{400}{600} + 0{,}124 \cdot \frac{100}{150} = 0{,}395$$

Brandfördelningen för byggnaden blir alltså:

Område (n)	***P(O$_n$|Brand)***
Område 1	*0,230*
Område 2	*0,145*
Område 3	*0,230*
Område 4	*0,395*

I en riskanalys där händelseträd används är brandfördelningen vanligtvis en av de första sannolikhetsnoderna. Ett exempel på en sådan kan ses i Figur 11.



Figur 11 Början på ett händelseträd.

I Figur 11 kan ses att grenarna för brandfördelningen visas ”avklippta”. Syftet med figuren är inte att beskriva hela händelseträdet, utan endast att visa ett exempel på hur brandfördelningen kan användas i en riskanalys.

5. Brandtekniska system

Normalt förutsätts de brandtekniska systemen i en byggnad fungera, men eftersom inget system är 100% säkert kan detta leda till en överskattning av säkerheten i byggnaden. Därför bör även osäkerheter vad gäller funktionen hos de brandtekniska systemen beaktas vid projektering av, samt riskanalys i, en byggnad.

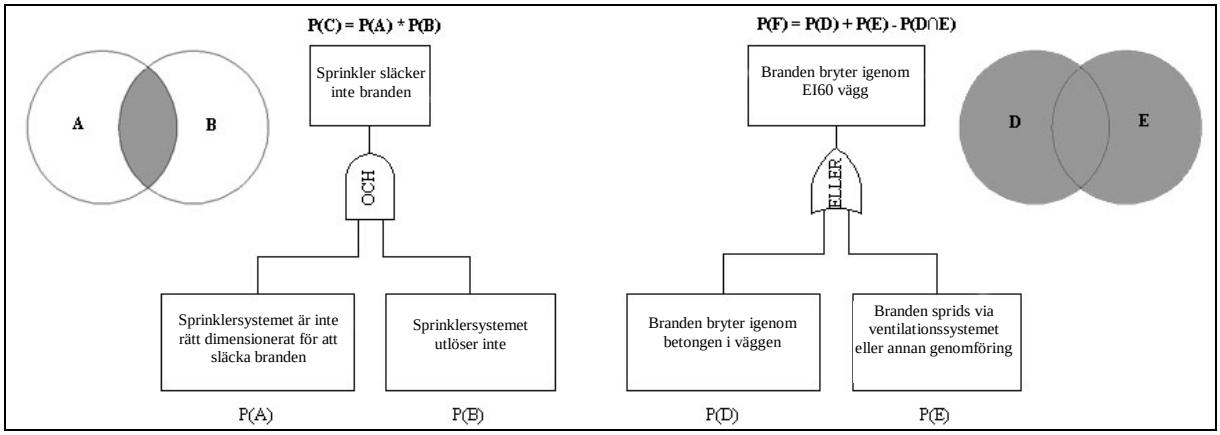
Ett vanligt sätt att beskriva felsannolikheten för ett system (eller en specifik funktion) är att analysera de olika händelser som leder fram till att systemet inte fungerar som det är tänkt. En teknik för detta kallas felträds-metodik och innebär just att olika händelser som leder fram till att systemet felar analyseras var för sig med avseende på tillförlitlighet. Därefter tas hänsyn till hur de olika delarna i systemet samverkar för att räkna ut en total felsannolikhet för systemet. Detta görs normalt i vad som kallas ett felträd.

5.1. Felträdsanalys

Som namnet antyder syftar analysen till att erhålla information om ett fel, eller en avvikelse från normal funktion i ett system. Felträdsanalysen kan dock också användas för att analysera en normal betingelse i ett system, om hänsyn till detta tas när felträdet skapas.

Felträdet bygger på så kallade logiska grindar av ”OCH”- samt ”ELLER”- typ. Dessa grindar beskriver hur de olika delhändelserna påverkar sluthändelsen, eller topphändelsen som den också kan kallas. I Figur 12 kan två exempel på felträd ses. Ett av träden innehåller en ”och”-grind och det andra en ”eller”-grind. I figuren visas också två Venn diagram, vars skuggade delar representerar topphändelsen i respektive träd. En viktig sak är att i dessa felträd förutsätts händelse A och B samt D och E vara oberoende.

Om händelse D och E förutom att vara oberoende också skulle vara ömsesidigt uteslutande (de kan inte inträffa samtidigt) så kan den sista subtraktionen av snittet mellan D och E uteslutas ur beräkningen (se Figur 12).



Figur 12 Exempel på två stycken felträd med ”och”-, samt ”eller”-grind. Bredvid träden syns två Venn diagram vars skuggade yta symboliserar topphändelsen.

Vid riskanalyser kan felträdsanalys användas för att t.ex. beräkna ett sprinklersystems tillförlitlighet. Försiktighet bör iakttas när ordet tillförlitlighet används. Det är mycket viktigt att definiera vilken funktion som avses när tillförlitligheten beräknas. Till exempel så kan frasen ”tillförlitligheten hos sprinklersystemet är 95%” innebära att en uppkommen brand släcks med 95% sannolikhet, men det kan också innebära att i 95% av bränderna appliceras

vatten på branden, men branden släcks nödvändigtvis inte. Därför bör en klar definition av vad som avses med ordet tillförlitlighet ges innan beräkningarna genomförs.

I de följande avsnitten i detta kapitel har information från en mängd olika publikationer sammanställts. Det är inte alla som presenterar klara definitioner på vad som avses med tillförlitlighet, men i de fall som en förklaring finns återges den i samband med tabellen.

5.2. Detektionssystem

De tillförlitlighetsdata som är sammanställda för detektionssystem gäller för olika typer av detektorer och brandlarmssystem. Då tillgången på information inom detta område är begränsad bör de data som presenteras här inte användas som strikta regler för hur säker ett system är utan bör betraktas som ett hjälpmedel då tillförlitligheten hos ett system skall bedömas.

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

Tabell 53 Felsannolikheter (per detektor)för två typer av detektorer /9/.

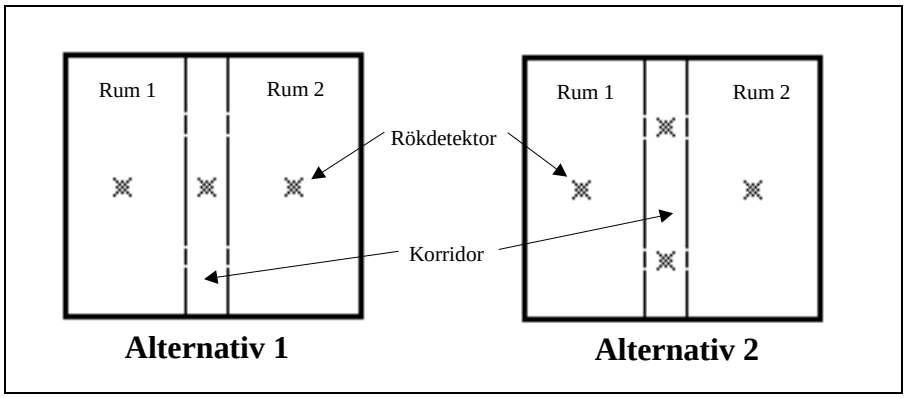
Servicenivå	**Felsannolikhet (vid behov)**
Service enligt standard utförd av godkänd firma.	0,03
Service, ej enligt standard utförd av godkänd firma.	0,076
Service utförd av ej godkänd firma.	0,147

Tabell 54 Falsannolikheten för ett brandlarmssystem beroende på servicenivån /10/.

Detektor typ	**Felsannolikhet, Ref /11/, /12/**	**Konventionella detektorsystem, ref /13/ (Sverige)**	**Moderna detektorsystem (Sverige)**
Testintervall	*Vart tredje år*	*En gång per år*	*Var 5:e sekund*
Värmedetektor	0,086	0,0003	2,3E-7 (ref /14/)
Rökdetektor	0,13	Joniserande = 0,0065 Optisk = 0,0242	2,3E-7 (ref /14/)
Flamdetektor	0,242	0,0002	7,2E-7 (ref /15/)

Tabell 55 Felsannolikheter (per behov och detektor) för olika detektortyper från /16/.

I Tabell 53 visas felsannolikheten för en detektor. Denna information är hämtade ur BSI-guiden /9/. I stället för att som BSI-guiden redovisa felsannolikheten för en detektor redovisar Moore /10/ (se Tabell 54) felsannolikheten som funktion av servicenivån för ett helt brandlarmssystem. Detta betyder att en analys som utförs med Moores värden kommer att vara grövre eftersom hänsyn inte kan tas till hur många detektorer som kan tänkas detektera branden i ett tidigt stadium.



Figur 13 Två utfromningsalternativ för rökdetektorer.

Till exempel kan nyttan av en extra detektor i ett utrymme vara av intresse och om Moores värden används finns endast felfrekvensen för hela systemet tillgänglig, vilket inte räcker för att beräkna nyttan med den extra detektorn. Som exempel kan Figur 13 studeras. I alternativ 1 är sannolikheten för att brand i ett av de två rummen (korridoren räknas inte som ett rum) inte upptäcks förrän den spritt sig till båda rummen lika med 0,01 ($0{,}1^2$) om felsannolikheten för detektorerna antas vara 0,1 vid behov. Alternativ 2 innebär att sannolikheten att branden inte upptäcks förrän den spridit sig till det andra rummet har sänkts till 0,001 ($0{,}1^3$). Sådana jämförelser är inte möjliga då felsannolikheter som är baserade på hela systemets felsannolikhet används (t.ex. Tabell 54). Fördelen med Tabell 54 gentemot övriga felsannolikheter i detta avsnitt är att tabellen ger en möjlighet att värdera servicenivån för ett brandlarmssystem som helhet.

I /16/ finns intressanta uppgifter om felfrekvenser hos moderna detektorer (som testas kontinuerligt under drift). Det visar sig att felsannolikheten är mycket liten för dessa system ($2{,}3E^{-7}$ för rökdetektorer), vilket är mycket säkert. Huruvida sådana moderna system löper större sannolikhet att drabbas av fel på andra ställen än i detektorerna framgår inte, men om de nya systemen är så mycket bättre än de gamla som dessa värden antyder råder det ingen tvekan om att den totala risknivån i en byggnad sänks betydligt då ett nytt brandlarm installeras. Den information som presenteras här är dock inte tillräcklig för att dra några slutsatser om detta, varför tolkningen av informationen lämnas åt läsaren.

5.3. Sprinklersystem

Den litteratur som undersökts i denna rapport redovisas i regel en hög tillförlitlighet för sprinklersystem. De flesta undersökningar rapporterar att tillförlitligheten är över 95% och det är inte ovanligt med 99% tillförlitlighet. Trots denna höga tillförlitlighet bör möjligheten att ett sprinklersystem inte fungerar inkluderas i en analys av en byggnad eftersom ett icke fungerande sprinklersystem ofta får mycket allvarliga konsekvenser, speciellt i byggnadsutformningar där andra brandtekniska skyddsåtgärder minskats till följd av sprinklerinstallationen.

