



# LUND UNIVERSITY

## Riskbaserad utvärdering av alternativ brandskyddsutförning av byggnader

Tehler, Henrik; Lundin, Johan

1999

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Tehler, H., & Lundin, J. (1999). *Riskbaserad utvärdering av alternativ brandskyddsutförning av byggnader*. (LUTVDG/TVBB—7008--SE; Vol. 7008). [Publisher information missing].

*Total number of authors:*

2

### 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

# **Riskbaserad utvärdering av alternativ brandskyddsut- formning i byggnader**

*Henrik Johansson och Johan Lundin*

---

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

**Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet**

**Report 7008, Lund 1999**



**Riskbaserad utvärdering av alternativ  
brandskyddsutformning i byggnader**

**Henrik Johansson  
Johan Lundin**

**Lund 1999**

**Rapporten har finansierats av BRANDFORSK och SBUF**

Riskbaserad utvärdering av alternativ brandskyddsutformning i byggnader

Henrik Johansson  
Johan Lundin

**Report 7008**  
**ISSN: 1402-3504**  
**ISRN: LUTVDG/TVBB—7008--SE**

Number of pages: 36  
Illustrations: Henrik Johansson and Johan Lundin

**Keywords**

Risk analysis, performance based codes, probabilistic risk evaluation, comparison of fire protection alternatives

**Abstract**

In this report a riskbased method is used to verify the fire protection in a fictitious building. The purpose of the report is to evaluate if it is possible to use a riskbased method when performing the construction of the fire protection in a building. The riskbased method is used to calculate the risk, with respect to the occupants, associated with an accepted fire protection solution according to the Swedish building regulations. This risk is then compared to the risk calculated for an alternative fire protection solution and if the risk associated with the alternative design is less than the acceptable solutions risk then the alternative solution is judged to be acceptable. It is found that the risk method is practicable and useful. However, in a real design situation more investigations concerning uncertainties has to be performed.

© 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 om en riskbaserad metod är lämplig att använda vid dimensionering av brandskydd i byggnader.

Arbetet har utförts genom att beskriva hur projektering av brandskydd vanligtvis går till idag samt att framföra invändningar mot varför detta sätt kan ge upphov till utformningar som innebär en lägre säkerhetsnivå än utformningar utförda enligt gamla regler (innan 1994).

I stället för att använda de gängse dimensioneringsmetoderna föreslås ett alternativt angreppssätt där en riskbaserad metod används för att jämföra risken i två olika byggnadsutformningar. Den ena byggnadsutformningen utformas enligt råden i byggreglerna (schablonlösning eller accepterad lösning) och den andra byggnadsutformningen utformas som ett alternativt förslag. Resonemanget kring denna jämförelse bygger på att om inte risken som är förknippade med en alternativ lösning är större än den som är förknippad med en accepterad lösning borde även den alternativa lösningen vara acceptabel.

Detta riskbaserade sätt att undersöka om en lösning är acceptabel appliceras på en fiktiv samlingslokal, där det kan konstateras att den alternativa lösningen innebär en något lägre medelrisk än schablonlösningen, vilket betyder att den alternativa lösningen är acceptabel. Däremot konstateras att antalet personer som utsätts för kritiska förhållanden vid en brand kan bli fler då den alternativa lösningen används än då schablonlösningen används. Detta resultat innebär att om även hänsyn till riskattityd skall tas går det inte att veta om den alternativa lösningen är acceptabel så vida inte riskattityden vid dimensionering specificeras. Med riskattityd menas aversion mot stora olyckor i jämförelse med små. Någon utredning om samhällets riskattityd utförs inte i denna rapport.

I rapporten har visats att det är möjligt att använda en riskbaserad metodik vid dimensionering av brandskydd. Det exempel som visas i rapporten är visserligen mycket enklare än många byggnader i verkligheten, men detta bedöms inte som något hinder för användandet av metodiken.

Problemen som uppmärksammas med den riskbaserade metoden rör främst den subjektiva skattningen av sannolikheter som ingår i modellen. Detta föreslås avhjälpas genom generella riktlinjer för hur dessa skattningar skall utföras och mellan vilka värden som sannolikheten för olika händelser i en byggnadsgrupp bör ligga.

# Innehållsförteckning

	Sida
<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<i>i</i>
<b>INNEHÅLLSFÖRTECKNING</b> .....	<i>ii</i>
<b>1 INLEDNING</b> .....	<b>1</b>
<b>2 FUNKTIONSBASERADE BYGGREGLER</b> .....	<b>2</b>
2.1 SCHABLONLÖSNING .....	3
2.2 ANALYTISK LÖSNING .....	3
2.3 PROVNING.....	4
<b>3 HUR UTTRYCKS KRAVEN PÅ PERSONSÄKERHET I BYGGREGLERNA?</b> .....	<b>5</b>
3.1 OSÄKERHETER VID BRANDTEKNISKA RISKBERÄKNINGAR.....	6
3.2 KVANTITATIVA ACCEPTANSKRITERIER .....	8
<b>4 HUR UTVÄRDERAR MAN SÄKERHET ANALYTISKT?</b> .....	<b>10</b>
4.1 DETERMINISTISK RISKVÄRDERING .....	10
4.2 PROBABILISTISK RISKVÄRDERING .....	12
<b>5 BESKRIVNING AV RISKANALYSMETODIK</b> .....	<b>15</b>
5.1 MORT OCH SMORT .....	15
5.2 GROVANALYS .....	15
5.3 FMEA.....	15
5.4 HAZOP .....	16
5.5 FELTRÄDSANALYS .....	16
5.6 HÄNDELSETRÄDSANALYS .....	16
<b>6 UTVÄRDERING AV RISKANALYSMETODIK FÖR JÄMFÖRELSE AV BRANDSKYDDSSALTERNATIV</b> .....	<b>17</b>
<b>7 SLUTSATSER OCH DISKUSSION</b> .....	<b>23</b>
<b>8 REFERENSER</b> .....	<b>26</b>
<b>APPENDIX</b> .....	<b>27</b>

## 1 Inledning

Reglerna i Sverige som berör brandskydd i byggnader har under de senaste åren genomgått stora förändringar. Från att ha varit preskriptiva är de nu funktionsbaserade. Detta innebär i korthet att en förändring har skett från att reglerna föreskrev hur brandskyddet skulle utformas (t.ex. att längsta avstånd till utrymningsväg inte får överstiga 30 meter) till att de beskriver vilken funktion som skall vara uppfylld (t.ex. att säker utrymning skall kunna ske). Denna förändring ger givetvis konstruktören större frihet vad gäller utformningen, men den ställer också större krav på kompetens hos personen (personerna) som projekterar brandskyddet.

För att uppfylla dagens krav i byggreglerna använder sig projektörerna vanligtvis av råd i byggreglerna eller analytiska beräkningar. Det är nämligen tillåtet att frånga råden i byggreglerna om projektören kan visa att byggnaden ändå uppfyller kraven. Detta utförs vanligtvis med hjälp av beräkningar där en så kallad dimensionerande brand ansätts och dess påverkan på byggnaden och personerna i byggnaden beräknas.

Syftet med denna rapport är att undersöka om det är möjligt att använda riskbaserade metoder då brandskyddet i en byggnad dimensioneras. I kapitel 2 beskrivs byggreglerna översiktligt och vad förändringen från preskriptiva regler till funktionsbaserade har inneburit.

I kapitel 3 diskuteras kriterierna för personsäkerhet i byggnader vid analytisk dimensionering av brandskydd och en alternativ (riskbaserad) metod där riskerna i en alternativ utformning jämförs med en schablonlösning (accepterad lösning) beskrivs. I kapitlet undersöks fördelar med detta angreppssätt, främst i form av minskade kunskapsosäkerheter. I slutet av kapitlet diskuteras kvantitativa acceptanskriterier för brandrisken i en byggnad.

I kapitel 4 diskuteras dagens analytiska sätt att dimensionera brandskyddet i en byggnad och varför detta sätt inte alltid är bra. Detta deterministiska angreppssätt föreslås i stället ersättas med ett probabilistiskt angreppssätt som också beskrivs i kapitlet.

I det femte kapitlet sker en översiktlig genomgång av tillgängliga riskanalysmetoder som skulle kunna vara tänkbara att använda vid en utvärdering av brandskyddet i en byggnad.

Kapitel 6 redovisar en fiktiv projekteringssituation där en utformning som avviker från råden i byggreglerna jämförs med en schablonlösning (acceptabel lösning). Den från råden avvikande utformningen betraktas som acceptabel om inte risken för personer i byggnaden vid denna utformning är större än då schablonmetoden används.

Arbete har utförts inom ramen för projektet Dimensionering efter beräknad risk, som är finansierat av BRANDFORSK (projektnummer 302-971, 309-981 och 312-991) och Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (projektnummer 7056). Arbetet ingår även som en del av examinationen i distanskursen Risker i tekniska system, som ges av Kungliga Tekniska Högskolan i samarbete med Utbildningsradion.



## 2 Funktionsbaserade byggregler

Sedan 1994 har Sverige haft funktionsbaserade byggregler. För brandskyddet i byggnader har denna ändring från preskriptiva regler inneburit en stor förändring. Tidigare (då de preskriptiva reglerna gällde) var projektören tvungen att utforma brandskyddet enligt vissa standardiserade lösningar. Detta förfaringssätt gjorde att brandskyddet försvårade konstruktionen av byggnader som inte byggdes som ”standardbyggnader”. Till exempel så var en preskriptiv regel att avståndet till närmaste utrymningsväg aldrig fick överstiga 30 meter i vissa lokaler. Detta gällde oavsett byggnadens övriga förutsättningar, vilket i vissa fall t.ex. har resulterat i utformningar där öppenheten i en lösning har gått förlorad.

De preskriptiva reglerna var enkla att dimensionera utifrån, eftersom lösningarna fanns nedskrivna i byggreglerna. I och med övergången till funktionsbaserade regler så försvann kravet på specifika lösningar och i stället ställdes krav på att en viss funktion skulle vara uppfylld i byggnaden (t.ex. att säker utrymning kan genomföras). Att dessa funktioner är uppfyllda i en viss byggnadsutformning är det upp till projektören att visa. Vad gäller brandskydd så kan detta ske antingen genom att använda de allmänna råden i BBR, eller så kan den enskilde projektören välja andra sätt att visa att hans lösning uppfyller föreskrifterna i BBR (se §1:3 i BBR). Andra sätt att visa att en lösning uppfyller föreskrifterna kan t.ex. vara att använda beräkningar eller provning.

### **BBR 1:3 De allmänna råden**

De allmänna råden innehåller generella rekommendationer om tillämpningar av föreskrifterna i denna författning och i huvudförfattningarna och anger hur någon *kan* eller *bör* handla för att uppfylla föreskrifterna. Det står dock den enskilda fritt att välja andra lösningar och metoder, om dessa uppfyller föreskrifterna...

Då kraven i BBR skall uppfyllas kan alltså en projektör välja att följa de råd som finns i BBR, eller göra beräkningar för att visa att byggnaden uppfyller kravet. I denna rapport kommer en riskbaserad metod att användas då det skall bestämmas om en brandskyddslösning uppfyller kraven i BBR eller inte. Detta kommer att ske genom jämförelse av risknivåer då brandskyddet utformas enligt råden i BBR (alternativ 1) och då brandskyddet utformas på annat sätt (alternativ 2). Om risknivån är högre i det andra alternativet betraktas det som om byggnaden inte uppfyller kravet i BBR, men om risknivån är lägre uppfyller utformningen kravet.

I BBR kan ibland kraven frångås genom att använda så kallad ”alternativ utformning”, vilket innebär att brandskyddet får utformas på annat sätt än vad som beskrivs i byggreglerna om det i en ”...särskild utredning kan visas att byggnadens totala brandskydd därigenom inte blir sämre än om samtliga aktuella krav i avsnittet uppfylls.” Oklarhet råder om hur det skall visas att brandskyddet inte blir sämre, men en möjlig lösning vore att även i detta fall använda riskbaserade metoder för att jämföra risknivån i den alternativa lösningen med utformningen då samtliga krav uppfylls. Om risknivån är samma eller lägre borde den alternativa lösningen kunna accepteras.

