LUND UNIVERSITY

Att visa lönsamhet med brandskyddsinvesteringar - sammanfattning av fas 2 i projektet Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet

Tehler, Henrik

2000

Link to publication

Citation for published version (APA):
Tehler, H. (2000). *Att visa lönsamhet med brandskyddsinvesteringar - sammanfattning av fas 2 i projektet Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet*. (LUTVDG/TVBB--3119--SE; Vol. 3119). [Publisher information missing].

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: 17. Sep. 2026

Att visa lönsamhet med brandskyddsinvesteringar

Sammanfattning av fas 2 i projektet ”Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet”

Henrik Johansson

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 3119, Lund 2000

Rapporten har finansierats av BRANDFORSK

Att visa lönsamhet med brandskyddsinvesteringar

Sammanfattning av fas 2 i projektet
”Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet”

Henrik Johansson

Lund 2000

Att visa lönsamhet med brandskyddsinvesteringar -
Sammanfattning av fas 2 i projektet ”Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet”

Henrik Johansson

BRANDFORSK projekt: 103-991
Report 3119
ISSN: 1402-3504
ISRN: LUTVDG/TVBB--3119--SE

Number of pages: 27
Illustrations: Henrik Johansson

Keywords
Risk analysis, uncertainties, cost-benefit, fire protection, economic optimisation, decision analysis

Sökord
Riskanalys, osäkerheter, kostnad-nytta, brandskydd, beslutsanalys

Abstract
The aim of this report has been to summarise the second phase in the project “Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet” (“Economic optimisation of fire protection in industrial buildings”). The work during phase two of the project has been concentrated on describing how uncertainties in fire risk analyses can be managed and how investments in fire protection can be motivated. The work has resulted in investment appraisals for sprinkler systems in two different buildings belonging to ABB and Avesta Sheffield. The result from those calculations was that the capital value for the investment in the for ABB was 31.000.000 SEK and for Avesta Sheffield 156.000.000 SEK. It was also concluded that the suggested methods constitute a practical and effective way to demonstrate the possible benefits received from an investment in fire protection.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2000.

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

Denna rapport är en sammanfattning av fas 2 i projektet ”Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet”. I fas 2 av projektet har två stycken rapporter publicerats, ”Osäkerhetshantering i riskanalyser avseende brandskydd” (Johansson, 2000a) och ”Beslutsanalys och investeringskalkyler avseende brandskydd” (Johansson, 2000b).

Arbetet har varit inriktat på att beskriva hur lämpliga beslutsunderlag för investeringar i brandskydd kan skapas, samt hur man kan identifiera det mest kostnadseffektiva brandskyddet för en byggnad. Med kostnadseffektivt brandskydd avses det brandskydds-alternativ som minimerar summan av kostnader för brandskyddet och kostnader på grund av brand.

Projektet har resulterat i en beskrivning av hur osäkerheter generellt kan hanteras i riskanalyser avseende brandskydd, och dessutom har underlag för att underlätta sannolikhets-bedömningar i olika industrigrupper producerats. Trots att bra underlag för sannolikhets-skattningar tagits fram kan ändå betydande osäkerheter rörande viktiga parametrar i en riskanalys kvarstå. Dessa osäkerheters inverkan på resultatet från två riskanalyser har kvantifierats i denna fas av projektet, och det har kunnat konstaterats att deras inverkan på resultatet kan vara stor (Johansson, 2000a). Den generella beskrivningen av hur osäkerheter kan hanteras visar hur en osäkerhetsanalys kan genomföras och de två praktiska exemplen illustrerar hur sådana *kan* se ut för en verklig industribyggnad. Det underlag för sannolikhetsbedömningar som producerats bygger på statistik från bränder i svensk industri under 1996, 1997 och 1998. Med hjälp av denna statistik har sannolikheten för olika brandspridning i olika industrigrupper skattats. Denna information kan användas då sannolikhetsbedömningar för en enskild industri i en viss industrigrupp skall utföras.

För att visa hur riskanalyser kan användas i beslutsprocessen angående brandskydds-investeringar har en genomgång av klassisk beslutsteori genomförts och illustrerats med exempel inom brandområdet (Johansson, 2000b). Den klassiska beslutsteorin ger grunden för hur olika brandskyddsalternativ kan värderas gentemot varandra, och för att öka möjligheten att förmedla resultaten från en beslutsanalys till personer i beslutsfattande ställning inom ett företag har traditionella investeringskalkyler använts för att visa resultatet av beslutsanalysen. Meningen med detta är att genom att använda investeringskalkyler kan en uppfattning om lönsamheten i investeringen skapas som lätt kan förklaras för personer som inte är experter inom brandområdet. För att illustrera användningen av investeringskalkyler för brandskydd har två praktiska exempel där investeringar i sprinklersystem analyserats redovisats i projektet. Investeringskalkylerna genomfördes i byggnader som tillhör ABB och Avesta Sheffield.