I /17/ redovisas Tabell 56 för sprinklersystems tillförlitlighet som den rapporterats från olika organisationer.

Källa	Period	Tillförlitlighet (%)
Industrial Risk Insurers	1975-1992 helsprinklat	98
Industrial Risk Insurers	1975-1992 delsprinklat	92
NFPA	1925-1969	96,2
Department of Energy (DOE)	1952-1980	98,2
Australien och Nya Zeeland	1886-1968	99,8
Australien och Nya Zeeland	1968-1977	99,3
England (Fire and loss statistics)	1965-1969	91,8
England (Fire and loss statistics)	1966-1972	78,2

Tabell 56 Tillförlitlighetsdata för sprinklersystem såsom det redovisas i /17/.

I Tabell 56 visas tillförlitlighetsdata från en mängd källor. Denna information presenteras i /17/, där det också framgår att med tillförlitlighet avses en kombination av att systemet utlöst samt att branden begränsats eller bekämpats. I Australien och Nya Zeeland har det under en lång tid funnits bra rutiner för rapportering av bränder, vilket enligt /17/ kan vara en trolig orsak till den höga tillförlitligheten för sprinklersystem i dessa länder. I andra länder där rapporteringen inte varit lika bra kan det tänkas att många av de små bränder som släckts av sprinklersystemet inte rapporterats och på så sätt skattas tillförlitligheten hos sprinklersystemet som lägre än vad den egentligen är.

I Tabell 57 redovisas olika anledningar till felfunktion hos sprinklersystem. Uppgifterna kommer från /18/ och baseras på analys av 3134 bränder mellan 1925 och 1969 som rapporterats till NFPA där sprinklersystemet inte fungerat.

Problemkategori	Procentandel	Typ av fel	Procentandel
Driftsduglig anläggning kunde inte upprätthållas	53,4	Vatten avstängt Otillräckligt underhåll Hinder i vattentillförseln Systemet fruset	35,4 8,4 8,2 1,4
Systemet ej tillräckligt för existerande brandrisk	23,7	Systemet inte tillräckligt för brandrisken i området Systemet konstruerat som delskydd Föråldrat system	13,5 8,1 2,1
Fel i större system	15,9	Otillräcklig vattentillförsel Felaktig byggnadskonstruktion	9,9 6,0
Fel i sprinklersystem	3,5	Sprinkler öppnade för sent Felaktig torrörsventil	1,8 1,7
Övrigt	3,6	Utvändig Brand Övrigt eller okänt	1,7 1,9

Tabell 57 Anledning till felfunktion hos sprinklersystem. Uppgifterna är redovisade i /18/ och kommer ifrån 3134 bränder som rapporterats till NFPA (1925-1969). 75% av bränderna uppstod i industriella anläggningar.

I Tabell 58 redovisas resultat från ytterligare några undersökningar angående sprinklersystems tillförlitlighet.

Undersökning utförd av	Land	Antal bränder	Årtal	Tillförlitlighet (%)
Rutstein och Gilbert /19/	Storbritannien	15000	1967-1973	95
Young /20/	Storbritannien		1978-1982	98,5
Stirland /21/	Storbritannien			95
Marryatt /22/	Australien			99
Fire Protection Association /23/	USA			98,5
Belles /24/	USA			96*

Tabell 58 Tillförlitlighetsdata från ett antal sprinklerundersökningar.
**Gäller bostadssprinkler.*

Siu och Apostolakis /25/ presenterar information angående sprinklersystem i industrier. Förutom att bara ange att systemet inte fungerat anges också orsaken till felfunktionen för olika industrikategorier (se Tabell 59).

Verksamhet	Incidenter	Inget vatten	Långsam aktivering	Ventil fel	Underhåll	Diverse	Inte tillämpligt	Totalt	Tillförlitlighet
Drycker, Eterisk olja	543	17	0	1	3	1	42	22	0,96
Kemikalier	4147	33	3	3	12	5	142	56	0,99
Fiber produkter	539	6	0	2	2	0	15	10	0,98
Livsmedel	2484	43	2	1	12	5	70	63	0,97
Glas produkter	519	8	0	0	3	0	12	11	0,98
Läder produkter	2864	43	2	4	9	3	53	61	0,98
Metall produkter	9807	91	6	6	29	6	167	138	0,99
Mineral produkter	394	10	0	0	1	0	8	11	0,97
Pappers produkter	7147	75	2	2	23	4	128	106	0,99
Gummi produkter	1489	21	1	1	5	0	33	28	0,98
Textiler, tillverkning	16119	109	5	3	50	8	116	175	0,99
Textiler, bearbetning	6527	52	5	1	7	6	56	71	0,99
Trä produkter	5353	137	16	14	24	8	293	199	0,96
Diverse	9013	146	3	0	27	0	89	176	0,98
Totalt	66945	791	45	38	207	46	1224	1127	0,98

Tabell 59 Tillförlitlighetsdata för sprinkler enligt /25/. Tillförlitlighet är sannolikheten för att sprinklersystemet skall fungera (1-(Totalt / Incidenter)).

I Tabell 59 är tillförlitlighet den skattade sannolikheten att systemet lyckas begränsa branden. Genom att dividera antal tillfällen då sprinklersystemet inte fungerat tillfredsställande (kolumnen Totalt) med totala antalet incidenter (kolumnen Incidenter) fås den skattade sannolikheten för att systemet inte skall fungera. Tillförlitligheten räknas ut genom att beräkna komplementet till att systemet inte fungerar.

British Standards Institution anger i /9/ att sannolikheten för att ett sprinklersystem *inte* fungerar är **0,05** vid behov. Denna publikation är ännu inte en standard (1998).

5.4. Passiva skyddssystem

Om de aktiva skyddssystemen (sprinkler, personal mm.) misslyckas i sina försök att släcka branden finns möjligheten att branden ändå blir begränsad på grund av de passiva skyddssystemen. Med passiva skyddssystem menas de byggnadskonstruktioner som delar in en byggnad i brandceller.

En brandcell uppfyller sin funktion genom att brandmotståndet i konstruktionen är större än den brandpåverkan som konstruktionen utsätts för. Detta betyder att även om en brandcellsgräns är korrekt utförd kan en kraftigare brand än vad brandcellsgränsen är dimensionerad för bryta igenom gränsen. Det kan också tänkas att en brand bryter igenom brandcellen på grund av felaktigheter i brandcellgränsen (t.ex. öppna dörrar eller oisolerade genomföringar). I /26/ föreslås maximala funktionssannolikheter för diverse brandtekniska kostruktioner (se Tabell 60). Dessa värden är generella, vilket innebär att om mer specifika uppgifter finns att tillgå bör dessa användas.

Typ av konstruktion	**Funktionssannolikhet**	
	Inte övertändning	Övertändning
Utan dokumenterat brandmotstånd, ingen öppning (ex. innervägg i kontor)	0,80	0,50
Med brandmotstånd, ingen öppning	0,95	0,95
Utan dokumenterat brandmotstånd, öppningar utan automatiska dörrstängare	0,60	0,30
Med brandmotstånd, öppningar med automatiska dörrstängare	0,90	0,90

Tabell 60 Maximala funktionssannolikheter hos olika typer av konstruktioner enligt /26/.

I /27/ har problemet med dörrar i brandcellsgränser som hindrats från att stänga studerats. I Tabell 61 redovisas resultatet från den undersökningen.

Byggnad	**Totalt antal dörrar**	**Hindrade från att stänga (%)**
Kontor	7055	18
Industri	22491	15
Lager	1010	37

Tabell 61 Undersökning av dörrar hindrade från att stänga /27/.

Som synes ovan har inte speciellt mycket, eller detaljerad information angående funktionssannolikheten för passiva system kunnat identifieras. Viss hjälp vid bedömning av passiva systems tillförlitlighet kan fas genom att studera avsnitt 3 som handlar om brandförlopp. Där finns skattningar av sannolikheten för att en brand skall spridas från den brandcell där den uppstått till andra brandceller redovisade. I många fall är dock mängden bränder så liten att osäkerheten i resultatet är stor.

6. Bränder som orsakat personskador

I detta kapitel finns en sammanställning över de bränder som orsakat personskador under 1996. Denna information kan vara användbar vid projektering då så kallade dimensionerande brandscenarier skall väljas. I det fallet kan den projekterande ingenjören få en uppfattning om i vilka utrymmen som bränder medför störst sannolikhet för personskada.

Tabellerna nedan är uppdelade i byggnadskategorier (bostäder ingår ej) och inom de olika kategorierna kan brandens startutrymme, antal bränder, och grad av skada på personerna skiljas ut. Endast de byggnadskategorier där fler än fem personer skadats (eller dödats) visas i tabellerna.

Startutrymme	Antal bränder	Antal döda	Antal svårt skadade	Antal lindrigt skadade
Inte angivet	1			1
Förråd	1			1
Kök	3		2	2
Vardagsrum	5		2	14
Sovrum/sovsal	10	1		17
Balkong/loftgång	1	1		
Annat	2		2	8

*Tabell 62 Antal döda och skadade vid brand i byggnadskategorin **Åldringsvård**.*

Startutrymme	Antal bränder	Antal döda	Antal svårt skadade	Antal lindrigt skadade
Trapphus/Korridor	1			4
Sovrum/sovsal	4			5

*Tabell 63 Antal döda och skadade vid brand i byggnadskategorin **Sjukhus**.*

Startutrymme	Antal bränder	Antal döda	Antal svårt skadade	Antal lindrigt skadade
Inbyggt garage	1			1
Hall	1			8
Kök	1			1
Försäljningslokal	1			3
Personalutrymme	1			1

*Tabell 64 Antal döda och skadade vid brand i byggnadskategorin **Handel**.*

Startutrymme	Antal bränder	Antal döda	Antal svårt skadade	Antal lindrigt skadade
Sovrum/Sovsal	3			9
Annat	2			7

*Tabell 65 Antal döda och skadade vid brand i byggnadskategorin **Kriminalvård**.*

Startutrymme	Antal bränder	Antal döda	Antal svårt skadade	Antal lindrigt skadade
Annat	2			6

*Tabell 66 Antal döda och skadade vid brand i byggnadskategorin **Psykisk vård**.*

Startutrymme	Antal bränder	Antal döda	Antal svårt skadade	Antal lindrigt skadade
Inte angivet	1			1
Kök	3	1	1	3
Trapphus/korridor	1	1		1
Tvättstuga	1			1
Vardagsrum	1			1
Sovrum/sovsal	5	2		5

*Tabell 67 Antal döda och skadade vid brand i byggnadskategorin **Övrig vårdbyggnad**.*

Startutrymme	Antal bränder	Antal döda	Antal svårt skadade	Antal lindrigt skadade
Inbyggt garage	1			1
Sovrum/sovsal	1			1
Källare	1			4

*Tabell 68 Antal döda och skadade vid brand i byggnadskategorin **Skola**.*

Trots att mängden statistik är ganska mager så kan det ses att bränder med personskador i vårdbyggnader (sjukhus, åldringsvård, övrig vårdbyggnad, psykisk vård och kriminalvård) ofta uppkommer i sovrum/sovsal. Detta resultat innebär troligtvis ingen överraskning för läsaren eftersom patienterna med stor sannolikhet är beroende av personal för att kunna utrymma ur vårdrummet. Om det skulle uppstå en brand i vårdrummet är det sannolikt att patienten blir påverkad av röken innan personalen kan evakuera denne. Det kan också noteras att trots att mer än en tredjedel av bränderna på vårdavdelningar i byggnader som tillhör kategorin Åldringsvård uppstår i köket (se kapitel 3) så är det endast i tre av dessa bränder som någon person skadats. Detta kan vara en indikation på att köksbränderna i regel är isolerade från vårdrummen och de boende eller att bränderna normalt inte växer sig speciellt stora. Vilken orsak som ger upphov till detta går inte att urskilja i statistiken.