### **BBR 5:11 Alternativ utformning**

Brandskyddet får utformas på annat sätt än vad som anges i detta avsnitt (avsnitt 5), om det i särskild utredning visas att byggnadens totala brandskydd därigenom inte blir sämre än om samtliga aktuella krav i avsnittet uppfylls.

## 2.1 Schablonlösning

Vid schablonlösning av brandskyddet i en byggnad används rådtypek från BBR för att utforma brandskyddet. Detta sätt att dimensionera brandskyddet har fördelen att det går relativt snabbt och det är enkelt (d.v.s. projektören behöver inte vara speciellt kunnig inom brandområdet).

Nackdelen med schablonlösningarna är att de i mer komplicerade byggnader kan upplevas som oflexibla och dyra. Detta beror på att schablonerna inte tar hänsyn till att förbättringar av brandskyddet inom vissa områden kan innebära att försämringar av brandskyddet inom andra områden kan accepteras med bibehållen säkerhetsnivå.

Några exempel på schablonlösningar är följande:

- Den totala dörrbredden från en samlingslokal utförs som 1 meter per 150 personer.
- Det längsta gångavståndet till utrymningsväg i en samlingslokal utförs som 30 meter.
- Avstånd mellan två fönster i höjded (i skilda brandceller) utförs som minst 1,2 meter.

## 2.2 Analytisk lösning

Vid analytisk dimensionering av brandskydd väljs så kallade dimensionerande bränder och sedan beräknas effekten av dessa bränder på byggnaden och människorna i byggnaden. Enligt råden i BBR skall även känslighetsanalys av de indata som valts till beräkningsmodellerna genomföras.

Då denna typ av beräkning genomförs förutsätts vanligtvis alla brandtekniska system fungera som de skall, d.v.s. det tas inte hänsyn till att t.ex. ett sprinklersystem kanske inte fungerar på grund av att någon stängt tillförseln av vatten.

I de analytiska lösningarna kontrolleras ofta inte mer än 2-3 möjliga bränder och det är därför viktigt att dessa dimensionerande bränder ansätts på de ställen där de kan förväntas få störst konsekvens för personer i byggnaden. Kravet från byggreglerna är att alla personer skall hinna utrymma eller förflyttas till en säker plats innan kritiska förhållanden uppstår (för definition se kapitel 2). Detta innebär att det, för de brandscenarier som utses till dimensionerande, inte får uppkomma kritiska förhållanden i de rum/utrymmen där det fortfarande kan tänkas vistas personer. För att kontrollera om det finns risk för att personer skall finnas kvar i byggnaden då kritiska förhållanden uppstår beräknas ofta tiden till kritiska förhållanden med hjälp av något datorprogram och sedan jämförs denna tid med den förväntade tiden för utrymning. Utrymningstiden beräknas också vanligtvis med hjälp av datorprogram.

Det har tidigare visats (Boverket, 1997) att säkerheten i analytiska lösningar kan skilja sig mycket från lösningar enligt preskriptiva regler. En orsak till detta är att alla brandtekniska system förutsätts fungera vid den analytiska dimensioneringen, samt att det ofta är ett eller flera passiva system (t.ex. brandcellsgränser) som ersatts av aktiva system (t.ex. sprinkler). Felfunktionen hos de passiva systemen är ofta inte lika kritisk för de utrymnande personerna som en felfunktion i ett aktivt system. Till exempel spelar det ingen större roll för utrymningen om en brandcellsgräns avsedd att stoppa en brand i 60 minuter ger vika efter 40 minuter (utrymningen är troligtvis genomförd då), men om ett sprinklersystem inte fungerar innebär det i regel stora konsekvenser.

### **2.3 Provning**

Vid provning testas en viss konstruktion för brand under en specifik tid (eller för ett fullständigt brandförlopp). Detta kan t.ex. innebära att en viss typ av konstruktion godkänns för användning i konstruktioner som skall stå emot brand i 60 minuter.

Det är möjligt att utföra beräkningar för att konstatera om en konstruktion kan uppfylla sin funktion under en viss tid (och brandpåverkan), men då det rör sig om mer avancerade konstruktioner kan det ibland vara svårt att modellera förloppet på ett realistiskt sätt.

### 3 Hur uttrycks kraven på personsäkerhet i Byggreglerna?

I BBR uttrycks kraven på personsäkerheten genom krav på tillgången till utrymningsvägar, vad som får utgöra utrymningsväg, avståndet till utrymningsväg, mm. I den inledande allmänna texten skrivs att ”Byggnader skall utformas så att *tillfredsställande utrymning* kan ske vid brand.” Med tillfredsställande utrymning menas att samtliga personer i byggnaden skall utrymmas ur byggnaden eller att personer kan förflyttas till en säker plats där ”...skydd mot värme och toxiska gaser kunna erhållas under ett fullständigt brandförlopp...” (t.ex. i sjukhus där horisontell förflyttning av patienter ofta används för att säkerställa utrymning).

Då brandskyddet dimensioneras analytiskt är det upp till projektören att visa att tillfredsställande utrymning kan ske för den lösning som valts. Detta utförs, som beskrivits ovan, genom att ett antal dimensionerande bränder ansätts och konsekvensen för personerna i byggnaden beräknas. Konsekvenserna vid en brand kvantifieras genom att ange antalet personer som utsatts för kritiska förhållanden. Vid bedömning av huruvida kritiska förhållanden har uppkommit bör enligt BBR (Boverket, 1998) siktbarhet, värmestrålning, temperatur samt giftiga gaser beaktas. Råd för vilka gränsvärden som bör gälla för kritiska förhållanden anges också. Rökgasnivån får till exempel inte sjunka under en nivå lägre än  $1,6+(0,1*H)$  där H är rumshöjden. Värmestrålningen mot någon person får inte överstiga  $10 \text{ kW/m}^2$  och den maximala strålningsenergin utöver  $1 \text{ kW/m}^2$  får inte överstiga  $60 \text{ kJ/m}^2$ . Temperaturen i luften runt de som utrymmer får inte bli högre än  $80^\circ\text{C}$ . Tiden till dessa att kritiska förhållanden uppnås i byggnaden jämförs för de dimensionerande bränderna med tiden det tar att utrymma personerna i byggnaden. Om tiden till kritiska förhållanden är längre än tiden för utrymningen innebär det att lösningen är acceptabel. Flera invändningar kan riktas mot detta sätt att dimensionera brandskyddet (se avsnitt 3.1).

Det är möjligt att kravet på personsäkerhet vid brand skulle kunna likna de kriterier som används då risker från t.ex. industrier värderas (se t.ex. Räddningsverket, 1997). Detta skulle i så fall innebära att gränsvärden för den så kallade samhällsriskén infördes. Riskmålet skulle kunna vara det förväntade antalet personer, av kritiska förhållanden, påverkade personer under ett år. Detta gränsvärde måste troligtvis också kompletteras med någon typ av restriktion som begränsar sannolikheten för stora olyckor. Under kapitel 3 beskrivs dessa värderingsmetoder närmare.

Problemet med denna kvantifiering av personsäkerheten är att resultatet från en riskanalys varierar väldigt mycket beroende på vem som har gjort den. Detta beror på att olika personer bedömer sannolikheten för vissa händelser på olika sätt, de använder olika beräkningsmodeller o.s.v. Det är därför svårt att åstadkomma ett *absolut* kvantitativt krav på personsäkerheten i en byggnad (på grund av brand). Däremot borde *relativa* kvantitativa mått på personsäkerheten kunna användas, se 2.1 nedan.

Med relativa kvantitativa mått menas att en schablonlösning (en acceptabel lösning) jämförs med den önskade lösningen. Om det visar sig att den önskade lösningen har en lägre risknivå än schablonlösningen är den acceptabel, men har den högre så är den inte acceptabel. Detta angreppssätt används i denna rapport. Förfaringssättet kan liknas vid en beslutsanalys där målet är att välja det brandskydd som innebär den lägsta antalet, av kritiska förhållanden, påverkade personer. Om beslutsanalysen indikerar att schablonlösningen skall väljas innebär det att den önskade lösningen har för hög risknivå för att accepteras annars kan den betraktas som likvärdig eller bättre.

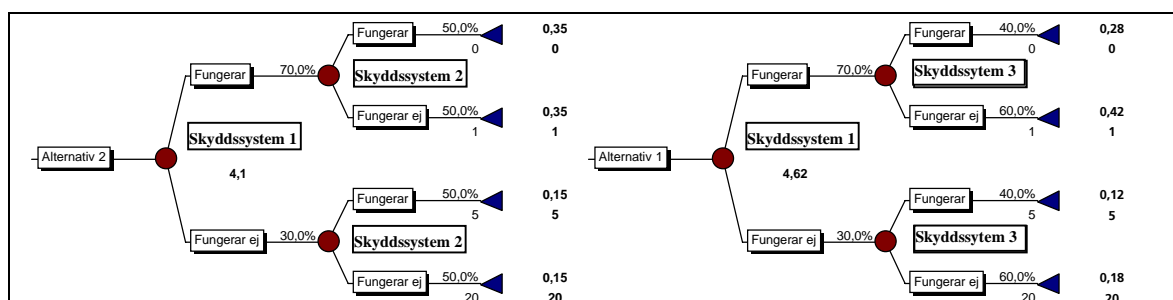
### 3.1 Osäkerheter vid brandtekniska riskberäkningar

Osäkerheter i en beslutsanalys kan vara antingen kunskapsosäkerheter eller stokastiska (slumpmässiga) osäkerheter. Kunskapsosäkerheten uppkommer på grund av begränsad kunskap om en parameter som antar ett fixt värde, d.v.s. om tillräcklig information fanns tillgänglig skulle parametern kunna beskrivas med ett enda värde (inte en fördelning). Eftersom den informationen sällan finns tillgänglig representeras parametern med en fördelning som beskriver en subjektiv skattning om vilka parametervärden som är sannolikast. Stokastisk osäkerhet innebär en osäkerhet som inte kan elimineras med ytterligare information. Vindhastighet är ett exempel på en stokastisk osäkerhet, d.v.s. det går aldrig att veta vilken hastighet vinden blåser med när det brinner i en specifik byggnad, men det går att ta reda på vilka hastigheter som är mest sannolika och därmed representera vindhastigheten med en fördelning (stokastisk osäkerhet).

Då det skall undersökas vilket av två alternativ som innebär det lägsta förväntade antalet, av kritiska förhållanden, påverkade personer kan (som tidigare påpekats) den *relativa* osäkerheten mellan de två alternativen undersökas. Detta innebär att inverkan från de flesta kunskapsosäkerheterna kan bortses ifrån och det blir lättare att avgöra vilket alternativ som är det bästa. För att visa denna effekt har ett enkelt exempel skapats:

Två utformningar av brandskydd resulterar i två olika händelseträd (se Figur 1) där effekten av en brand beskrivs mycket enkelt. I byggnaden finns två stycken skyddssystem, varav det första (första sannolikhetsnoden) är samma i båda alternativen. I figuren kan ses att det råder en viss osäkerhet (stokastisk osäkerhet) huruvida skyddssystemen kommer att uppfylla sin funktion vid brand. Detta representeras med de olika sannolikheterna som är placerade vid grenarna i trädet.

Förutom denna stokastiska osäkerhet finns en kunskapsosäkerhet förknippad med de sannolikheter som finns angivna vid grenarna i trädet.