Det redovisade angreppssättet representerar en mycket användbar och tillförlitlig metod för att visa om det är värt att investera i skyddssystem eller inte. Företag som är intresserade att veta huruvida en viss brandskyddsinvestering är ekonomiskt motiverad eller ej kommer att ha stor nytta av resultaten. Metoden kan även användas av försäkringsbolag, antingen som en tjänst till företagen, eller för att analysera sin egen riskexponering från ett specifikt objektet. Det finns också goda möjligheter för räddningstjänsten att anamma metodiken i sitt arbete mot företagen för att visa på nyttan med olika brandskyddsinvesteringar.

Summary

This report is a summary of the second phase in the project “Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet” (“Economic optimisation of fire protection in industrial buildings”). Two reports “Osäkerhetshantering i riskanalyser avseende brandskydd” (Johansson 2000a) (“Managing uncertainties in fire risk analysis”) and “Beslutsanalys och investeringskalkyler avseende brandskydd” (Johansson 2000b) (“Decision analysis and investment appraisal concerning fire protection”) has been produced in this phase of the project.

The aim of phase 2 has been to produce a method suitable for presenting the basis for a decision concerning the investment in fire protection and to demonstrate how one can identify the most cost-efficient fire protection alternative in a building. The most cost-efficient fire protection alternative means the alternative that minimises the sum of the costs of the fire protection and the cost of fire damage.

The work during the second phase has led to suggestions for how uncertainties in fire risk analysis can be managed and how the result from such a risk analysis can be used in an investment appraisal. A practical demonstration of the suggested method have been presented in two investment appraisals for sprinkler systems in buildings belonging to ABB and Avesta Sheffield (Johansson 2000a).

The method that has been used for the investment appraisals imply that the expected annual reduction of the damage cost due to fire, because of the fire safety investment, is estimated using a quantitative risk analysis method. This expected annual reduction is used then in an traditional investment appraisal where the net present value of the investment is calculated using the investment cost, annual cost of maintenance, etc. In the two practical demonstrations of the method the net present value for the investment in a sprinkler system was estimated to be 31.000.000 SEK in the ABB-building and 156.000.000 in the Avesta Sheffield-building. Thus, both investments were deemed to be profitable.

The results indicates that the methods presented are useful when one wants to motivate an investment in fire protection. The suggested method could be of use to insurance companies as well as within the companies owning the building of interest. Moreover, the method could be used by the fire service when trying to show the benefits that a specific fire protection investment imply.

Förord

Denna rapport är en sammanfattning av fas 2 av projektet ”Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet”, vilket finansieras av BRANDFORSK. BRANDFORSK är statens, försäkringsbranschens och näringslivets gemensamma organ för att initiera, bekosta och följa upp olika slag av brandforskning. Som hjälp i denna fas av projektet har funnits en referensgrupp bestående av följande personer:

Tommy Arvidsson, BRANDFORSK
Nils Fröman, Pharmacia & Upjohn
Ingemar Grahn, Avesta Sheffield AB
Anders Olsson, Trygg-Hansa
Bo Sidmar, Asea Brown Boveri AB
Michael Hårte, Saab Military Aircraft
Ola Åkesson, Räddningsverket
Sven Erik Magnusson, LTH Brandteknik
Lars Nilsson, Försäkringsförbundet
Per Nyberg, Skandia Industri
Björn Lindfors, SKF Reinsurance Comp Ltd
Jan-Erik Johansson, Stora Risk Management
Liselotte Jonsson, Sycon
Per-Erik Malmnäs, Stockholms universitet

Sida

Sammanfattning i
Summary ii
Förord iii

1. Inledning 1
2. Osäkerheter 3
2.1. HUR OFTA BRINNER DET? 3
2.2. VAD HÄNDER NÄR DET BRINNER? 3
2.3. KUNSKAPSOSÄKERHETER 4
2.4. BAYESIANSK HANTERING AV OSÄKERHETER 5
2.5. GENERELL STATISTIK RÖRANDE BRANDFÖRLOPP 6
2.6. ABB OCH AVESTA SHEFFIELD 8
3. Beslutsanalys 11
4. Investeringskalkyler 13
4.1. ABB AUTOMATION PRODUCTS 14
4.2. AVESTA SHEFFIELD 16
5. Praktisk användning av metoderna i projektet 19
6. Resultat och diskussion 23
7. Framtida forskning 25
8. Referenser 27

1. Inledning

Denna rapport är en sammanfattning av andra fasen i projektet ”Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet”, som finansieras av BRANDFORSK.