Eftersom personskador i samband med bränder inte är speciellt vanliga (förutom i bostäder) behövs tillgång till information om en stor mängd bränder. Eftersom den tillgängliga statistiken endast omfattar 1996 kan inga slutsatser angående sannolikheten för personskada vid en brand i en specifik byggnadstyp och utrymme dras. Då en större mängd statistik blir tillgänglig kommer troligtvis de brandstartutrymmen som innebär störst sannolikhet för personskada att kunna identifieras. Dessutom borde det vara möjligt att på samma sätt som i kapitel 3 beräkna en sannolikhet för personskada givet ett av de delscenarier som visades i Figur 10.

7. Bränders tillväxthastighet i affärer

En viktig variabel vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering är brandtillväxthastigheten. En ofta förekommande modell över brandeffektutvecklingen i det tidiga brandförloppet är den så kallade αt^2-modellen. Denna modell innebär att brandeffekten antas vara proportionell mot tiden i kvadrat (se Ekvation 10).

Ekvation 10

$$Q(t) = \alpha * t^2$$

I Ekvation 10 är Q(t) brandeffekten (kW) som funktion av tiden, α är brandtillväxthastigheten (kW/s^2) och t är tiden från brandstart.

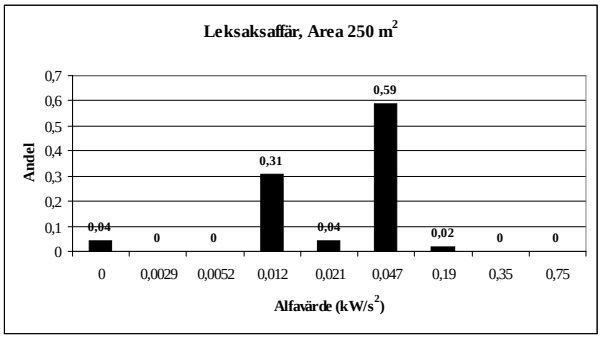
I /28/ har α variabelns fördelning i ett antal affärer undersökts. Undersökningen har utförts genom visuell besiktning av lokalerna. Vid besiktningen har de olika materialen i butiken delats in i följande grupper:

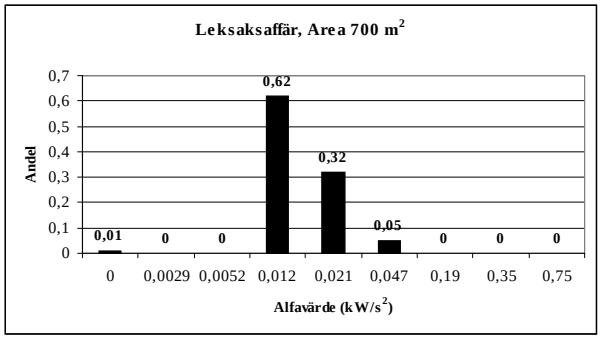
- Textilier av konstfibrer
- Textilier av naturmaterial
- Textilier av blandat material
- Papper/Kartong
- Mjukplast
- Hårdplast
- Skumplast
- Trävaror
- Obrännbart material
- Brandfarliga varor
- Övrigt
- Möbler med träram och fyllning av PUR-skum
- Möbler med träram och fyllning av PUR-skum (flamskyddsbehandlade)
- Möbler av metall med tunn dyna

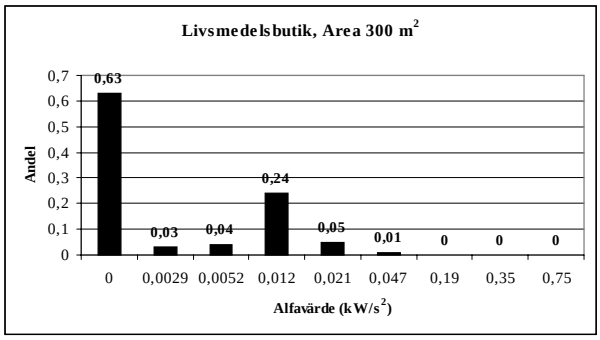
Då brandtillväxthastigheten för de olika varorna skall bedömas antas förutom varugrupp också packningsgrad, placering av varorna samt ytskikt i butiken att påverka brandtillväxthastigheten. Följande α-värden har använts:

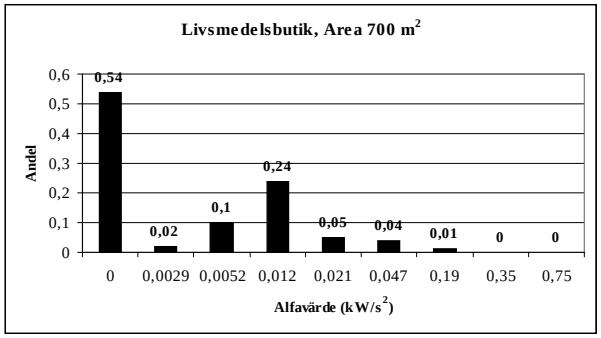
- $\alpha = 0\ kW/s^2$
- $\alpha = 0{,}0029\ kW/s^2$
- $\alpha = 0{,}0052\ kW/s^2$
- $\alpha = 0{,}012\ kW/s^2$
- $\alpha = 0{,}021\ kW/s^2$
- $\alpha = 0{,}047\ kW/s^2$
- $\alpha = 0{,}19\ kW/s^2$
- $\alpha = 0{,}35\ kW/s^2$
- $\alpha = 0{,}75\ kW/s^2$

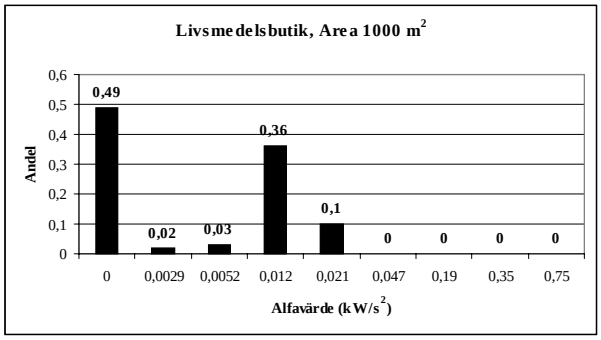
Under oktober 1998 besöktes 15 affärer och fördelningen av α-värden registrerades. Affärerna var placerade i Lund, Malmö och Stockholm och de hade en ungefärlig butiksarea av 300, 600 respektive 900 m^2. Alfavärdets fördelning i de olika butikerna redovisas på denna och nästa sida.