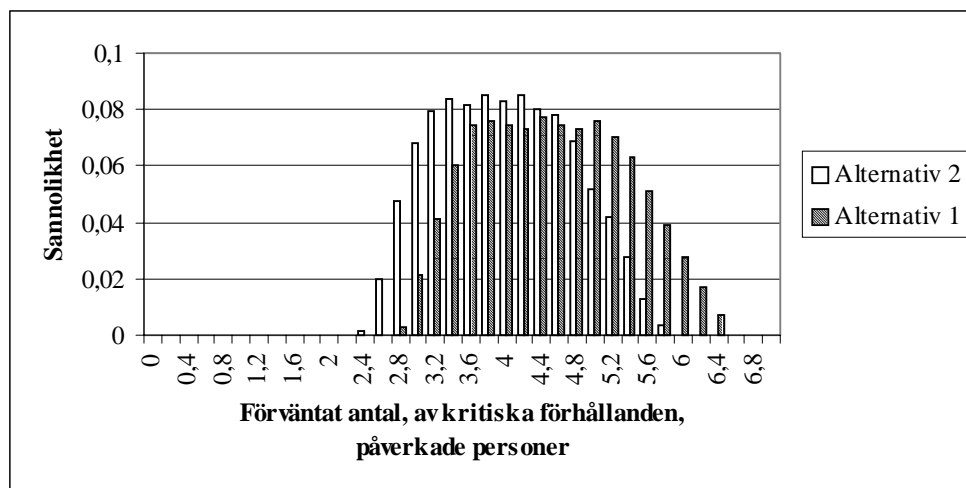
Figur 1 Händelseträd för brand i de båda alternativen.

Denna kunskapsosäkerhet innebär att sannolikheten att de olika skyddssystemen fungerar inte är känd, men intervall har skattats med subjektiva bedömningar. I detta fall bedöms t.ex. sannolikheten att brandskyddssystemet som finns i båda alternativen (skyddssystem 1) fungerar vara likformigt fördelad mellan 60% och 80% (medelvärdet är 70% vilket också syns i Figur 1).

Om händelseträden utvärderas utan att hänsyn tas till kunskapsosäkerheterna, d.v.s. träden utvärderas som de ser ut i Figur 1 kommer det förväntade antalet, av kritiska förhållanden,

påverkade personer vid en brand att vara 4,62 i alternativ 1 och 4,1 i alternativ 2. Med enbart denna analys skulle alternativ 2 bedömas som det bästa.

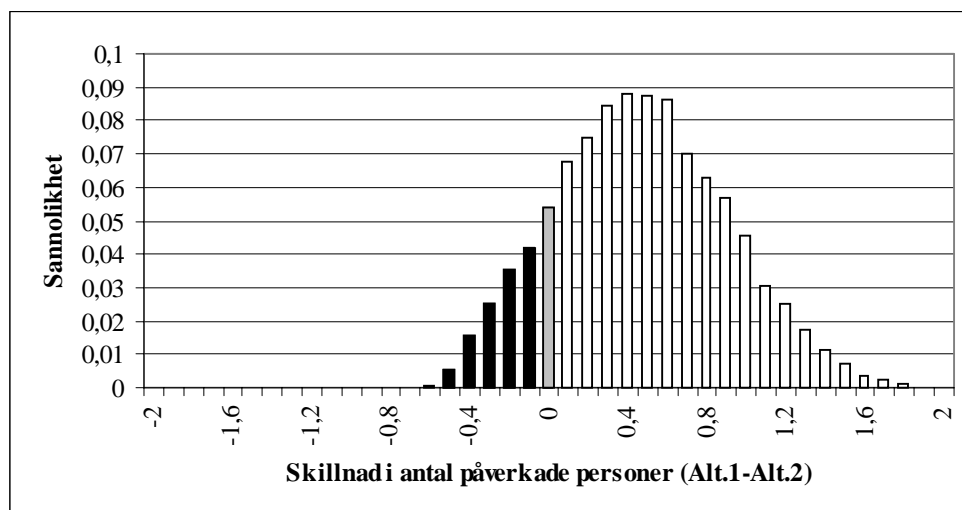
Nu är det emellertid intressant att undersöka vilken effekt osäkerheterna i analysen har på resultatet. Kommer de att innebära att alternativ 1 är det bästa alternativet? För att undersöka denna fråga genomförs en Monte Carlo simulering med 10000 iterationer. Monte Carlo simuleringen resulterar i en fördelning av det förväntade antalet påverkade personer för båda alternativen. De två (diskreta) fördelningarna kan ses i Figur 2.



Figur 2 Fördelningen för det, av kritiska förhållanden, förväntade antalet påverkade personer i alternativ 1 och 2.

I figuren är det ganska svårt att urskilja någon större skillnad mellan alternativen, men detta beror bland annat på att effekten av kunskapsosäkerheten vad gäller brandskyddssystemet som var lika i båda alternativen påverkar möjligheten att klart urskilja det bästa alternativet. Den osäkerhet som redovisas i Figur 2 skulle kunna sägas vara den *absoluta* osäkerheten eftersom den beskriver hur det förväntade antalet påverkade personer är fördelad.

Eftersom kunskapsosäkerheten vad gäller sannolikheten att det första brandskyddssystemet fungerar är samma i båda alternativen (det är samma system) fås bättre information om den *relativa* osäkerheten mellan alternativen genom att analysera *skillnaden* mellan förväntat antal påverkade personer vid Monte Carlo simulering. Detta har gjorts och resultatet kan ses i Figur 3.



Figur 3 Osäkerheten för skillnaden mellan det förväntade antalet, av kritiska förhållanden, påverkade personer för alternativ 1 och 2.

Figur 3 visar fördelningen för *skillnaden* mellan det förväntade antalet, av kritiska förhållanden, påverkade personer i de båda alternativen. Som synes i figuren är skillnaden negativ endast i ca 10% av fallen och positiv i ca 85% av fallen. Att skillnaden är negativ innebär att alternativ 1 är det bästa och att skillnaden är positiv innebär att alternativ 2 är det bästa alternativet. Den klara skillnaden som framgår i Figur 3 kunde inte ses då de medelvärdena  $4,1 \text{ år}^{-1}$  och  $4,62 \text{ år}^{-1}$  användes tillsammans med Figur 2. Detta beror på att i denna figur finns kunskapsosäkerheten angående skyddssystem 1 med som en osäkerhet, men eftersom detta skyddssystem är lika i båda alternativen kunde denna osäkerhet bortses ifrån då *skillnaden* i den förväntade skadekostnaden undersöktes (Figur 3).

Det finns alltså en fördel med att undersöka det relativa förhållandena mellan ett acceptabelt alternativ och ett önskat alternativ, inte bara därför att myndigheterna explicit slipper ta ställning till en acceptabel risknivå, vilket kan vara svårt utan också därför att stora kunskapsosäkerheter kan elimineras vid analysen. Detta ses som två bra skäl till varför denna relativa jämförelsemetodik valts att studeras i denna rapport.

### 3.2 Kvantitativa acceptanskriterier

Varför är det då så svårt att finna kvantitativa acceptanskriterier för brandriskerna i en byggnad? För det första så kan det vara svårt att finna ett kvantitativt acceptanskriterium eftersom vi inte idag vet vilka risker som våra byggnader innebär. Visst, vi vet ungefär hur ofta det brinner och hur många som omkommer, men dessa kunskaper gäller för bränder som orsakar få dödsoffer (t.ex. lägenhetsbränder). Då vi behandlar biografen, köpcentrum, skolor är kunskapen mycket sämre. Detta beror på att det är väldigt sällan som dödsfall inträffar på grund av brand i dessa lokaler och ännu mer sällan då bränderna innebär ett större antal döda.

För att kvantitativt kunna beräkna risken för dödsfall i t.ex. varuhus måste, förutom hur många som dött, även information om hur många som utsattes för risken finnas tillgänglig. Detta är mycket svårt att skatta.

En annan aspekt på kvantitativa acceptanskriterier för bränder är att om det införs acceptanskriterier så kan det innebära att en storolycka inträffar som var "acceptabel". Detta innebär att byggnaden i vilken branden uppstod kan ha varit dimensionerad enligt riskkriterier och själva händelseförloppet vid olyckan kan också funnits med i analysen, men eftersom sannolikheten för just detta förlopp bedömdes vara mycket låg gav inte detta brandscenario något större bidrag till den totala risken. Dessa bedömningar kan ha varit helt korrekta, t.ex. kanske just denna olycka bedömdes inträffa en gång på 100000 år och det var bara "otur" att den skulle inträffa nu. Denna typ av risk skulle troligtvis inte vara "acceptabel" efter att olyckan inträffat, även om det inte var något fel på själva byggnaden. Detta skulle leda till uppfattningen att något är fel med reglerna eftersom denna typ av olyckor "accepterats". Detta problem skulle kunna undvikas genom att reglerna inte accepterar några olyckor där fler än t.ex. 10 personer dör, men detta är inte realistiskt eftersom det i samlingslokaler för över 150 personer *alltid* finns en *mycket liten* sannolikhet att alla omkommer (ingen utrymningsväg fungerar och branden är anlagd i bensin).

Vi anser att i ett första skede är inte kvantitativa riskmått realistiska, utan bättre vore i stället att utföra relativa jämförelser mellan önskade alternativ och accepterade schablonlösningar. Detta kommer i och för sig att ställa högre krav på den som utför analysen och även på de som granskar den, vilket innebär ett större behov av handböcker och dylikt.



## 4 Hur utvärderar man säkerhet analytiskt?

### 4.1 Deterministisk riskvärdering

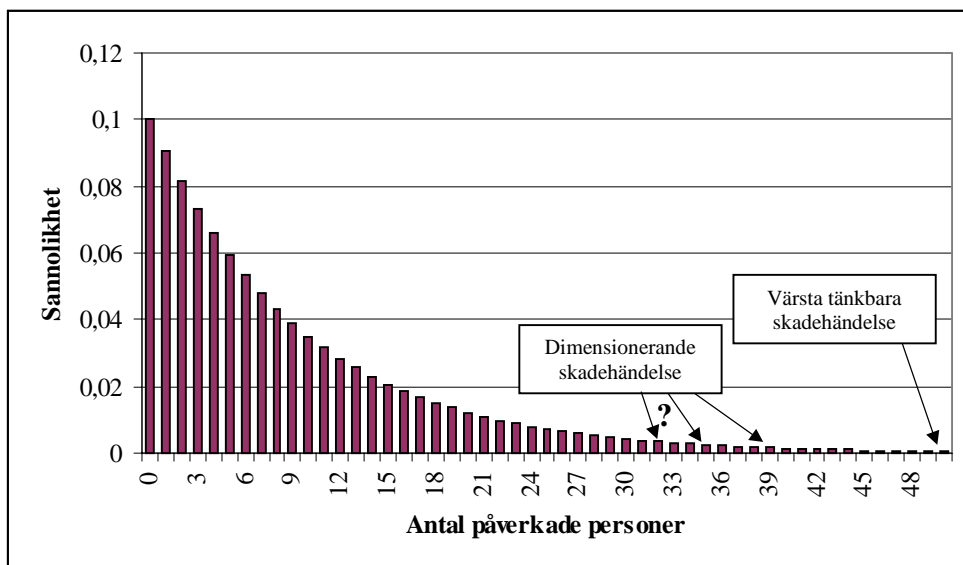
En deterministisk riskvärdering bortser ifrån hur ofta en oönskad händelse beräknas inträffa. Vid en deterministiska värderingen beräknas endast konsekvensen och sedan värderas denna utan att ta hänsyn till sannolikheten att konsekvensen skall realiseras.

Räddningsverket (1997) anger två typer av deterministiska riskvärderingar:

- Värsta tänkbara skadehändelse ("worst case")
- Dimensionerande skadehändelse

Den värsta tänkbara skadehändelsen är den mest omfattande skada som kan uppkomma i den studerade verksamheten, medan den dimensionerande skadehändelsen kan tänkas vara ett allvarligt brandscenario där alla skyddssystem fungerar som det är tänkt. Vid dimensionering av byggnader med hänsyn till personsäkerhet används ofta denna typ av beräkningar för att värdera risken i en byggnad.

Både den dimensionerande skadehändelsen och den värsta tänkbara skadehändelsen är placerade långt till höger i fördelningen antalet skadade vid en brand (se Figur 4). Den fördelning som visas för antalet, av kritiska förhållanden, påverkade personer vid en brand är godtyckligt vald. Utseendet (stor sannolikhet för få antal påverkade och liten sannolikhet för många påverkade) överensstämmer med förhållandena vid bränder, d.v.s. det är ofta som bränder resulterar i få antal skadade personer, men ytterst sällan som de resulterar i större antal skador. Att den dimensionerande skadehändelsen och den värsta tänkbara skadehändelsen är placerade långt till höger i fördelningen innebär att det endast är mycket sällan som dessa typer av olyckor kommer att inträffa. Detsamma gäller faktiskt även medelvärdet av fördelningen. Medelvärdet av den fördelning som visas i figuren är ungefär 9 personer och detta antal överskrids endast i 35% av bränderna. Denna andel är troligtvis ännu mindre för de "verkliga" fördelningarna eftersom de med stor sannolikhet är ännu snedare än det exempel som visas i Figur 4.