I rapporten redovisas kortfattat vad som gjorts i projektet under fas 2 och vilka slutsatser som arbetet resulterat i. Följande rapporter har publicerats under fas 2: ”Osäkerhetshantering i riskanalyser avseende brandskydd” (Johansson, 2000a) och ”Beslutsfattande och investeringskalkylering avseende brandskydd” (Johansson 2000b).

Målet med hela projektet har varit att skapa en metod som är lämplig för optimering av en industris brandskydd. Under projektets gång har detta mål ändrats till att vara en metod lämplig för att identifiera ett kostnadseffektivt brandskydd. Anledningen till att optimering ändrades till kostnadseffektivt är att det är mycket svårt att skapa en modell som identifierar det optimala alternativet med hänsyn tagen till alla möjliga kriterier (t.ex. flexibilitet, miljö, personsäkerhet mm.) för brandskyddet i en industri och den modell som tagits fram stämmer bättre överens med ordet kostnadseffektiv. Med kostnadseffektivt brandskydd avses det brandskyddsalternativ som minimerar summan av kostnader för brandskydd och kostnader på grund av brand.

Arbetet har bedrivits genom att applicera etablerade riskanalysmetoder inom brandområdet. Arbetet har också omfattat en vidsträckt användning av beslutsteori och framtagande av bakgrundsmaterial för att kunna genomföra en analys av en industris brandskydd.

Grundproblemet som behandlas är följande: För en specifik industribyggnad finns olika alternativ för utformning av brandskyddet. Problemet består i att identifiera det alternativ som maximerar den förväntad nyttan. Med detta innebär i detta fallet att summan av kostnader för brandskydd plus de förväntade kostnaderna för brandskador minimeras.

Metoderna som har presenterats kan användas vid (1) ny- eller ombyggnad av en industrianläggning, (2) som ett medel för att kontinuerligt övervaka riskerna i en anläggning. Det första användningsområdet handlar om att jämföra olika brandskyddsalternativ och finna det alternativ som är mest kostnadseffektivt, d.v.s. minimerar kostnader på grund av brand och brandskydd. Det andra användningsområdet handlar om att kontinuerligt övervaka risken i en anläggning. Genom att utnyttja statistik om var bränder uppstått, vem som släckt dem, o.s.v. kan riskanalysen förbättras, eller uppdateras med jämna mellanrum. Detta innebär att en eventuell ökning i risknivå kan detekteras och analysen kan ge svar på varför risken ökat.

De fyra första kapitlen ger en översiktlig beskrivning av de metoder som presenterats i projektet. Kapitel fem behandlar den praktiska användningen av metoderna, vad som krävs i form av utrustning, statistik, arbetsinsats o.s.v. I kapitel sex sker en konkret presentation av resultat som nåtts under projektet och kapitel sju redovisar några förslag på fortsatt forskning inom området.

2. Osäkerheter

När man skall göra jämförelser mellan olika brandtekniska alternativ vore det tacksamt om man redan vid jämförelsen visste hur många gånger som det kommer brinna de närmaste 20 åren och vad som kommer hända då det brinner. Om detta kunde uppnås skulle problemet med att finna det mest kostnadseffektiva brandskyddet inte vara speciellt svårt. Det mest kostnadseffektiva alternativet skulle lätt kunna identifieras genom att summera alla kostnader på grund av brand i de olika alternativen och sedan räkna ut vad brandskyddet i alternativen kostar. Det går naturligtvis inte att erhålla information om bränder i framtiden och därför kan man inte använda sig av exakta kostnadsberäkningar. Detta är anledningen till varför man använder sig av riskanalyser då man fattar beslut.

Ett vanligt sätt att fatta beslut är att använda det *förväntade* värdet. När det gäller brandskydd och kostnadseffektivitet skulle detta innebära att den förväntade kostnaden på grund av brand och brandskydd används för att jämföra alternativ. Den förväntade kostnaden på grund av brand är dock vanligtvis mycket osäker, vilket gör att en analys med denna parameter måste kunna behandla osäkerheter och trots dessa ge bra resultat.

I denna fas av projektet har den förväntade skadekostnaden skattats genom en modell som beskriver dels hur ofta det brinner och dels vad som kan hända om det brinner.