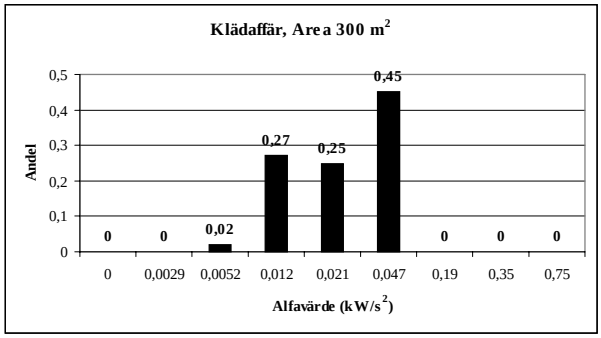


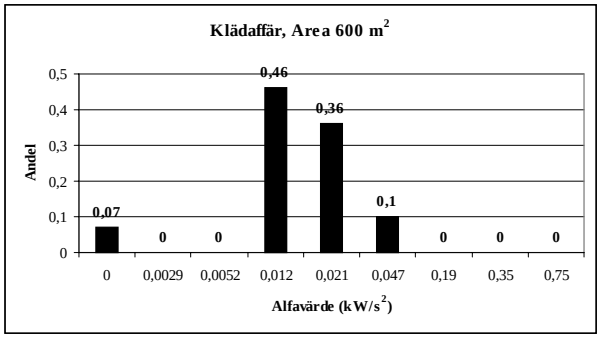


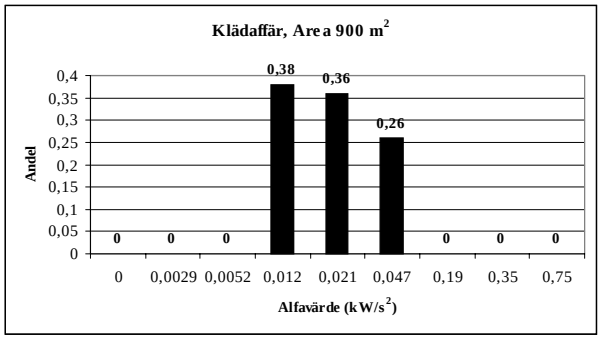


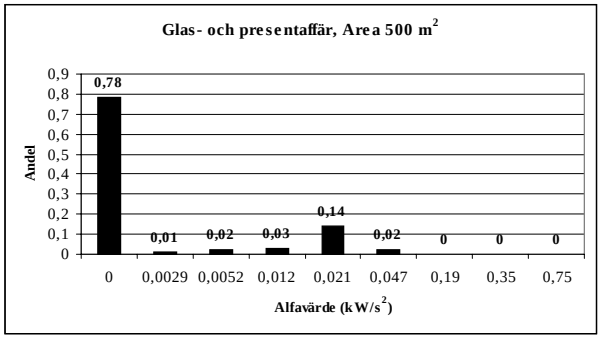


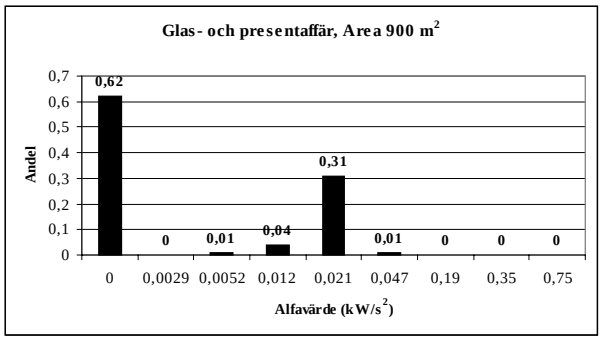


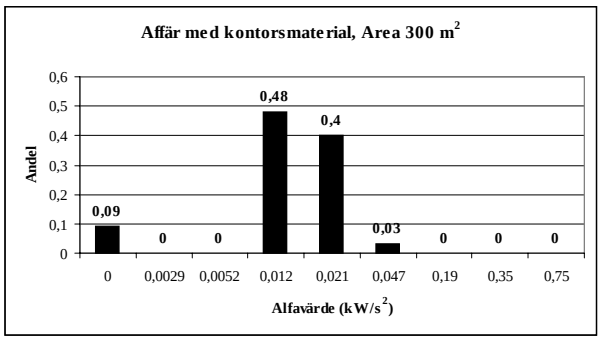


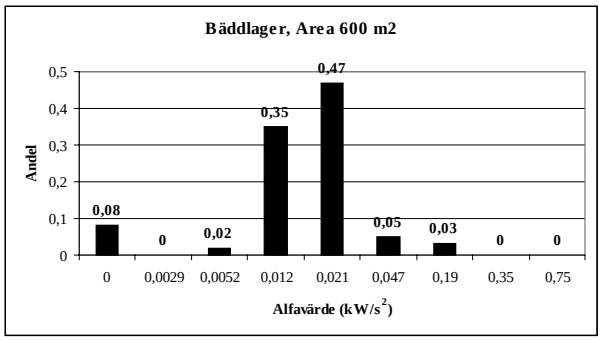


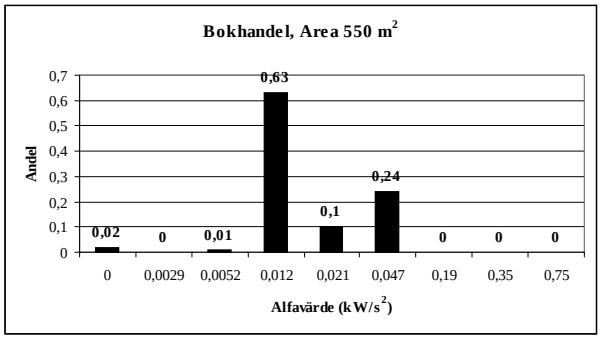


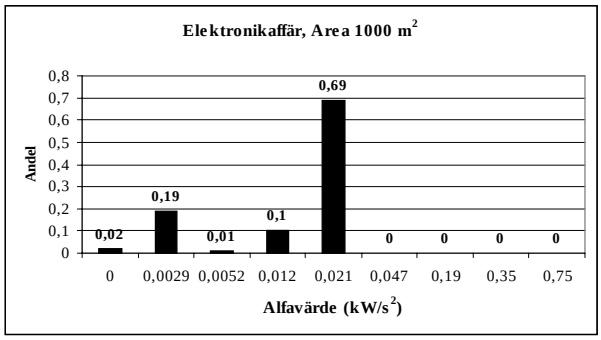


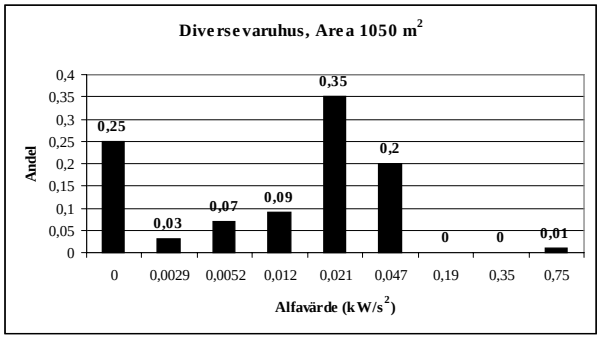


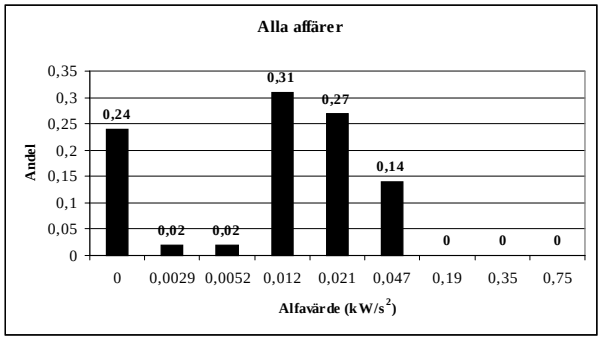












Då endast 15 affärer har undersökts är underlaget för litet för att dra några slutsatser angående α-värdets fördelning i olika typer av affärer, dessutom innefattar undersökningen inte några försök där skattningen av α-värden har verifierats. Trots detta kan i alla fall några trender i det material som insamlats noteras. Det verkar som om α-värdet i leksaksaffärer och klädaffärer är koncentrerat till grupperna 0,012, 0,021 och 0,047 kW/s^2, medan livsmedelsbutiker har en fördelning som är förskjuten mot lägre α-värden. En stor del av livsmedelsbutikernas α-värden är 0, vilket innebär att en stor del av varorna i denna typ av butik är obrännbara.

8. Persontäthet i affärer

Då brandtekniska beräkningar utförs i byggnader mäts konsekvensen av en brand ofta i antal personer som utsätts för kritiska förhållanden eller antal personer som dör. Vid sådana beräkningar är det viktigt att veta hur många personer som kan tänkas befinna sig i de olika lokalerna vid brandens utbrott. För att bedöma antalet kan persontätheten i den aktuella typen av lokal tillsammans med arean av lokalen användas för att skatta antalet personer.

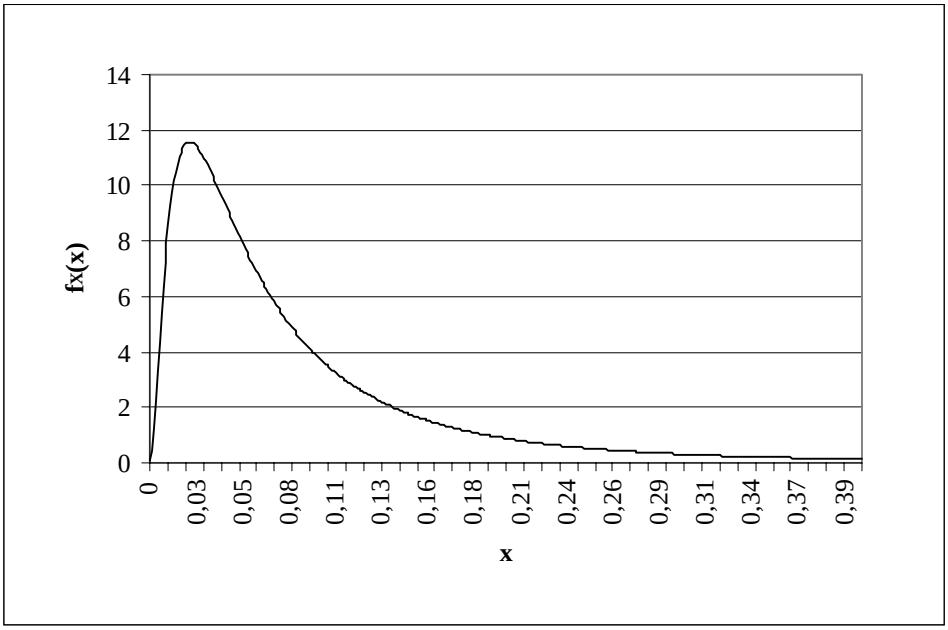
I Boverkets byggregler /29/ anges en persontäthet på 0,5 pers/m^2 nettoarea som ett råd då verksamheten i lokalen är detaljhandel. Under 1998 har ett examensarbete på vid Brandingenjörslinjen behandlat bland annat persontäthet i varuhus /28/.

I examensarbetet har persontätheten i 3 köpcentrum samt 30 Konsumbutiker i Sverige kontrollerats vid olika tidpunkter och olika dagar för att kunna skatta en fördelning över persontätheten.

I arbetet definieras nettoarean som butiksarean (fast inredning ingår i denna area).

8.1. Konsumbutiker

De 30 Konsumbutiker som undersökts är placerade i Stockholmsområdet. Under två veckor registrerades antalet kunder i butikerna och med hjälp av antaganden angående tiden som kunderna vistas i butiken (samt öppettiderna) kunde fördelningar för persontätheten i tre storlekstyper av butiker skapas. De tre storlekar som valts ut är cirka 300 m^2, cirka 600 m^2 och cirka 900 m^2.



Figur 14 Fördelning av persontätheten per nettoarea (x) i konsumbutiker med ungefär 300 m^2 nettoarea /28/.

Efter att persontätheten mätts anpassades en lognormalfördelning till värdena. Lognormalfördelningen valdes därför att dess utseende passar med vad som kan förväntas av persontätheten, nämligen många tillfällen med ganska få personer i butiken samt endast ett fåtal tillfällen med väldigt mycket folk i butiken. I Figur 14 återges den resulterande fördelningen för butiker med ungefär 300 m^2 nettoarea. De andra fördelningarna (600 m^2 och

900 m^2) är mycket lika fördelningen för 300 m^2 butikerna, vilket sannolikt innebär att butiksstorleken (i detta intervall) inte har någon betydelsefull effekt på persontätheten i butiken. Det kan tyckas rimligt att lognormalfördelningarna skall trunkeras, d.v.s. persontätheten kan inte vara hur stor som helst (vilket är fallet då en icke trunkerad lognormalfördelning används). Ett rimligt övre värde för persontätheten kan t.ex. vara 2 personer per kvadrameter.

Butikstorlek (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

Tabell 69 Medelvärde och standardavvikelse för persontätheten i butikerna.

I Tabell 69 redovisas medelvärde och standardavvikelse för lognormalfördelningarna som representerar fördelningen av persontätheten i konsumbutikerna.