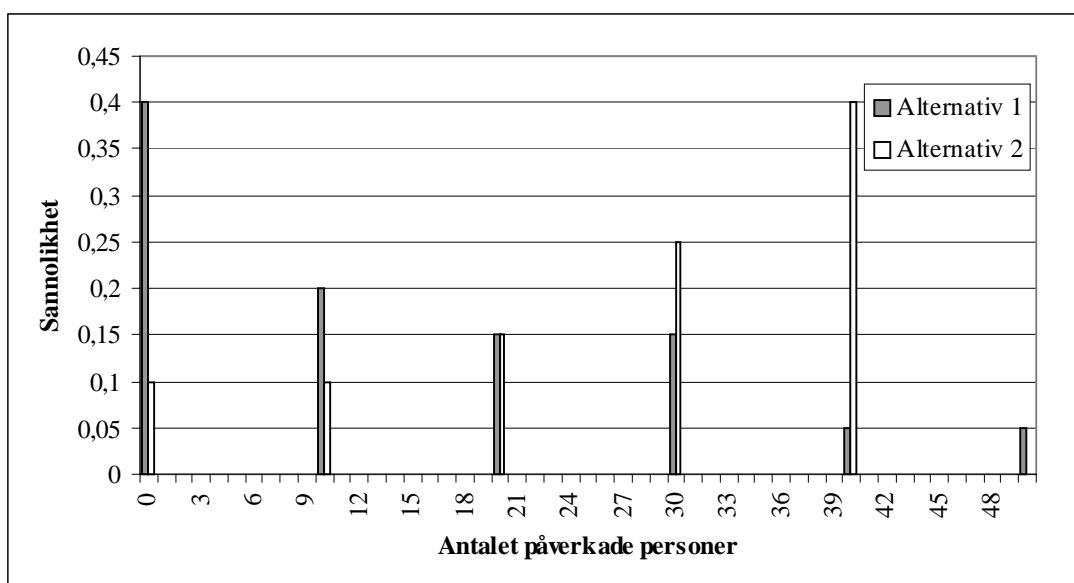


Figur 4 Exempel på fördelning över antalet, av kritiska förhållanden, påverkade personer vid en brand.

Två invändningar mot användandet av deterministisk riskvärdering är:

- Metoden tar inte hänsyn till hur ofta brand beräknas uppkomma.
- Fördelningen för antalet döda (skadade) personer tas inte med i värderingen.

Den första invändningen, att metoden inte tar hänsyn till hur ofta den oönskade händelsen förväntas uppkomma, innebär att två stycken identiska byggnader med samma verksamhet kommer att betraktas lika (innebära lika stor risk) även om frekvensen för den oönskade händelsen i en av byggnaderna är t.ex. tio gånger så hög som i den andra. Detta är inte logiskt, men om det kan antas att frekvensen i de byggnader som undersökt är ungefär lika kan denna invändning försummas.



Figur 5 Fördelning över antalet påverkade personer vid en brand i två stycken byggnadsalternativ.

Invändning nummer två innebär att en byggnad som i och för sig har potentialen att ge upphov till en mycket stor skada (t.ex. större samlingslokal), men är försedd med mycket bra brandskydd kan komma att betraktas som likvärdig (innebära lika stor risk) som en annan byggnad vars maximala skada är något lägre än den första (lite färre personer), men vars brandskydd är undermåligt (detta illustreras i Figur 5). I figuren innebär alternativ 2 nästan tre gånger så stor förväntat antal omkomna per brand som alternativ 1. Trots detta kan alternativen komma att betraktas som nästan likvärdiga om utvärderingen sker med hjälp av det värsta tänkbara scenariot (40 omkomna i alternativ 2, 50 omkomna i alternativ 1).

## 4.2 Probabilistisk riskvärdering

Den probabilistiska riskvärderingen kan liksom den deterministiska utföras med olika grad av noggrannhet. Det som skiljer den probabilistiska värderingsmetoden från den deterministiska är att även frekvensen (eller sannolikheten) för en oönskad händelse tas med i värderingen.

En sannolikhet kan bara anta värden mellan 0 och 1, medan en frekvens kan bli hur stor som helst. I den klassiska sannolikhetsdefinitionen används ofta en urna ur vilken ett visst antal bollar skall dras. Bollarna har olika färg, t.ex. tre röda bollar och sju svarta. Om det antas att alla tio bollar har lika stor chans att bli dragna så inneär den klassiska definitionen på sannolikhet att sannolikheten att en röd boll dras ut urnan är  $3/10$ . Sannolikheten beräknas alltså genom att dividera antalet gynnsamma utfall med det totala antalet möjliga utfall (förutsätter att alla utfall uppkommer med lika stor sannolikhet).

Verkligheten som beskrivs med hjälp av sannolikheter är dock inte alltid lika enkel som en urna ur vilken bollar med olika färg skall dras utan den är mycket mer komplex. Hur görs till exempel likheten mellan sannolikheten för röd boll vid dragning ur urnan och sannolikheten för att en brandcellsgräns skall hindra spridning av brand?

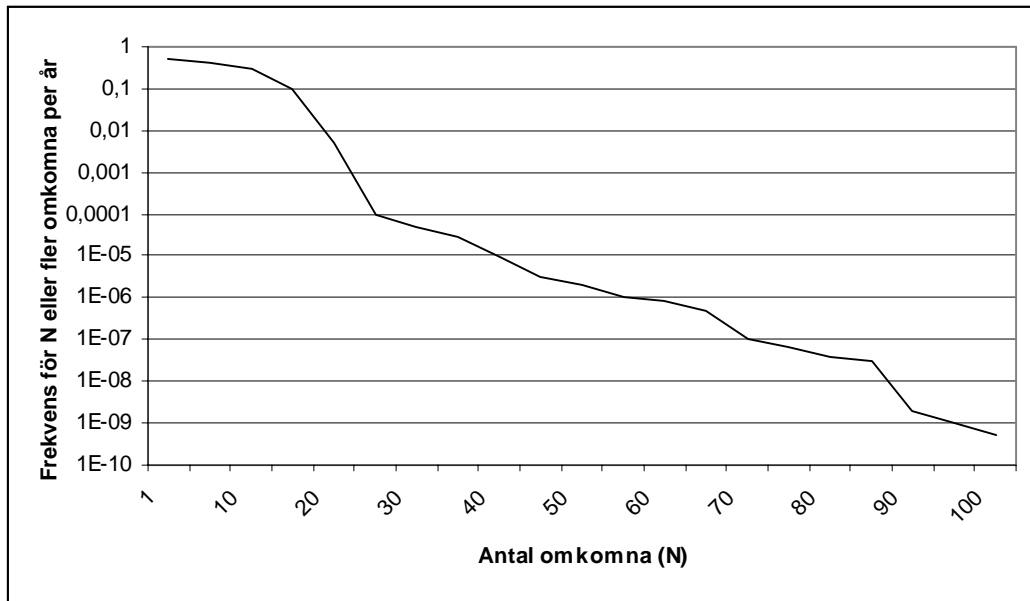
I stället för den så kallade klassiska sannolikhetsdefinitionen används ofta frekvenstolkningen av sannolikhetsbegreppet (se t.ex. Blom, 1989). Frekvenstolkningen innebär att om sannolikheten för en viss händelse (A) vid ett försök är  $1/6$  så kommer den relativa frekvensen (för händelse A) vid ett stort antal försök att vara ungefär  $1/6$ . Vid få antal försök kommer den relativa frekvensen att variera ganska mycket, men efter ett större antal försök kommer den att stabiliseras vid  $1/6$ . I riskanalyser är det lättare att föreställa sig sannolikheter enligt frekvenstolkningen än att försöka "se" en urna med ett antal olika utfall. Till exempel så bör uttrycket att sannolikheten för att en sprinkler släcker en brand är 0,95 tolkas som att den relativa frekvensen av bränder då sprinklern släcker branden närmar sig 0,95 när antalet bränder är stort. Antalet bränder i en specifik byggnad är dock inte speciellt många, varför det knappast kan förväntas att den relativa frekvensen av *riktiga* bränder där sprinklersystemet släcker branden kommer att vara 0,95 i en specifik byggnad.

Eftersom bränder i en anläggning är väldigt komplexa och inte särskilt vanliga kan så kallade *objektiva* sannolikheter inte användas (t.ex. urnan med de färgade bollarna). En annan typ av sannolikhet brukar betecknas *subjektiva* sannolikheter och är en skattning gjord av någon person (se, t.ex. Morgan och Henrion, 1990). Den subjektiva sannolikheten för en viss händelse kan givetvis variera beroende på vem det är som gör skattningen. I riskanalyser av det slag som kommer att diskuteras i denna rapport används uteslutande subjektiva sannolikheter. Det kan tyckas att denna metod för värdering av risker är godtycklig och varierar mycket beroende på vem som utför analysen. Detta är till viss del sant eftersom

människor uppfattar saker på olika vis beroende på bakgrund, kunskaper o.s.v. Det finns dock möjligheter att minska denna variation i resultaten som beror på personerna som utför analyserna. Till exempel kan det tänkas att personer som utför analyser ”kalibreras” genom att riktlinjer för val av sannolikheter. Ett ännu bättre sätt vore att undersöka medelvärdet av den sannolikhet som är intressant i en hel grupp av byggnader (t.ex. biografen). På detta sätt fås ett utgångsläge för sannolikheten, och därifrån kan sedan bedömningar göras av hur mycket den aktuella byggnaden avviker från medelvärdet inom gruppen. De sannolikheter som beräknas för en grupp av byggnader och som används som utgångspunkt för skattningarna i den enskilda byggnaden kan vara objektiva sannolikheter som erhållits genom analys av statistik från bränder.

Det finns olika sätt att värdera risker med probabilistiska metoder. Vid värdering av samhällsrisker (vanligtvis risker för tredje person i samband med industriverksamhet) beräknas vanligtvis två typer av risker, individrisk och samhällsrisk (Räddningsverket, 1997). Individrisken är till för att skydda den enskilde personen från att bli utsatt för alltför stora risker. Individrisken som vanligtvis uttrycks som risken att omkomma (på grund av en specifik riskkälla) om personen i fråga konstant vistades på en specifik plats. Individrisken är alltså förknippad med en specifik plats och vanligt är att den i grafisk form presenteras som riskkonturer på en karta. Riskkurvorna visar områdena inom vilken individrisken har en viss storlek. Ett annat riskmått är samhällsrisk (Räddningsverket, 1997) och passar bättre för beskrivning av brandrisker i en byggnad. I samhällsrisk-begreppet tas förutom frekvensen av olyckshändelsen även hänsyn till konsekvensen (antal personer som beräknas omkomma). Samhällsrisk beräknas som det förväntade antalet omkomna under ett år. Det bör observeras att detta mått är ett medelvärde i en fördelning för antalet omkomna för den specifika risken, måttet skall alltså inte tolkas som det exakta antalet människor som dör på grund av risken under ett år. Eftersom byggreglerna uttrycker att personer inte får utsättas för kritiska förhållanden är det mer naturligt att mäta riskerna i en byggnad som det förväntade antalet, av kritiska förhållanden, påverkade personer i stället för det förväntade antalet omkomna.

Problemet med att bara använda den förväntade konsekvensen som kriterium för risker är att risker som innebär liten sannolikhet för många dödsfall i regel inte uppfattas som likvärdiga med en risk som innebär få dödsfall, men så ofta att det förväntade värdet av konsekvensen är det samma. Detta innebär att även spridningen av antalet personer som utsätts för kritiska förhållanden är viktig och inte bara medelvärdet. För att även visa på spridningen av antalet omkomna personer brukar så kallade FN kurvor användas. FN kurvorna redovisar spridningen av antalet omkomna och har också använts som acceptanskriterium för risker (se t.ex. Räddningsverket, 1998). Exempel på en FN kurva visas i Figur 6. Kurvan beskriver med vilken frekvens som antalet omkomna (på grund av en specifik risk) är *N eller mer*.



Figur 6 Exempel på FN kurva.

I denna rapport kommer FN-kurvor att användas som komplement till medelvärdet av antalet, av kritiska förhållanden, påverkade personer.

## 5 Beskrivning av riskanalysmetodik

I denna rapport är det meningen att en probabilistisk riskanalysmetodik skall användas för att undersöka huruvida en önskvärd utformning av en samlingslokal innebär mindre, lika stor eller större risk än en schablonlösning av samlingslokalen i fråga.

Det finns ett antal riskanalysmetodiker varav ett urval redovisas i Rausand (1991). Här nedan följer en kort redovisning av några av dem och kommentarer huruvida de är lämpliga för det specifika problem som behandlas i denna rapport.

### 5.1 MORT och SMORT

MORT betyder "Management Oversight and Risk Tree" och innebär en analys av de faktorer som kan bidra (direkt eller indirekt) till att olyckor uppkommer. MORT analysen bygger på ett felträd där topphändelsen är någon typ av skada på verksamheten som studeras.

MORT tekniken skulle i denna rapport ha kunnat använts för att analysera topphändelsen "brand uppkommer", men eftersom denna rapport koncentreras på förloppet efter att brand uppkommit bedöms användbarheten av MORT tekniken som liten.

SMORT betyder "Safety Management and Organisation Review Technique" och bygger på samma teknik som används vid MORT analyser. Den största skillnaden i jämförelse med MORT är att det är meningen att SMORT skall kunna utföras utan att experter är närvarande eller bidrar med kunskap. Anledningen till detta är att analysen skall kunna genomföras av den vanliga personalen under den ordinära driften av en anläggning.

Både SMORT och MORT teknikerna verkar vara mer inriktade på industrier fungerar nog inte på problemet som analyseras i denna rapport, d.v.s. jämföra skillnaden i risk mellan två olika brandtekniska utformningar.

### 5.2 Grovanalys

En grovanalys (engelska: Preliminary Hazard Analysis – PHA) utförs i regel under projekteringen av en byggnad. Meningen med analysen är att de risker som verksamheten innebär skall kunna identifieras redan under projekteringsperioden och på så sätt tas hänsyn till innan byggnaden är klar.

Själva grovanalysen kan liknas med en riskidentifiering, d.v.s. de potentiella riskerna i den projekterade anläggningen dokumenteras tillsammans med system för att förebygga risken. Grovanalysen är svår att använda vid tillämpningen i denna rapport eftersom ingen kvantifiering av riskerna görs. Detta innebär att en jämförelse mellan brandskyddsalternativ blir svår.

### 5.3 FMEA

FMEA-analysen liknar grovanalysen i det avseendet att det vanligtvis endast rör sig om en identifiering av feltillstånd som kan uppkomma i systemet, d.v.s. ingen kvantifiering utförs. Ibland kan dock en kvantifiering av vissa parametrar (t.ex. sannolikheten/frekvensen för en ett visst feltillstånd).

Denna kvantifiering bedöms dock inte som tillräcklig för tillämpning vid jämförelse av brandskydd. Liksom de tidigare redovisade metoderna verkar denna också vara inriktad mot processindustrin och inte avsedd att användas i vanliga byggnader.

#### **5.4 HAZOP**

HAZOP-analysen utförs liksom de tidigare redovisade teknikerna vanligtvis i processindustrier. HAZOP-studien kan användas antingen som en fullständig riskanalys eller som en förberedelse inför en mer omfattande analys. I en HAZOP-analys beskrivs avvikelserna från normala betingelser med hjälp av så kallade ledord. Ledorden är inte kvantitativa och kan alltså inte användas för att beräkna någon typ av förväntad konsekvens vid olycka.

HAZOP-analysen har inte heller den ansetts lämplig att använda i denna rapport.

#### **5.5 Felträdsanalys**

I felträdsanalysen används ett felträd där det beskrivs vilka olika händelser som kan orsaka ett visst fel i ett system. Felträdet utgörs av så kallade logiska grindar som beskriver de olika händelsernas inbördes relation och påverkan på sluthändelsen. Grindarna är vanligtvis av typen ”och”- samt ”eller” grindar. En ”och” grind innebär att om händelsen på trädnivån över skall inträffa måste båda händelserna som är förknippade med ”och” grinden inträffa. ”Eller” grinden innebär att någon av händelserna som är förknippade med grinden måste inträffa för att händelsen ovan skall inträffa.

Felträdsanalys skulle i denna tillämpning (jämförelse av brandtekniska skyddssystem) kunna användas för att t.ex. beräkna felsannolikheten för ett sprinklersystem. I denna rapport har dock sannolikheten för att sprinklersystemet fungerar skattats på annat vis.

#### **5.6 Händelseträdsanalys**

I denna rapport kommer händelseträdsmetodik att användas för att beskriva vad som kan inträffa om det börjar brinna i samlingslokalen. Eftersom denna rapport behandlar en relativ jämförelse mellan riskerna i två utformningar och det antas att inga av de åtgärder som skiljer alternativen åt har någon effekt på hur ofta bränder uppstår i lokalen beräknas inte risken *per år utan per brand*.

För varje skyddssystem som utformningarna innehåller finns en viss felsannolikhet. Dessa felsannolikheter redovisas i ett händelseträd där sannolikheten för de olika delscenarierna kan räknas ut (se figur 8 och 9). Ett delscenarie kan till exempel innebära att skyddssystem 1 och 2 fungerar, men inte skyddssystem 3. Skyddssystemen kan till exempel vara sprinkler, rökdetektorer mm.

När sannolikheten för varje delscenario i händelseträdet beräknats kan konsekvensen för varje delscenario beräknas. Konsekvensen uttrycks genom att beräkna tiden till dess att kritiska förhållanden förväntas uppstå i lokalen och jämföra den tiden med utrymningstiden. Om utrymningstiden är längre än tiden till kritiska förhållanden innebär det att ett visst antal personer kommer att utsättas för kritiska förhållanden om detta delscenario uppstår. Genom att summera sannolikheten multiplicerat med antalet personer som beräknas utsättas för kritiska förhållanden för varje delscenario kan det förväntade antalet, av kritiska förhållanden, påverkade personer vid en brand beräknas.

Händelseträdsmetodiken används eftersom den anses vara logisk uppbyggd och kan fungera bra för att beskriva ett brandförlopp i t.ex. en samlingslokal.

## 6 Utvärdering av riskanalysmetodik för jämförelse av brandskyddsalternativ

För att exemplifiera hur riskanalys kan användas för att visa att brandsäkerhetskraven i byggregelerna uppfylls vid en alternativ utformning än de råd som anges i förordningen, så utgår vi ifrån ett fiktivt fall. Jämförelsen avser enbart personsäkerhet, varvid råden i kapitel 5:3 i Boverkets Byggregler (Boverket, 1998) är av överordnad betydelse i analysen.

Lokalen som skall dimensioneras är en samlingslokal i ett plan. De styrande råden som vi av en eller annan anledning frångår med vår alternativa lösning är larmanordningar, antalet utrymningsvägar och maximala avståndet till utrymningsvägarna. Den alternativa utformningen innehåller skyddssystem utöver det som anges i råden, och analysen syftar till att undersöka om säkerhetsnivån i den alternativa utformningen är lika hög som om råden i Byggreglerna uppfylls.

Jämförelsen är av relativ karaktär, dvs enbart de händelser som skiljer alternativen åt och har effekt på säkerheten är av intresse att analysera. Riskanalysmetoden som används beskrivs i avsnitt 5.6.

Nedan följer en beskrivning av alternativen, där skillnaderna i brandteknisk utformning anges.

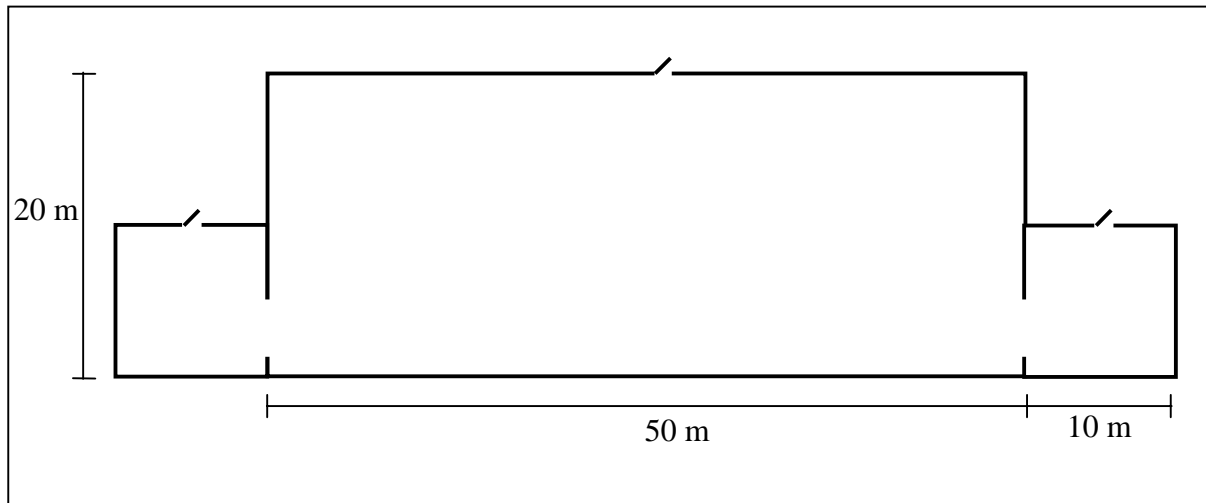


### Alternativ A

I alternativ A sker utrymningsdimensioneringen enligt råden i BBR. Följande rekommendationer är dom som skiljer från alternativ B:

- Maximalt gångavstånd till utrymningsväg 30m.
- Maximalt 150 personer / meter dörrbredd.  $\left\lfloor \frac{540}{1.2 \cdot 3} \right\rfloor = 150$
- Maximalt 300 personer / meter dörredd om en utgång är blockerad  $\left\lfloor \frac{540}{1.2 \cdot 2} \right\rfloor < 300$
- Automatiskt utrymningslarm som aktiveras mha rökdetektorer.

Utformningen av lokalen skisseras nedan i figur 6.



Figur 6 Utformning av samlingslokalen enligt Alternativ A

### Alternativ B

I alternativ B följs inte råden i BBR och tidigare accepterade schablonmetod till punkt och pricka. I alternativ B vill man undvika att ha en dörr mitt i samlingslokalen. De rekommendationer som frångås är jämfört med alternativ A är:

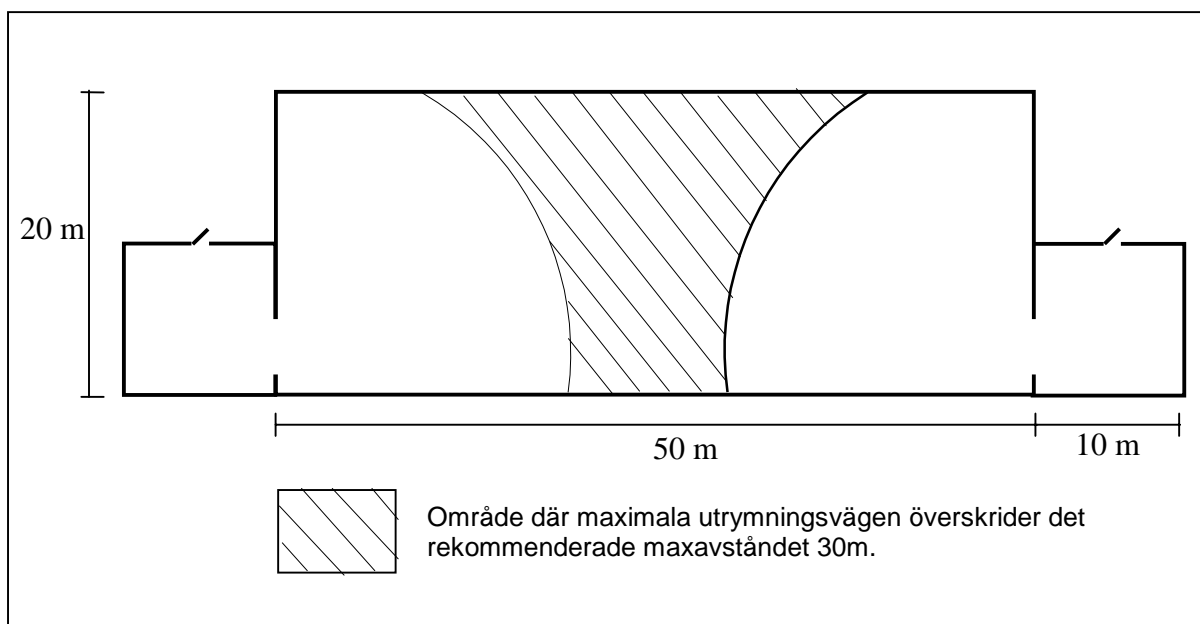
- Maximalt gångavstånd till utrymningsväg överskrider 30m.