8.2. Köpcentrum

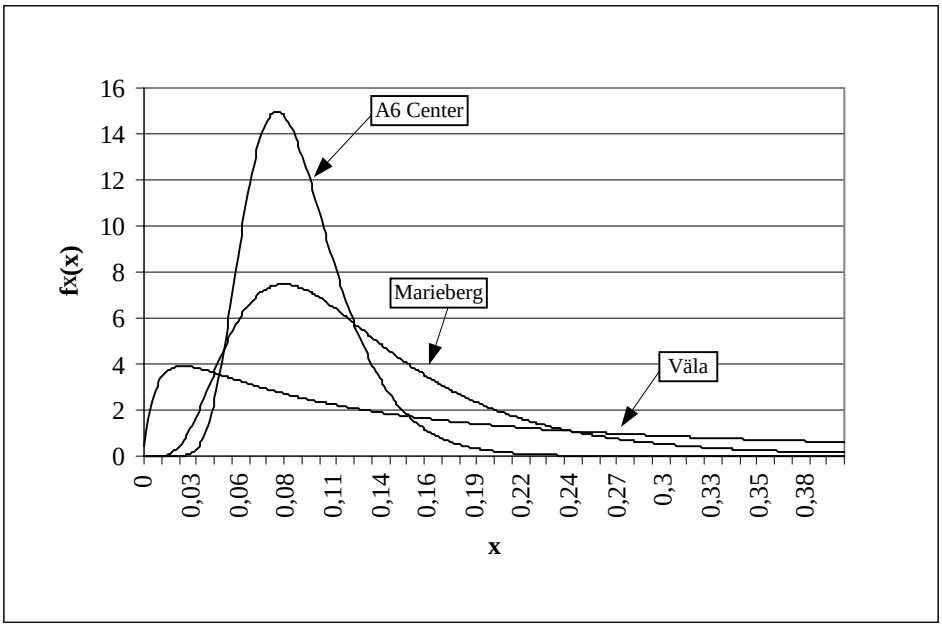
Den största skillnaden mellan Konsum-butikerna och de köpcentrum som undersökts är att i konsumbutikerna är det endast en butik som kunderna vistas i, men i köpcentrumen finns det flera butiker. Dessutom upptas vissa ytor i köpcentrena inte av butiker utan är endast till för att personer skall kunna förflytta sig mellan butiker.

De tre köpcentrum som undersökts är A6 center i Jönköping, Mariebergs centrum i Örebro och Väla centrum.

A6 center har en bruttoarea på 47000 m^2 och en total nettoarea (tillgänglig för allmänheten) på 32800 m^2. Centret består av fyra större butiker; Obs!, B&W, IKEA och en fackhandel.

Mariebergs centrum har en nettoarea på 22800 m^2.

Väla centrum har en bruttoarea på 40000 m^2 och en nettoarea på 30000 m^2.



Figur 15 Skattade lognormalfördelningar för persontätheten (X) i tre köpcentrum.

Vid skattning av fördelningarna för persontätheten i de olika köpcentrena tas hänsyn till att vissa av årets veckor (t.ex. mellandagsrea) innebär en större personbelastning än andra.

Resultatet från undersökningen blir de lognormalfördelningar som redovisas i Figur 15. Medelvärde och standardavvikelse redovisas i Tabell 70.

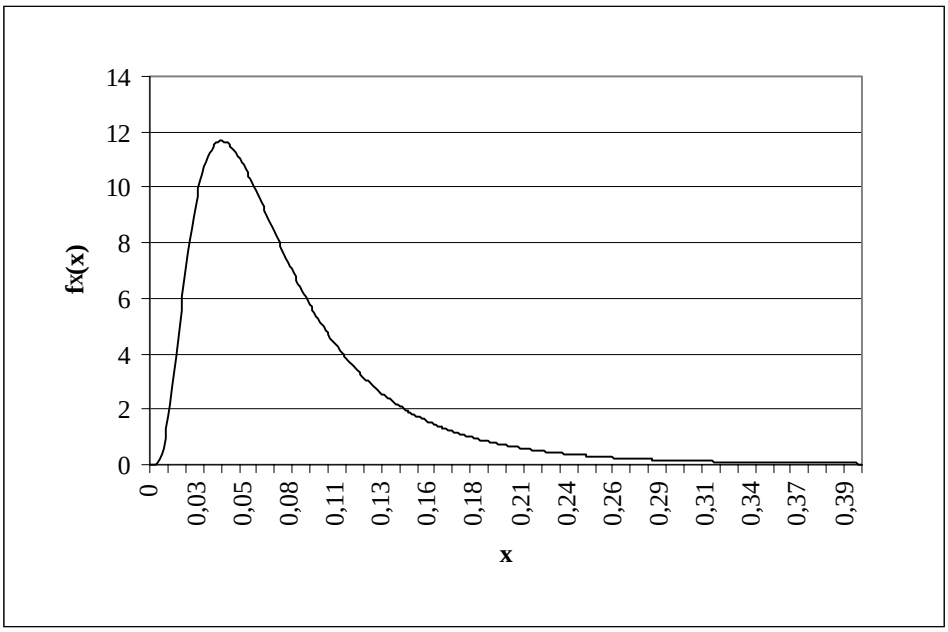
	Persontäthet (pers / m^2)	
Köpcentrum	**Medelvärde**	**Standardavvikelse**
A6	0,09	0,03
Marieberg	0,13	0,08
Väla	0,63	1,8

Tabell 70 Medelvärde och standardavvikelse för lognormalfördelningarna som beskriver persontätheten i tre köpcentrum.

8.3. Generell fördelning för persontäthet i byggnadskategorin Handel

I /28/ redovisas ett förslag till dimensionerande persontäthet i byggnader med liknande verksamhet som de studerade byggnaderna. Eftersom alla lokaler som ingått i undersökningen kan anses tillhöra byggnadskategorin Handel (se indelning i byggnadskategorier, kapitel 2) kan det antas att den fördelning som redovisas som dimensionerande persontäthet i /28/ representerar en generell fördelning gällande kategorin Handel. Denna fördelning bör då kunna användas inom byggnadskategorin Handel, med undantag för byggnader som väsentligt skiljer sig från de undersökta (livsmedelsbutiker och köpcentrum).

Den fördelning som redovisas för dimensionerande persontäthet återges i Figur 16. Denna fördelning är en kombination av fördelningarna för Konsumbutikerna (sammanlagda fördelningen) och de tre köpcentrumen. Fördelningen är en lognormalfördelning med medelvärdet 0,08 pers/m^2 och standardavvikelsen 0,06 pers/m^2.



Figur 16 Generell fördelning för persontätheten (X) inom byggnadskategorin Handel.

I Sverige används normalt 0,5 pers/m^2 nettoarea då brandskydd i varuhus och liknande dimensioneras /29/. Detta kan tyckas konstigt då resultatet som presenterats ovan visar på att persontätheten i medeltal är 0,08 pers/m^2. Dessa två värden har dock inget samband med varandra och det är inte konstigt att de inte är lika. 0,5 pers/m^2 används vid *dimensionering* av brandskydd, vilket innebär att värdet skall representera en persontäthet som mycket sällan under byggnadens livstid kommer att överskridas, medan 0,08 pers/m^2 är en skattning av *medelpersontätheten* i varuhusen. Om brandskyddet dimensionerades efter medelpersontätheten skulle persontätheten vara större än vad konstruktören räknat med i ca 50% av bränderna, vilket innebär att personer ganska ofta skulle utsättas för kritiska förhållanden.

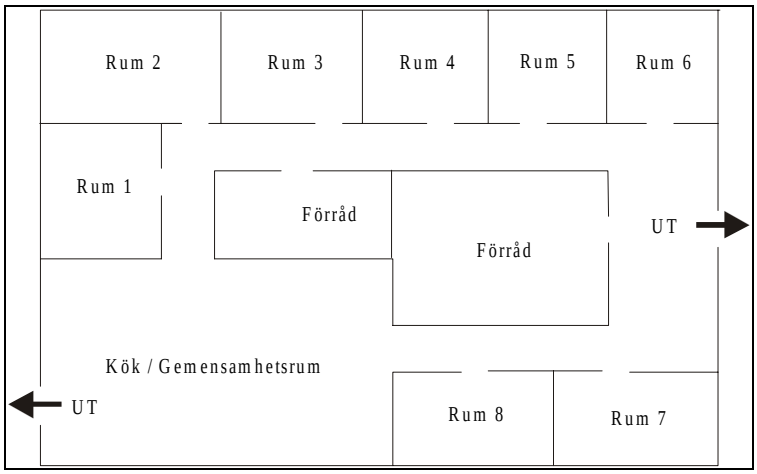
9. Exempel på tillämpning

Detta kapitel är avsett att visa ett exempel på tillämpning av de olika delarna i denna rapport (inte kapitel 7 och 8). Objektet där exemplet kommer att genomföras är ett hem för äldre människor. Anledningen till att denna typ av byggnad valts är att det inom byggnadskategorin Äldrevård finns bra statistiskt underlag samt att avdelningarna i denna typ av byggnad vanligtvis är byggda enligt liknande brandtekniska koncept.

Byggnaden som kommer att analysera är fiktiv och går under namnet ”Äldreboendet Ugglan”.

Ugglan är en tvåvåningsbyggnad med vind. Vinden används endast för förvaring av en del av de boendes tillhörigheter och som installationsutrymme. På bottenplanet finns två stycken avdelningar med boende. Varje avdelning har tillgång till ett kombinerat kök/gemensamhetsrum. På varje avdelning bor 8 äldre personer. Mellan de två avdelningarna finns personalutrymmen som innehåller omklädningsrum, kontor och sovrum. I den centrala delen finns också ett trapphus som fungerar som en utrymningsväg. Två andra utrymningsvägar (trappor) finns på byggnadens kortsidor.

Verksamheten på andra våningsplanet (plan 1) är identiskt med bottenplanet.



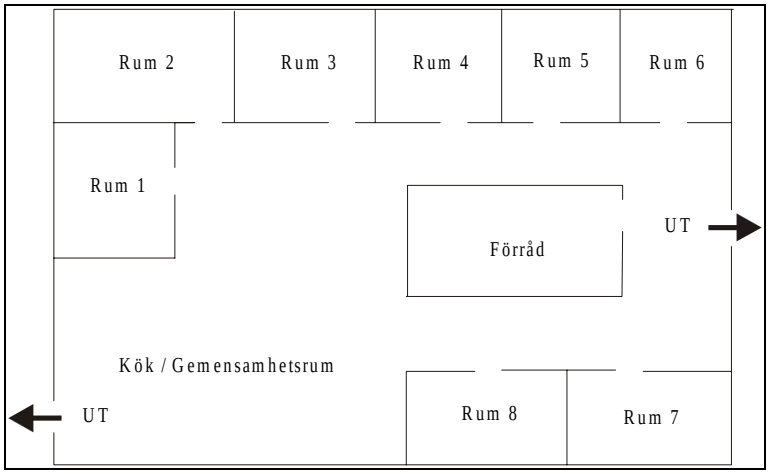
Figur 17 Grundutformning av en vårdavdelning på äldreboendet Ugglan.

I exemplet som visas skall en byggnadsutformning som anses acceptabel jämföras med en alternativ lösning för att undersöka om risknivån i den alternativa lösningen är högre, lägre eller lika. Om den alternativa byggnadsutformningen inte innebär någon förändring av brandfrekvensen behöver denna parameter inte beaktas. I detta exempel tas dock brandfrekvensen med för att illustrera hur den beräknas och uppdateras.