- Maximalt 150 personer / meter dörrbredd  $\frac{540}{1.2 \cdot 2} > 150$  överskrids.

- Maximalt 300 personer / meter dörredd om en utgång är blockerad  $\frac{540}{1.2} > 300$  överskrids.

Kraven om säker utrymning föreslås istället uppfyllas genom att ett sprinkler system installeras och att utrymningslarmet aktiveras vid sprinkler aktivering. Ett alternativ till detta är att bredda de båda dörrarna och placera dem på ett sätt så att maximalt gångavstånd inte överskrider det föreskrivna maxavståndet. Av arkitektoniska skäl vill man inte göra detta och därför har alternativ B föreslagits.

Utformningen av lokalen skisseras nedan i figur 7.



Figur 7 Utformning av samlingslokalen enligt alternativ B

### Förändring av säkerhet

Hur förändras säkerheten om man utformar byggnaden enligt alternativ B istället för A?

När antalet utrymningsvägar reduceras kommer säkerheten att försämrans genom att det kommer att ta längre tid för personer i lokalen att förflytta sig till en säker position, dvs gå ut, i händelse av brand. Om man vistas i lokalen där det brinner en längre tid, ökar sannolikheten att man skall drabbas av kritiska förhållande, dvs inte hinna ut i tid. Sannolikheten för konsekvensen att bli kvar har alltså ökat. För att väga upp denna ökade risk så har ett sprinklersystem installerats. Sprinklersystemet är dimensionerat så att vid eventuell brand så skall sprinklern aktivera och släcka alternativt begränsa branden innan den har vuxit sig så stor att kritiska förhållanden uppstår.

För att göra en relevant jämförelse mellan de båda alternativen utförs riskanalys baserad på händelseträdsmetodik, enligt avsnitt 5.6. I de båda alternativen ingår olika tekniska system som har olika tillförlitlighet och påverkar tid till kritiska förhållanden uppstår respektive total utrymningstid på olika sätt. Konsekvensen i varje delscenario beräknas med hjälp av beräkningsmetoder som beskrivs i Appendix A och B.

Nedan följer en redogörelse för vilka värden som används i beräkningarna och hur konsekvenserna ändras beroende på vilket del-scenario som studeras. Beräkning av tid till kritiska förhållanden och förflyttningstid finns beskrivna i Appendix 1 och 2.

#### Tillförlitlighet (Boverket, 1997)

Sprinkler	95%
Automatisk detektering	90%
Utrymningslarm	85%
Alla utrymningsvägar tillgängliga	50%

#### Tid till kritiska förhållanden (se Appendix A)

Sprinkler	- når ej kritisk nivå
Osprinklat	490 s

#### Detektionstid (se Appendix A)

Rökdetektor	60 s
Manuell detektion	200 s
Sprinkler	225 s (aktivering via bulb)

#### Reaktionstid (Jönsson m.fl., 1994)

Utrymningslarm	60 s
Ej larm	120 s

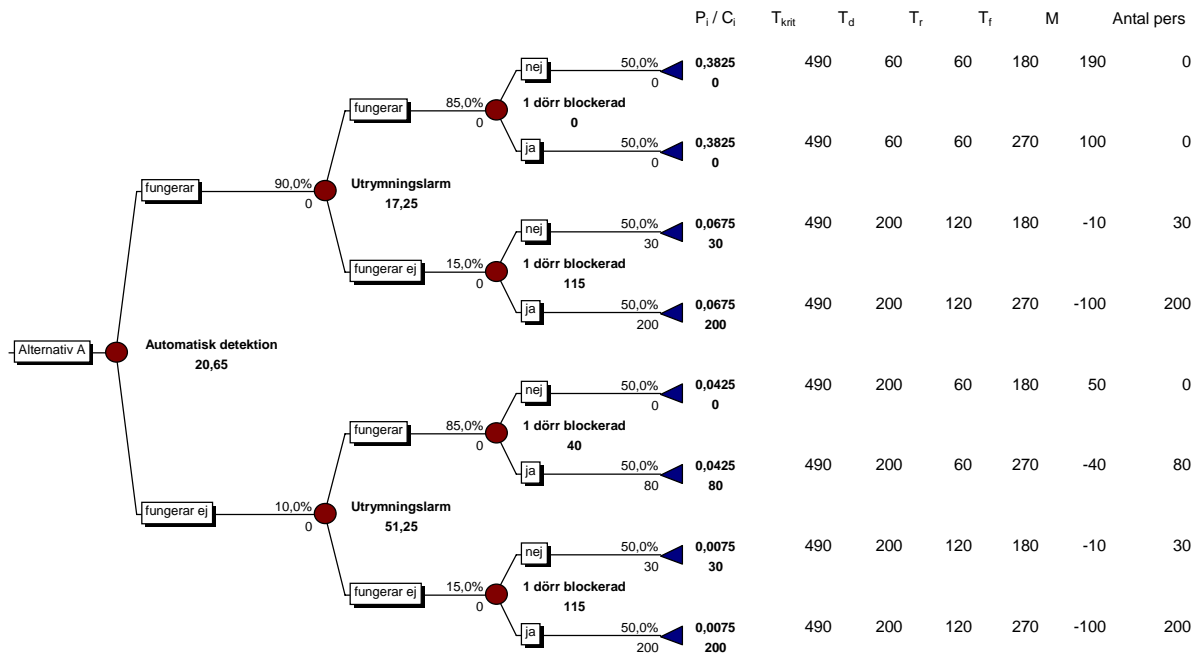
#### Förflyttningstid (Appendix B)

1 dörr tillgänglig	540 s
2 dörrar tillgänglig	270 s
3 dörrar tillgängliga	180 s

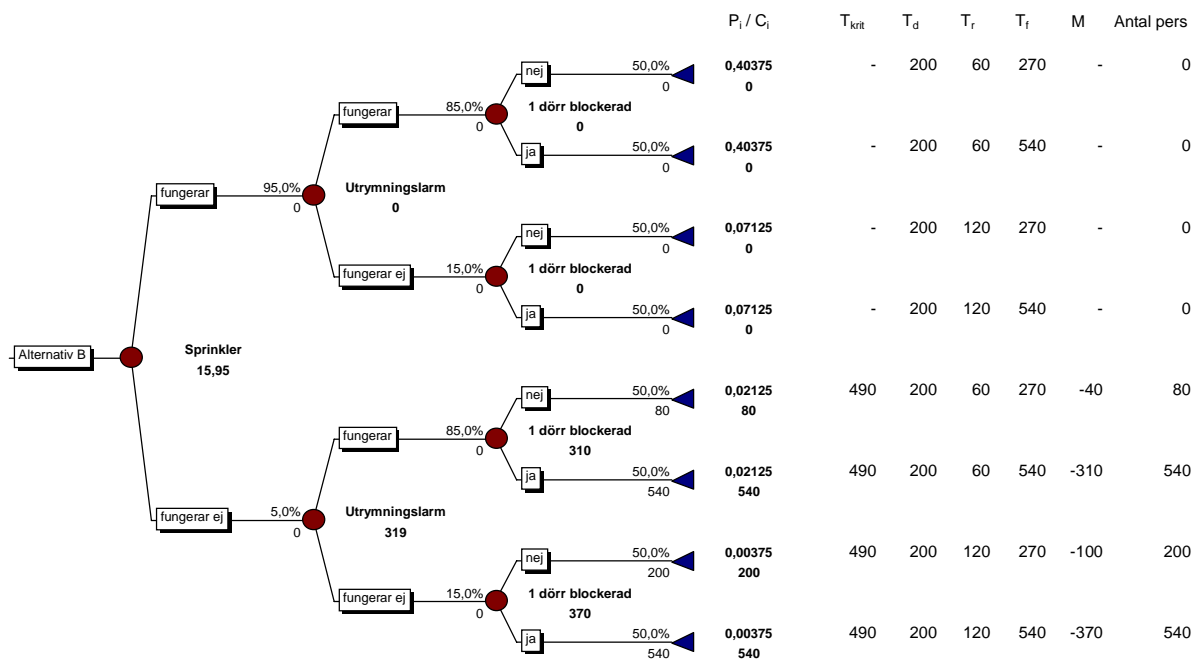
#### Konsekvensberäkning (Appendix B)

1 dörr tillgänglig	M st
2 dörrar tillgängliga	M*2 st
3 dörrar tillgängliga	M*3 st

Riskbidragen från de olika delscenarierna utvärderas med hjälp av händelsetråd som presenterats i figurerna 8 och 9. Händelsetrådmodelleringen är gjort med programmet Precision Tree (Palisade, 1994).

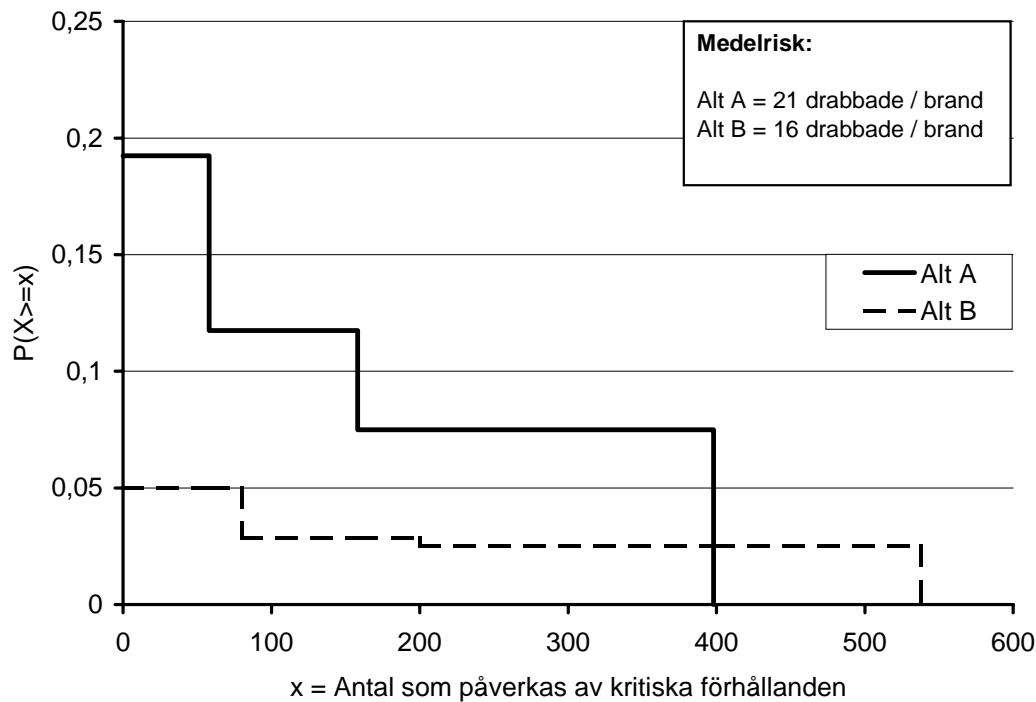


Figur 8. Riskanalys av alternativ A.