Den totala golvarean är 1350 m^2 (450 m^2 på varje plan och vinden).

Grundalternativet för utformningen antas vara en befintlig utformning där en vårdavdelning ser ut som Figur 17. Rummen är brandtekniskt avskilda från korridoren i klass E30. Förråden och kök/gemensamhet är också avskilda mot korridoren i brandteknisk klass E30. Dörrarna till köket är försedda automatiska dörrstängare. Dörrarna står normalt uppställda med hjälp av magneter, vilka släpper dörren då rökdetektorerna i korridoren detekterar rök. Rökdetektorerna aktiverar också ett larm i personalrummet, samt på personalens personsökare.

I samband med en renovering av fastigheten vill byggherren göra planlösningen något öppnare genom att ta bort ett av förråden och minska det andra. I samband med ombyggnaden planeras en installation av ett heltäckande brandlarm och komplettering av brandcellsgränserna runt rummen så att även avskiljning mellan rummen erhålls. Utformningen av Ugglan efter ombyggnad blir enligt Figur 18.



Figur 18 Avdelning på äldreboendet Ugglan efter ombyggnad.

Frågan som byggherren ställs inför är huruvida denna nya utformning av Ugglan innebär en lägre, högre eller lika hög risknivå? För att ta reda på svaret kommer två förenklade riskanalyser av en avdelning att genomföras och skillnaden i risknivå kommer att jämföras. Ingen osäkerhetsanalys kommer att genomföras. Anledningen till att endast en avdelning betraktas i analysen är att om hela byggnaden tagits med i analysen skulle den blivit alltför omfattande för detta exempel och dessutom är det troligt att de ändringar som genomförts inte skulle påverka säkerheten för andra vårdavdelningar (än den där branden uppstår) i någon större utsträckning.

9.1. Brandfrekvens

Eftersom ingen information om brandfrekvensen i vårdavdelningar som är placerade i hem för äldre finns att tillgå antas att förhållandena är liknande de som råder på ett sjukhus. I kapitel 2 angavs brandfrekvensen i ett sjukhus som $\Lambda = 0{,}0007*A^{0,75}$, där Λ är brandfrekvensen och A är den totala byggnadsarean.

I /30/ har det visat sig att denna ekvation ger acceptabla resultat då den jämförts med brandfrekvensen i tre svenska sjukhus.

Brandfrekvensen i Äldreboendet Ugglan beräknas till 0,16 bränder per år. Ingen information finns att få angående osäkerheten i detta värde, vilket betyder att det är upp till den enskilde ingenjören att uppskatta detta. I fallet med Ugglan kommer en projektgrupp fram till att brandfrekvensen måste vara någonstans i intervallet mellan 0 och 0,5 bränder per år. Detta intervall är brett, men eftersom kunskapen om brandfrekvenser och deras osäkerheter är begränsad måste ett stort intervall väljas. Hur fördelningen i intervallet ser ut är också upp till den enskilde ingenjören att bedöma, men för enkelhetens skull är det lämpligt att använda en diskret fördelning. Denna diskreta fördelning kan vara en approximation av en vanlig kontinuerlig fördelning, t.ex. en normal- eller lognormalfördelning.

I exemplet med Ugglan bestämmer sig projektgruppen att fördelningen för brandfrekvensen innan Bayes sats använts skall vara en diskret fördelning. Fördelningen fås genom att approximera en trunkerad lognormalfördelning med en diskret fördelning. Lognormalfördelningen är trunkerad så att brandfrekvensen endast kan anta värden mellan 0 och 0,5. Då den trunkerade lognormalfördelningen (som är en kontinuerlig fördelning) approximeras med en diskret fördelning delas intervallet mellan 0 och 0,5 upp i 10 lika stora delar. Värdena som den diskreta fördelningen kan anta är medelvärdet av den övre och den undre intervallgränsen, för samtliga tio intervall (se Ekvation 11).

Ekvation 11

$$\lambda_i = \frac{\lambda_{i,Min} + \lambda_{i,Max}}{2}$$

där

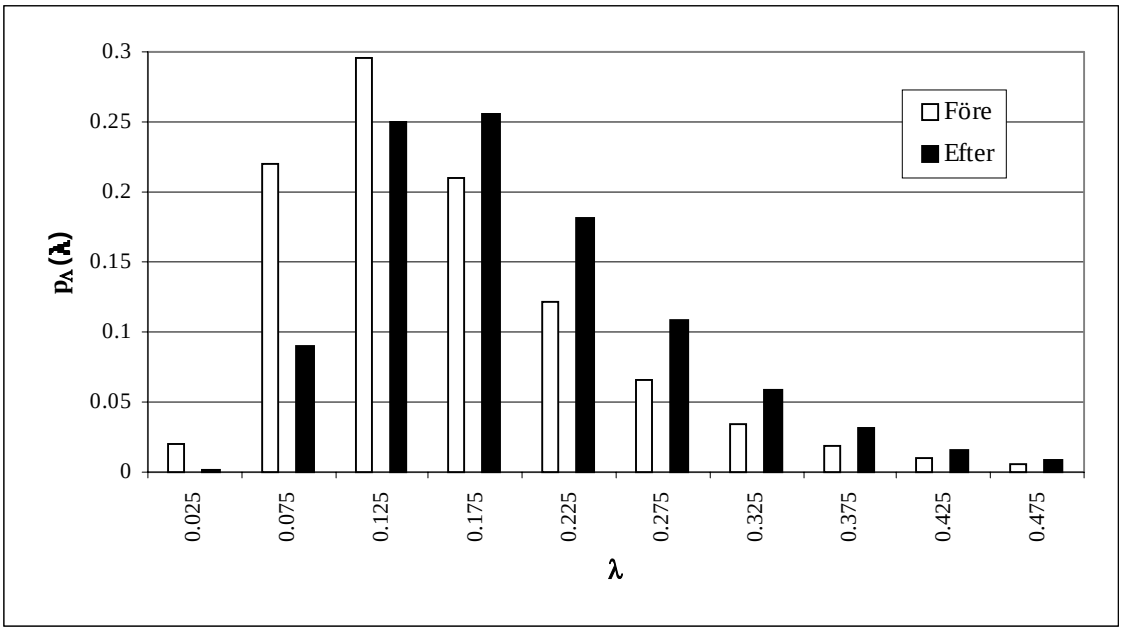
λ_i = Ett av de tio diskreta utfallen (i = 1,2,..,10).
$\lambda_{i,Max}$ = Den övre gränsen för intervall nummer i.
$\lambda_{i,Min}$ = Den nedre gränsen för intervall nummer i.

Sannolikheten för att den stokastiska variabeln Λ skall anta ett visst värde (λ_i) beräknas genom Ekvation 12, där $p_\Lambda(\lambda_i)$ är sannolikheten att $\Lambda = \lambda_i$. $F_\Lambda(\lambda_{i,Max})$ och $F_\Lambda(\lambda_{i,Min})$ är värdet av fördelningsfunktionen för den trunkerade lognormalfördelningen vid intervallens övre respektive undre gräns.

Ekvation 12

$$p_\Lambda(\lambda_i) = F_\Lambda(\lambda_{i,Max}) - F_\Lambda(\lambda_{i,Min})$$

Resultatet blir den diskreta fördelning som betecknas ”Före” i Figur 19. Anledningen till att en lognormalfördelning valdes är att projektgruppen anser att det är större sannolikhet att brandfrekvensen är närmare 0 än 0,5 och lognormalfördelningens utseende avspeglar denna bedömning.



Figur 19 Apriori- (före) och posteriorifördelning (efter) för brandfrekvensen.

Från brandförsvaret fås information om att under den senaste sexårsperioden har det brunnit två gånger på Ugglan. Med hjälp av denna information, samt aprioritfördelningen (fördelningen som benämns ”Före” i Figur 19) kan en posteriorifördelning skapas med hjälp av Bayes sats (se kapitel 2).

Nedan ges endast exempel på hur posteriorisannolikheten för att Λ skall anta värdet 0,025 beräknas. Beräkningarna för de övriga nio utfallen utförs på samma sätt. Med händelsen ”Mätning” avses mätningen av tillbudsstatistiken, d.v.s. informationen att två bränder uppstått under en sexårsperiod.

$$P(\text{Mätning}|\Lambda = 0{,}025) = p_X(2) = e^{-0{,}025\cdot 6}(0{,}025\cdot 6)^2/2 = 0{,}0097$$

$$P(\Lambda = 0{,}025) = 0{,}0193$$

$$\sum_{j=1}^{n} P(\Lambda = \lambda_j)P(\text{Mätning}|\Lambda = \lambda_j) = 0{,}1579$$

$$P(\Lambda = 0{,}025|\text{Mätning}) = \frac{P(\Lambda = 0{,}025)P(\text{Mätning}|\Lambda = 0{,}025)}{\sum_{j=1}^{n} P(\Lambda = \lambda_j)P(\text{Mätning}|\Lambda = \lambda_j)} = 0{,}0012$$

Sannolikheten för att brandfrekvensen Λ skulle anta värdet 0,025 innan informationen i tillbudsstatistiken beaktats var 0,0193. Efter att tillbudsstatistiken beaktats sjönk sannolikheten till 0,0012 (se även Figur 19).

I detta exempel kommer ingen osäkerhetsanalys att utföras. Detta innebär att fördelningen för brandfrekvensen bortses ifrån och endast medelvärdet kommer att användas i analysen. Medelvärdet för brandfrekvensen var innan användandet av tillbudsstatistiken 0,16 bränder

per år. Efter att Bayes sats använts tillsammans med tillbudsstatistiken blev medelvärdet 0,19 bränder per år, alltså en ändring med ca 18%.

9.2. Brandförlopp

På en vårdavdelning finns det olika områden inom vilka en brand kan uppstå. Viktigast när områdesindelningen sker är att konsekvensen vid en brand i de olika delarna i området blir liknande. Till exempel så kan alla boenderum ingå i ett område eftersom konsekvensen bedöms bli samma oberoende vilket rum som branden uppstår i.

Följande områdesindelning används i grundalternativet:

Område 1: De boendes rum.
Område 2: Förråden.
Område 3: Korridoren.
Område 4: Kök/Gemensamhetsrum

Följande områdesindelning används i den alternativa utformningen:

Område 1: De boendes rum.
Område 2: Förrådet.
Område 3: Kök/Gemensmhetsrum inklusive korridor.