Figur 9 Riskanalys av alternativ B.

Resultaten från analysen sammanställs i riskprofiler i figur 10, där även medelrisken för de båda alternativen redovisas.



Figur 10 Jämförelsen av risken i de båda alternativen redovisas med hjälp av riskprofiler och medelrisk.

Medelrisken visar sig vara av samma storleksordning i de båda alternativen, men något lägre i alternativ B. Medelrisken beskriver det förväntade antalet skadade per brand om man studerar en mängd bränder, dvs det är ett slags genomsnittsvärde. Om en enskild brand studeras motsvarar medelrisken det sk väntevärdet, men det intervall som konsekvensen kan hamna inom är stort och beskrivs med riskprofilerna. Riskprofilerna visar även hur stor sannolikheten för att en viss given konsekvens skall överskridas vid en olycka är.

Riskprofilerna är ett bra underlag för att fatta beslut vid probabilistisk dominans, dvs när sannolikheten för en viss konsekvens för ena alternativet alltid är lägre än för det andra alternativet. När probabilistisk dominans ej kan påvisas blir beslutsfattandet mer komplext och värdering av risk kommer in i bilden. Denna situation diskuteras ytterligare i slutsatser och diskussionskapitlet.

## 7 Slutsatser och diskussion

### Huruvida avsteget är acceptabelt eller ej

Utifrån analysen kan effekten av beslut i situationer med olika underlag studeras på ett enkelt sätt. I kapitel 4 presenteras en rad olika "nivåer" på en kvantitativ analys. Riskanalysen visar att resultaten av jämförelsen av de alternativa utformningarna av brandskyddet varierar beroende på den nivån som jämförelsen motsvarar.

Om jämförelsen enbart baseras på de två delscenariön där alla skyddssystem fungerar kommer båda alternativen att uppfylla kriterierna, dvs att ingen person drabbas av kritiska förhållanden och det går inte att påvisa någon skillnad i risk.

Om man inser att skyddssystemens tillförlitlighet varierar mellan de olika alternativen och att det är när dessa inte fungerar som ett riskbidrag från delscenariot uppstår, står man inför valet att analysera ett sk dimensionerande scenario eller eventuellt ett sk "worst case". Båda dessa fall innebär att man försöker hitta ett sätt att representera en fördelning med ett enstaka värde, vilket omöjligt kan innebära något annat än en förenkling. I dimensionerande scenario fallet ställs man inför problemet att finna ett scenario för båda fallen som är relevanta att jämföra. Det finns idag dåligt underlag för val av ett representativt dimensionerande scenario. Att använda sig av "worst case" är ofta ansett att vara orimligt i dimensioneringssammanhang. Man pratar ofta om acceptabel risk i dessa sammanhang och inser att nyttan av tekniska system ofta innebär att risker måste accepteras till någon viss nivå (Grimwall m.fl., 1998).

Vår analys visar hur man med riskmått i form av medelrisk och riskprofil kan utvärdera olika dimensioneringsalternativ med hänsyn till risk, för att kunna avgöra om ett avsteg är acceptabelt eller ej. Det exempel som används i detta projektarbete är en grovt förenklad situation och har till syfte att schematiskt redovisa hur man kan gå tillväga för att komma bort ifrån enstaka scenariotänkande för att i stället se till någon form av riskmått och använda det som bas för en jämförelse.

Även med ett riskmått finns naturligtvis svårigheter att jämföra olika alternativ. Resultaten visar att medelrisken i de båda lösningarna är i samma storleksordning och att den alternativa utformningen medför en lägre medelrisk än den ursprungliga. Detta talar för att den alternativa utformningen kan användas, men samtidigt kan detta val medföra att en olycka leder till en större konsekvens, vilket inte framgår av en jämförelse baserad på medelrisk. För att kunna ta hänsyn till detta krävs att spridning i konsekvens i de olika delscenarierna studeras. Det kan t.ex. göras med hjälp av riskprofiler. Riskprofilernas utseende i det aktuella fallet innebär att en enkel tolkning om alternativen är att uppfatta som "lika säkra" går inte att göra, eftersom de korsar varandra.

I det fall då riskspridningen skiljer sig mellan två alternativ så kommer beslutet om vilken lösning som är "säkrast" att innefatta beslutsfattarens värdering av risk. Läger man samma vikt vid ett alternativ där 1 person skadas tio gånger om året som för en annan utformning där tio personer skadas en gång om året? Medelrisken i de båda alternativen är samma, men en utformning innebär att en specifik olycka kan innebära höga konsekvenser. Den allmänna opinionen tenderar till att värdera situationer där höga konsekvenser är möjliga som mer riskfyllda, trots att de är sällsynta. Det skulle innebära att man lägger högre vikt av stora konsekvenser i riskmättet än för små.

I figur 10 framgår det att de båda alternativen har medelrisker i samma storleksordning, men de båda riskprofilerna korsar varandra. Det innebär just att det inte på ett enkelt sätt går att avgöra vilket alternativ som är säkrast eller om de är likvärdiga.

En metod som utarbetats för att ta hänsyn till värdering av risk, tex att större vikt läggs vid stora olyckor, är den sk nytto funktionen, men den behandlas inte vidare i den här projektarbetet.

Slutsatsen blir att riskanalys baserat på händelseträdsanalys är ett värdefullt verktyg vid analys av tekniska byten, men att det finns begränsningar. Vissa av begränsningarna diskuteras nedan.

### **Absolut eller relativ risk**

I riskanalysen så bortser vi från den s.k. brandfrekvensen, vilket kan tolkas som ett mått på antalet bränder som förväntas uppstå i lokalen under t.ex. ett år. Analysen sker utifrån förutsättningen att en brand uppstår och de möjliga delscenarion som kan tänkas uppkomma utvärderas, med utgångspunkt från tillförlitligheten hos de olika skyddssystemen i de båda lösningarna. Genom att vi bortser från brandfrekvensen så begränsas jämförelsen till att vara relativ, dvs vi kan undersöka hur alternativen förhåller sig till varandra, under förutsättning att sannolikheten för brands uppkomst inte skiljer, men inte koppla riskmättet till en absolut nivå. Det innebär att jämförelser med andra risktyper inte direkt kan göras, dvs resultatet ger inte underlag för att avgöra om pengarna som avsatts till brandskydd kan användas mer effektivt genom att satsa dem på skyddssystem mot helt andra risker.

En annan förenkling är att vi inte studerar alla olika typer av brandscenarier i byggnaden, dvs initierande händelser, som kan förekomma i lokalen. Av det spektrum med möjliga bränder som finns har vi använt oss av en s.k. dimensionerande brand, som avses vara representativ för att dimensionera skyddssystemen efter, i det här fallet brandskyddet. Det subjektiva valet av dimensionerande brand är en käpphäst vid analytisk dimensionering av brandskyddet. I handböcker och förordningstext finns otillräckliga riktlinjer, mycket beroende på att det är svårt att uttala sig generellt om "lagom" brand att dimensionera för. I en relativ jämförelse av den typ som presenteras i den här rapporten anser vi inte att val av den dimensionerande branden kommer att påverka jämförelsen av alternativen, dvs effekten av val av brand slår lika i de båda fallen.

### **Kommentarer om utvärderingsmetodiken**

En förutsättning för att utvärderingsmetodiken som presenteras i den här rapporten skall kunna användas för att fatta beslut om ett avsteg är acceptabelt eller inte är att risknivån i schablonmetoden är acceptabel. Det kan verka självklart att den skulle vara det men det finns en rad farhågor med att använda lösningar utförda enligt gängse metoder för att utvärdera risken. En anledning är att risknivån i byggnader dimensionerade enligt brandtekniska schablonmetoder tenderar till att variera vida inom en specifik klass av byggnader (Kristiansson, 1996). En annan anledning är att schablonmetoder till stor del bygger på tradition och erfarenhet och därmed dröjer det innan icke acceptabla lösningar uppmärksammas och kan undvikas. I dag sker utvecklingen och förändring i samhället snabbt och det är sannolikt att en rad händelser med hög konsekvens inte ännu uppmärksammas i schablonmetoder. Huruvida dessa händelser är acceptabla eller inte är omöjligt att uttala sig om, när effekten av olyckshändelserna inte prövats i allmänhetens ögon, men de kommer att återspeglas i den acceptabla risk som tas fram genom kvantitativ analys.

En viktig slutsats av arbetet är att en analysmetods lämplighet beror på vilken typ av osäkerheter som finns i det aktuella fallet och vilken inverkan de har på resultatet. Det är uppenbart att brand är ett komplext fenomen och att det finns omfattande begränsningar i vilka situationer som kan utvärderas med analytiska hjälpmedel eller ej. Lämpligheten av att analysera om ett avsteg är acceptabelt eller ej beror därmed av vilken typ av situation som är föremål för analys och vilka osäkerheter som är relevanta att behandla. Dessa krav kan direkt likställas som krav på riskanalysmetodiken. Att jämföra två utformningsalternativ utifrån att alla skyddssystem fungerar är förkastligt om tillförlitligheten hos systemen varierar och om konsekvensen vid utebliven funktion är olika. Även analyser som bygger på att man studerar en medelrisk eller worst case har begränsningar och man måste se val av analysmetod som en kritisk punkt vid bedömning av lämplighet att använda analytiska verktyg för att utvärdera avsteg.

### **Subjektiva sannolikheter**

Vid den typ av riskanalys som genomförts i denna rapport är det ofrånkomligt att projektören tvingas använda subjektiva bedömningar av sannolikheter. Detta innebär att det inte är säkert att två analyser av samma problem utförda av olika personer leder till samma resultat. Naturligtvis är detta inte önskvärt eftersom kraven på brandsäkerhet i byggnad skall vara samma för alla byggnader av samma typ.

Bland andra hävdar Keeney och Raiffa (1976) att så kallade subjektiva sannolikheter aldrig kan undvikas vid den här typen av beslutsproblem (t.ex. vilket brandskydd innebär minst risk?). Med subjektiv sannolikhet menas en persons uppfattning/skattning av en sannolikhet. Objektiv sannolikhet innebär en skattning av en sannolikhet där mätningar ligger bakom skattningen. Det är inte självklart att hur mycket subjektiva sannolikheter som helst skall accepteras när det handlar om att utreda huruvida en viss byggnadsutformning uppfyller bygglagstiftningen eller ej. De flesta problem som behandlas i Keeney och Raiffa kan betraktas som objektiva optimeringsproblem, d.v.s. problemet går ut på att finna ett alternativ som maximerar den förväntade nyttan och personen som utför analysen är objektiv (har inga önskemål av att det ena eller det andra alternativet skall visa sig vara det optimala). Dessa problem är dock inte samma som en brandteknisk projektör kommer att ställas inför. Det kan nämligen hävdas att projektören *inte* är objektiv i sin analys. Detta beror på att eftersom projektörens uppdragsgivare (vanligtvis en byggherre) troligtvis är intresserad av att det billigaste brandskyddet skall visa sig vara acceptabelt, så kommer projektören medvetet eller omedvetet att sträva mot att detta skall uppfyllas. Detta innebär i sin tur att de subjektiva skattningar som projektören tvingas göra löper risk att bli till fördel för det alternativ som hans uppdragsgivare föredrar (alla konsulter vill väl göra ett arbete som tillfredsställer uppdragsgivaren maximalt).

På grund av ovannämnda problem med objektivitet i projekteringsfasen av en byggnad kan oklarheter uppkomma då en projektering med den riskbaserade metoden skall granskas av någon oberoende person om inte granskaren har samma åsikter vad gäller de subjektiva bedömningarna som projektören. Vi anser att om de riskbaserade metoderna skall kunna användas för brandteknisk projektering måste vissa riktlinjer för val av sannolikheter finnas. Dessa riktlinjer skulle kunna vara i form av ett rekommenderat värde inom en viss byggnadsgrupp samt två yttre gränser. Det rekommenderade värdet skall då representera något medelvärde inom gruppen av byggnader och de två gränserna kan utgöra gränser inom vilka 95% av alla byggnader i gruppen är placerade. På detta sätt får en projektör ett värde att utgå ifrån och kan därefter motivera varför en sannolik har skattats som högre än medelvärdet inom gruppen.



## 8 Referenser

Boverket, *BBR, Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar t.o.m. BFS 1998:38*, Boverket, Karlskrona 1998.

Boverket, *Utvärdering av ändringar i byggregleringen: Brand*. Rapport 1997:9, Boverket, Karlskrona, Sweden, 1997.

Evans, D.D., Stroup, D.W., *Methods of Calculating the Response Time of Heat and Smoke Detectors Installed Below Large Unobstructed Ceilings*. NBSIR 85-3167, National Bureau of Standards, Gaithersburg, 1985.

Grimvall, G., Jacobsson, P., Thedéen, T. (editors) *Risker i Tekniska System*. Utbildningsradions förlag, Stockholm, 1998.

Jönsson, R., Frantzich, H., Karlsson, B., Magnusson, S.E., Ondrus, J., Pettersson, O., Bengtsson, S., Osterling, T., Thor, J. *Brandskydd – Teori och praktik.*, Brandskyddslaget, Stockholm, 1994.

Jönsson, R., Lundin, J., *The Swedish Case Study; Different Design Methods Applied on a High Rise Building*. *Proc. from the 2<sup>nd</sup> International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Engineering*, International Code Council and the Society of Fire Protection Engineers, USA, 1998.

Keeney, R.L., Raiffa, H., *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*, John Wiley & Sons, New York 1976.

Kristiansson, G., *On Probabilistic Assessment of Life Safety in Buildings on Fire*. *Faculty of Engineering*, University of Iceland and Dept. of Fire Safety Engineering, Lund University, Report 5006, 1996.

Morgan, M.G., Henrion, M., *Uncertainty – A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge 1990.

Palisade Corporation., *Precision Tree, User's Guide*. 1996.

Peacock, D., Reneke, P., Jones, W.W., Bukowski, R., Forney, G. *A User's Guide for FAST: Engineering Tools for Estimating Fire Growth and Smoke Transport*. NIST. Special Publication 921, Gaithersburg, 1997.

Rausand, M., *Risiko analyse, Veiledning til NS 5814*, Tapir forlag, Trondheim 1991.

## Appendix

### Appendix A

#### CFAST

För att kunna beskriva konsekvensen av en brand har programmet CFAST v2.02 (//referens//) använts. CFAST kan beräkna hur brandgaser sprids genom en byggnad samt beräkna de brandgastemperaturer som förekommer i olika rum. Programmet genomför dessa beräkningar utifrån de förutsättningar som användaren anger. Det innebär att användaren måste specificera vad som brinner och i vilken omfattning det sker. Det finns ingen automatisk brandberäkningsmodell i CFAST. Denna nackdel gör att brandens storlek måste uppskattas för varje beräkning. I det arbete som presenteras i projektet beräknas konsekvensen av bränder med olika snabba brandförlopp, sk  $\alpha^2$ -bränder.

De konsekvenser som beräknas med CFAST är höjden på brandgasskiktet som funktion av tiden. Nivåerna för dessa variabler används för att bestämma tiden då kritiska förhållanden inträffar. Med kritiska förhållanden avses ett tillstånd då utrymning genom den aktuella lokalen inte längre är möjlig. Valet av kritiska förhållanden har gjorts utifrån de anvisningar som rekommenderas i BBR (//referens//).

Sprinkleraktivering behandlas i CFAST endast genom att den använda brandutvecklingen reduceras p.g.a. sprinklerns verkan på branden. Olika inverkan av sprinklern på brandförloppet har studeras och det visar sig att vid sprinkler aktivering kommer inte kritiska förhållanden att uppstå.

#### Indata till CFAST:

Rummets geometri redovisas i avsnitt X.x. Öppningar ut antas totalt vara i storleksordning  $4\text{m}^2$ . Brandförloppet beskrivs av en sk  $\alpha^2$  brand, med tillväxthastigheten  $\alpha = 0,011 \text{ kW/s}^2$ . Nedan redovisas indatafilen från datorprogrammet.

```

VERSN      2 PROJEKTARBETE I RISKER I TEKNISKA SYSTEM
TIMES      600      0      10      10      0
TAMB      300.  101300.      0.
EAMB      288.  101300.      0.
HI/F       0.00   0.00
WIDTH     10.00  50.00
DEPTH     10.00  20.00
HEIGH     3.50   3.50
HVENT     1  2  2      1.200   2.000   0.000
HVENT     1  3  2      0.010   3.500   0.000   0.000
HVENT     2  3  1      2.000   2.000   0.000   0.000
CVENT     1  2  2      1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00
CVENT     1  3  2      1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00
CVENT     2  3  1      1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00
CEILI     GYPSUM      DEFAULT
WALLS     GYPSUM      OFF
FLOOR     CONCRETE    OFF
CHEMI     16.      0.  10.0   18100000.  300.  388.  0.150
LFBO      1
LFBT      2
FPOS      2.15   1.65   0.00
FTIME     30.    50.    90.   100.   200.   400.
FMASS     0.0002 0.0006 0.0015 0.0049 0.0061 0.0243 0.0972

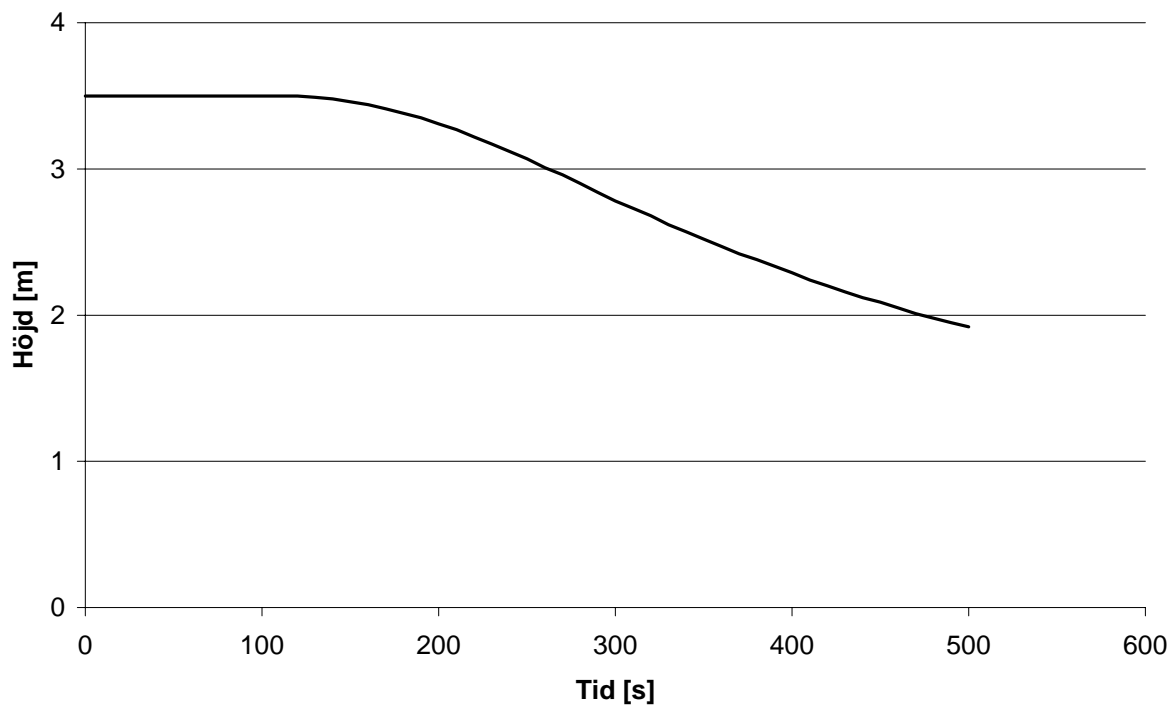
```

```

FHIGH    0.25    0.25    0.25    0.25    0.25    0.25    0.25
FAREA    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50
FQDOT    4.40E+03 1.00E+04 2.70E+04 8.90E+04 1.10E+05 4.40E+05 1.76E+06
CJET OFF
HCR      0.333  0.333  0.333  0.333  0.333  0.333  0.333
CO       0.020  0.020  0.020  0.020  0.020  0.020  0.020
OD       0.020  0.020  0.020  0.020  0.020  0.020  0.020
STPMAX   5.00
DUMPR RTS.HIS
WINDOW   -50      0   -100  1280  1024   1100
GRAPH 1  100.    050.    0.   600.  475.   10.   3 TIME HEIGHT
GRAPH 2  100.    550.    0.   600.  940.   10.   3 TIME CELSIUS
GRAPH 3  720.    050.    0.  1250.  475.   10.   3 TIME FIRE_SIZE(kW)
GRAPH 4  720.    550.    0.  1250.  940.   10.   3 TIME O|D2|O(%)
INTERFA  0 0 0 0 1    1 U
TEMPERA  0 0 0 0 2    1 U
HEAT     0 0 0 0 3    1 U
O2       0 0 0 0 4    1 U
INTERFA  0 0 0 0 1    2 U
TEMPERA  0 0 0 0 2    2 U
HEAT     0 0 0 0 3    2 U
O2       0 0 0 0 4    2 U

```

Utdata i form av brandgaslagrets höjd som funktion av tiden presenteras i figur 11.



Figur 11 Brandgaslagrets höjd i samlingslokalen.

**Detact-t2**

För att kunna bestämma detekteringstiden och aktiveringstider för rökdetektorer samt sprinkler har programmet Detact-t2 (//referens//) använts. Programmet beräknar tiderna utifrån en av användaren specificerad brandutveckling. Samma brandtillväxthastigheter har använts som för beräkningen med CFAST. Programmet tar hänsyn till både uppvärmning av sprinklerhuvudet samt transporttiden för brandgaserna att nå detektorn eller sprinklern.

**Indata till Detact T2**

Sprinkler aktivering:

Rumstemperatur: 20°C

Aktiveringstemperatur: 65°C

RTI: 50  $\sqrt{m \cdot s}$  (response time index, ett värde på den termiska trögheten)

Avstånd mellan detektorer: 3,5 m (från RUS reglerna)

Takhöjd: 3.5 m

Brandens tillväxthastighet: 0,011 kW/s<sup>2</sup>

=> aktiveringstid på ca **225 sekunder**

Rödetektoraktivering:

Rumstemperatur: 20°C

Aktiveringstemperatur: 33°C

RTI: 0.5  $\sqrt{m \cdot s}$  (response time index, ett värde på den termiska trögheten)

Avstånd mellan detektorer: 5 m (rummets geometri)

Takhöjd: 3.5 m

Brandens tillväxthastighet: 0,011 kW/s<sup>2</sup>

=> aktiveringstid på ca **60 sekunder**

**Appendix B**

För att bedöma hur många personer som inte hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår beräknas tidsmarginalen för varje enskilt delscenario, för de båda alternativen. Om tidsmarginalen blir positiv finns mer tid till förfoganden än vad som behövs, och därmed blir konsekvensen noll. Om tidsmarginalen blir negativ används detta värde för att se hur många personer det motsvarar, genom att studera utrymningsförloppet för aktuellt fall.

Dörrarna är gjorda med standardbredd 1.2 m och antalet dörrar som används vid utrymning varierar mellan 1 och 3 st, beroende på vilket utformningsalternativ som avses och om en dörr är blockerad eller ej. Enligt (//referens//) så passerar 1 person / sekund genom en 1.2 meters dörr, om lokalen är okänd för personerna som passerar. I en samlingslokal bör man förutsätta att personerna inte har vistats där tidigare när utrymningsdimensionering sker. Det antal personer som maximalt skall vistas i lokalen är enligt dimensioneringsförutsättningarna 450 st. Utrymningstiden som funktion av antalet dörrar som används i aktuellt delscenario bestäms av följande uttryck:

Utrymningstid:  $450 / \text{antalet dörrar}$

I enlighet med ovanstående resonemang beräknas antalet personer som inte hinner att utrymma med uttrycket:

Antal personer som inte hinner att utrymma =  $M * \text{antalet dörrar}$