För att bedöma en fördelning mellan olika typer av utrymmen (kök, förråd o.s.v.) används informationen i Tabell 7. Där finns angivet hur många bränder som har uppstått i de olika utrymmena på en vårdavdelning under 1996. I Tabell 7 anges följande utrymmen:

- Förråd (5 bränder)
- Kök (65 bränder)
- Trapphus/Korridor (9 bränder)
- Vardagsrum (50 bränder)
- Sovrum/Sovsal (38 bränder)
- Samlingslokal (9 bränder)
- Personalutrymme (3 bränder)

Eftersom inga personalutrymmen finns inne på vårdavdelningen bortses från möjligheten att en brand startar där. Det kan också vara svårt att skilja på vad som är vardagsrum, kök och samlingslokal i en byggnad av den här typen. Eftersom de boende inte har tillgång till kök i sina egna rum kommer Kök/Gemensamhetslokal att betraktas som det enda köket i vilket brand kan uppstå. Vid närmare studie av statistiken av bränder i vardagsrum så visar det sig att 31 av de 50 bränderna har uppstått i en spis, vilket tyder på en liknande utformning som Ugglan, d.v.s. med kök och gemensamhetslokal i samma utrymme. Skattningen av sannolikheten för brand i olika utrymmen i Ugglan genomförs med antagandet att kök, vardagsrum och samlingslokal ingår i Kök/Gemensamhetsrummet.

Detta resulterar i följande skattningar:

P(Förråd | Brand) = 0,028
P(Kök,Gemensamhetslokal | Brand) = 0,705
P(Korridor | Brand) = 0,051
P(Rum | Brand) = 0,216

Dessa skattningar är baserade på statistik från hela gruppen Åldringsvård, vilket betyder att den representerar någon typ av medelbyggnad med dessa utrymmen i. Skattningen kan nu justeras för att passa bättre för den specifika byggnad som Ugglan utgör. Tillsammans med personal från Ugglan kommer projektgruppen överens om att den justerade skattningen av sannolikheten för brand i olika delar (givet brand i avdelningen) ser ut enligt följande:

	Sannolikhet	**Alternativ 1 (Grund)**	**Alternativ 2**
P(Rum | Brand)	0,30	Område 1	Område 1
P(Förråd | Brand)	0,03	Område 2	Område 2
P(Korridor | Brand)	0,05	Område 3	Område 3
P(Kök,Gemensamhetslokal | Brand)	0,62	Område 4	Område 3

Tabell 71 Sannolikheten för att branden skall börja i olika områden beroende på utfromningsalternativ.

Observera ett i alternativ 2 finns bara tre områden (mot fyra i alternativ ett), detta beror på att korridoren och köket är ett enda område. Det skulle kunna tänkas att sannolikheten för brand i förrådet minskades något i alternativ 2 (eftersom förrådet är mindre där), men effekten av detta har bedömts som marginell. Därför görs ingen ändring av denna sannolikhet mellan alternativen.

I Figur 20 och Figur 21 ses två händelseträd som beskriver vad som kan inträffa om en brand börjar i vårdavdelningen. Figur 20 beskriver fallet då avdelningen utförs enligt alternativ 1 (grundalternativet) och Figur 21 då den utförs enligt alternativ 2.

Den största skillnaden mellan de båda alternativen är att kök/gemensamhetsutrymme inte är brandteknisk avskilt från korridoren i alternativ 2. Alternativ 2 innebär också en utökning av brandlarmet (samtliga utrymmen) jämfört med alternativ 1 där endast korridoren är försedd med rökdetektorer. I alternativ 2 utförs också rummen som egna brandceller, vilket inte är fallet i alternativ 1.

I händelseträden (Figur 20 och Figur 21) kan dessa skillnader ses genom att vissa av sannolikheterna för olika händelser skiljer sig och att grenarna i händelseträdet inte ser likadana ut. Dessutom skiljer sig konsekvenserna åt. Konsekvenserna är de heltal som står i slutet på varje gren och betecknar hur många personer som utsätts för kritiska förhållanden om just detta delscenario skulle inträffa.

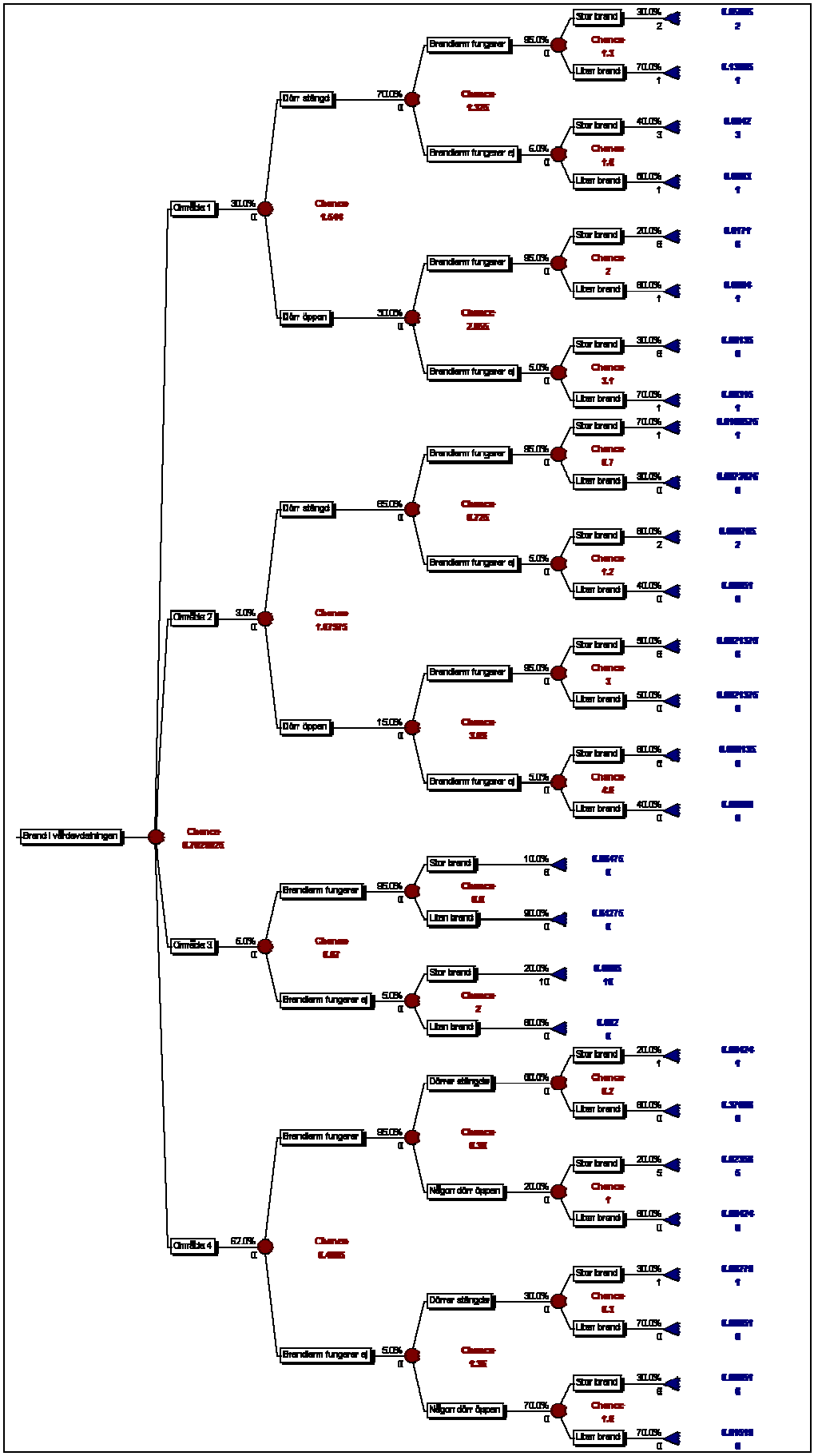
I en riktig analys av en avdelning skulle dessa kosekvenser räknas ut genom att ta hänsyn till utrymning, rökfyllnad, mm.. Eftersom detta exempel endast är till för att visa hur innehållet i denna rapport kan användas bortses från dessa beräkningar och antalet personer som utsätts för kritiska förhållanden uppskattas i stället.

Fördelningen av bränder mellan de olika områdena har redan diskuterats (första sannolikhetsnoden). Den sannolikhetsnod som normalt är placerad därefter beskriver sannolikheten för att en dörr är öppen eller stängd (vilken dörr som avses beror på i vilket område branden börjat). Denna sannolikhet bedöms som lika för de båda alternativen.

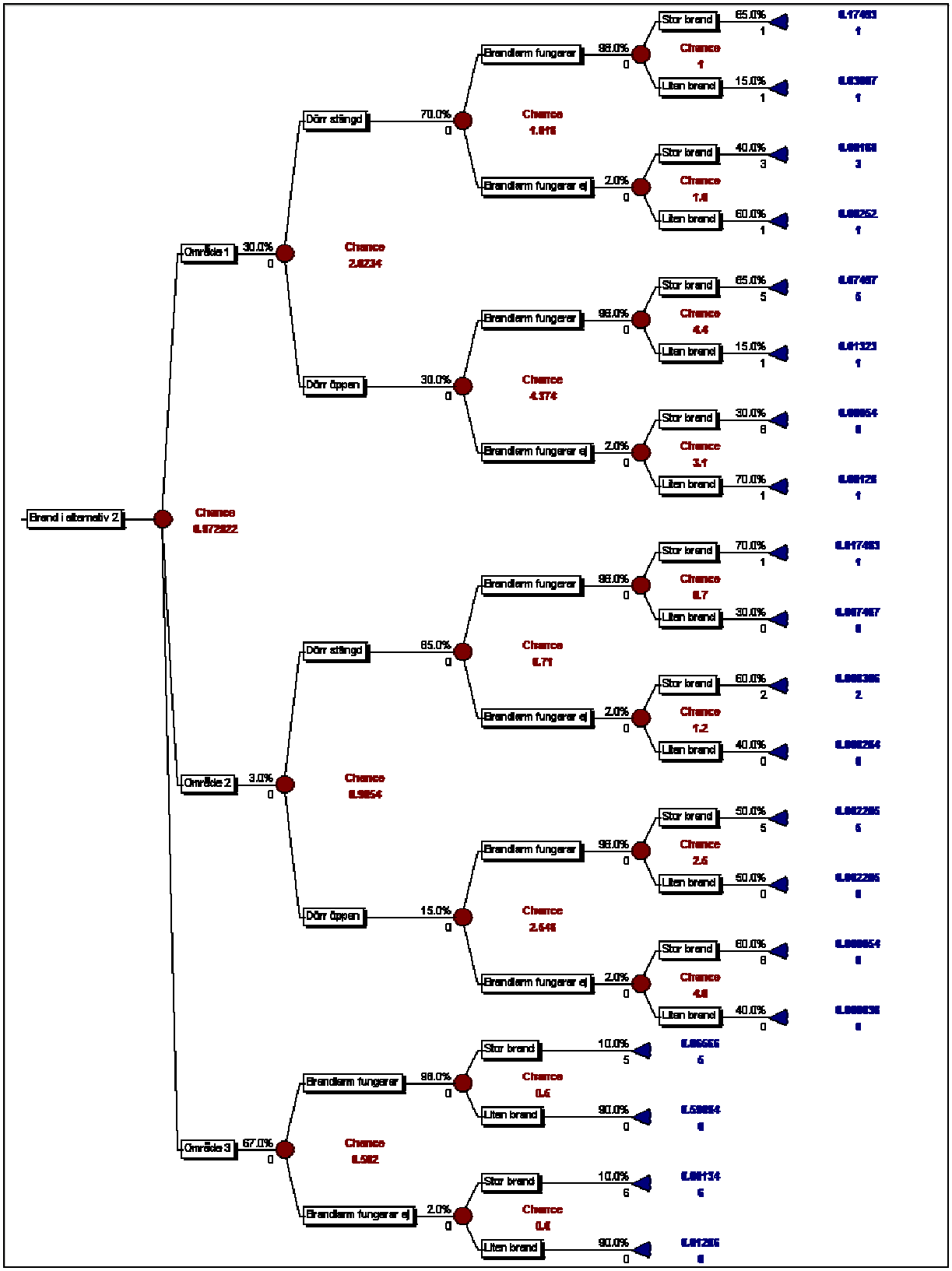
Sannolikhetsnoden för att brandlarmet fungerar har i alternativ 1 bedömts till 0,95 och i alternativ 2 till 0,98. Anledningen till att en högre sannolikhet valts i alternativ 2 är att detta

larm är heltäckande och troligtvis har bättre kvalité, samt underhåll. Sannolikheten för att brandlarm skall fungera diskuteras i kapitel 5.

En liten brand innebär att branden antingen släcks av någon person eller att den inte lyckas sprida sig i någon större omfattning. En stor brand däremot involverar större delen av ett rum och kan utvecklas till en övertändning. Sannolikheten för stor eller liten brand bedöms med ledning av kapitel 3, samt var branden inträffat (personalen bedöms släcka branden lättare om den uppstår i korridoren än om den uppstår i ett förråd). Personalens möjlighet att släcka en brand i något av rummen antas också öka om brandlarm finns installerat där (och det fungerar).



Figur 20 Händelseträd för brand på en vårdavdelning (alternativ 1).



Figur 21 Händelseträd för brand på vårdavdelningen (Alternativ 2).

Om de båda händelseträden utvärderas med hänsyn till det förväntade antalet, av kritiska förhållanden, påverkade personer blir resultatet 0,78 personer per brand i alternativ 1 och 0,91 personer per brand i alternativ 2. Dessa två mått på riskerna vid en brand kan användas för att avgöra vilket alternativ som har den högsta respektive lägsta risknivån.

Byggherren i exemplet kan med hjälp av resultatet konstatera att alternativ 2 inte är lika säkert eller säkrare än alternativ 1. Med denna information kan byggherren fortsätta att fundera på olika säkerhetshöjande åtgärder och sedan undersöka om dessa innebär att risknivån sänks i jämförelse med alternativ 1.

Det bör påpekas att exemplet ovan är utfört på ett förenklat sätt. I verkligheten kan det bli aktuellt att utföra en osäkerhetsanalys av de olika grensannolikheterna respektive konsekvenserna för de olika delscenarierna. Dessutom bör riskprofilen för de olika alternativen studeras. Riskprofilen visar spridningen av konsekvenserna, d.v.s. den innehåller inte bara information om medelvärdet av skadeutfallen utan också om sannolikheten för att konsekvensen skall överstiga ett visst värde.

10.Resultat och diskussion

Denna rapport sammanfattar kunskapen om osäkerheten i några av de variabler som är av intresse vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering.

Det finns många områden inom brandteknisk dimensionering och riskanalyser med avseende på brand. Alla dessa har inte studerats i denna rapport. Till exempel så har inga osäkerheter vad gäller dimensioneringen av bärande konstruktioner vid brand studerats. Dessa typer av osäkerheter har dock studerats i andra publikationer (se t.ex. */31/*). En publikation som försökte sammanfatta samtliga områden skulle bli mycket mer omfattande än denna rapport. De resultat som presenteras här får i stället ses som ett försök att sammanställa några av de variabelosäkerheter som bedömts som viktigast då personsäkerheten vid händelse av brand är av intresse.

Med hjälp av bra insatsrapportering vid bränder skulle många av variabelosäkerheterna kunna minskas betydligt. De insatsrapporter som Räddningsverket sammanställer är mycket bra och omfattande. Denna statistik kommer att utgöra en mycket viktig informationskälla i framtiden och vartefter antalet år som ingår i statistiken ökar kommer bättre slutsatser att kunna dras. Framförallt skulle bättre kunskaper angående brandtekniska systems tillförlitlighet kunna erhållas via dessa rapporter. Det enda som skulle krävas är att brandkåren angav huruvida ett specifikt släcksystem fanns i byggnaden och om det fungerade tillfredsställande. Ett annat sätt att få information om brandtekniska systems tillförlitlighet vore att systematisera brandkårernas brandsyner. Till exempel skulle brandsyneförrättaren kunna räkna antalet dörrar i brandcellsgränser som inte uppfyller sin funktion (d.v.s. inte stänger) vid varje brandsyn och rapportera detta till t.ex. Räddningsverket. På detta sätt skulle relativt snabbt en kunskapsbank över tillförlitligheten i de brandtekniska systemen kunna byggas upp.

Följande statistik från brandsyner skulle vara av stort värde:

- Antal dörrar i brandcellgräns som inte uppfyller sin funktion (samt hur många som undersökts).
- Antal brandcellsgränser som (inklusive brandteknisk klass) inte bedöms uppfylla den angivna brandtekniska klassen, samt varför de inte bedöms uppfylla klassen (hål, dålig isolering mm.). En uppskattning av storleken på brandcellsgränserna bör också ingå.
- Antal rökluckor som inte uppfyller sin funktion (samt hur många som undersökts).
- Test av brandlarm/utrymningslarm. Fungerar det eller ej. Om inte, vad var orsaken till felfunktionen.

11.Referenser

/1/ Räddningsverket, *Insats rapport –96 Handledning till insatsrapport för kommunal räddningstjänst*, Skogs Grafiska AB, Malmö 1995.

/2/ Lundin, J., *Model Uncertainty in Fire Safety Engineering*, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund 1999.

/3/ Johansson, H., *Brandfrekvenser och typbränder i industrianläggningar*, Lunds Universitet, Brandteknik, Lund 1998.

/4/ Rutstein, R., The Estimation of the Fire Hazard in Different Occupancies, *Fire Surveyor* vol.8 no.2, pp. 21-25.

/5/ Ramachandran, G., Statistical Methods in Risk Evaluation, *International Symposium on Fire Risk Evaluation in Industry*, Stockholm, Sweden 1979.

/6/ Rahikainen, J., Keski-Rahkonen, O., Determination of Ignition Frequency of Fire in Different Premises in Finland, *EUROFIRE 98*, Brussels 1998.

/7/ North, M.A., Baldwin, R., *Fire risk in hospitals*, Fire Research Note No. 983, Fire Research Station, Borehamwood (1973), 45 p.

/8/ Blom, G., *Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar*, Studentlitteratur, Lund 1989.

/9/ BSI Draft for development DD240: *Fire safety engineering in buildings. Part 1: Guide to the application of fire safety engineering principles*, British Standards Institution, London 1997.

/10/ Moore, W.D., *Balanced Design Concepts*, workshop editor Bukowski R.W., NISTIR 5264, Gaithersburg, Maryland, USA, September 1993.

/11/ Levinson, S.H. and Yeater, M.L., Methodology to Evaluate the Effectiveness of Fire Protection Systems in Nuclear Power Plants, *Nuclear Engineering and Design 76*, 161-182, 1983.

/12/ Guymer, P., Parry, G.W., *Use of Probabalistic Methods in Fire Hazard Analysis*, USA, IAEA-SM-305/1.

/13/ Kluge, J., *BRAND/BVT – Tillförlitlighetsdata för brandlarmsutrustning*, ÅK-8508-10, Sydkraft AB, 1985.

/14/ Wettland, F., *BS-100 Reliability Analysis*, ST-91-CR-013-01, Sikte C A/S, 1991.

/15/ Frejvall, S., *MTBF – Calculations*, Det- Tronics Scand AB, 1995.

/16/ Jörud, F., *SKI-projekt Yttre händelser, Realistisk modellering av brandförlopp, Brandfysikaliska beräkningar samt feldata för brandskyddssystem*, Sydkraft Konsult, 1996.

/17/ Isaksson, S., *Litteraturstudie angående brandskydd i kärnkraftsverk*, SKI Rapport 96:1, SKI best. nr 94166, Stockholm 1996.

/18/ Automatic sprinkler performance tables 1970 edition, *Fire Journal*, juli 1970, National Fire Protection Association, Batterymarch Park, Quincy, MA, USA, 1970.

/19/ Rutstein, R., Gilbert, S., *The performance of sprinkler systems*, Home Office Scientific Advisory Branch Memorandum 9/78, London 1978.

/20/ Young R.A., Costs and benefits of automatic sprinkler systems, *Commission of the European Communities Symposium, "Fires in Buildings"*, Luxembourg 1984.

/21/ Stirland, C., *Sprinklers and the building regulations – the case for trade-offs*, Brittish Steel Corporation Report T/RS/1189/22/81C, Teesside 1981.

/22/ Marryatt, H. W., Sprinkler trade-offs and the Australiasian experience, *Fire Journal*, Jan 1981, pp. 59-62.

/23/ Fire Protection Association, American survey shows high success rate for sprinklers, *Fire Prevention* No.170, pp. 30-33.

/24/ Belles, D.W., Life saving potential of automatic sprinklers and early warning systems, part I, *Building Official and Code Administrator*, Nov/Dec 1983, pp. 23-25.

/25/ Siu, N., Apostolakis, G., Uncertain data and expert opinion in the assessment of the unavailability of suppression systems, *Fire Technology* Vol.24 No.2, May 1988.

/26/ *Fire Engineering Guidelines*, First edition, Fire Code Reform Center Limited, Sydney 1996.

/27/ Langdon-Thomas, G.J., *Fire Safety in Buildings Principles and Practice*, A.&C. Black Ltd., London 1972, pp.203.

/28/ Angerd, M., *Är utrymningsschablonerna vid brandteknisk dimensionering säkra?*, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet, Lund 1999.

/29/ Boverket, *BBR Boverkets Byggregler, (BFS 1993:57 med ändringar t.o.m. BFS 1998:38)*, Boverket, Karlskrona 1998.

/30/ Olsson, F., *Tolerable Fire Risk Criteria for Hospitals*, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund 1999.

/31/ AK79/81, *Allmänna regler för bärande konstruktioner*, Rapport nr.50, Statens Planverk, Stockholm 1982.