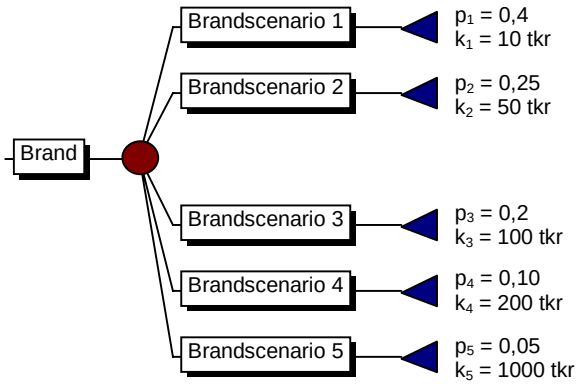
2.1. Hur ofta brinner det?

Hur ofta det brinner i en industri har stor effekt i en riskanalys. Vanligtvis anges detta som brandfrekvensen per år, d.v.s. hur många bränder som i medeltal inträffar under ett år. Även om man vet en exakt brandfrekvens råder det osäkerhet angående hur många bränder som uppkommer under ett *specifikt* år; sannolikheten för ett visst antal bränder under ett specifikt år brukar beskrivas med en statistisk fördelning som kallas Poisson-fördelningen. Genom att ange en brandfrekvens och en tidsperiod kan man via Poisson-fördelningen erhålla sannolikheten för ett visst antal bränder per tidsperiod. Förutsättningen för att antalet bränder skall kunna beskrivas med en Poisson-fördelning är att deras uppkomst kan betraktas som slumpmässig och oberoende av varandra.

Genom brandfrekvensen kan man alltså beskriva sannolikheten för ett visst antal bränder under ett år, och för att beräkna den förväntade skadekostnaden under ett år multiplicerar man den förväntade skadekostnaden vid *en brand* med brandfrekvensen *per år*.

2.2. Vad händer när det brinner?

Den förväntade skadekostnaden vid *en brand* kan beräknas genom att skapa en modell över vad som kan hända då brand uppstår. Man identifierar då de brandscenarier som man anser möjliga och bedömer sannolikheten att de inträffar, givet att brand uppkommit. Dessutom skall en monetär konsekvens skattas för varje brandscenario, d.v.s. en bedömning av vad skadekostnaden blir om brandscenariot skulle inträffa. Som exempel kan Figur 1 användas. Där illustreras att om en brand inträffar kan fem typer av brandscenarier uppkomma, varav brandscenario 1 är det som är mest sannolikt och brandscenario 5 är det minst sannolika.



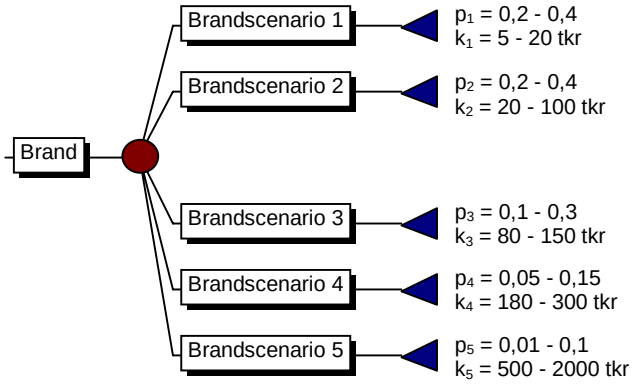
Figur 1 Beskrivning av olika möjliga brandscenarier med hjälp av händelseträd.

Den förväntade skadekostnaden då en brand uppkommer i anläggningen som händelseträdet i Figur 1 beskriver är 106,5 tkr/brand. Om detta värde multipliceras med brandfrekvensen (bränder per år) erhålls den förväntade skadekostnaden per år, vilken i kombination med kostnaden för brandskyddet i alternativet kan användas för att identifiera det mest kostnadseffektiva brandskyddsalternativet.

Det som har beskrivits i modellen hittills kan betraktas som en representation av de *stokastiska* osäkerheterna i ett brandförlopp. Detta innebär att man inte kan veta vilket av de olika brandscenarierna som uppkommer då det brinner i anläggningen eller exakt hur många bränder som uppkommer under en tidsperiod. Det är dock så att om ett större antal bränder skulle uppstå skulle fördelningen mellan de olika brandscenarierna vara samma som sannolikhetsfördelningen mellan dem och det antal bränder som i medeltal uppstår under ett år är ungefär samma som brandfrekvensen. Men hur kan man veta att sannolikhets-fördelningen och brandfrekvensen i modellen har de rätta värdena?

2.3. Kunskapsosäkerheter

Det är trots mycket kunskap om bränder och brandförlopp inte lätt att skatta sannolikheter för de olika möjliga brandförloppen och det kan också vara svårt att veta exakta kostnader för de olika brandscenarierna. För att underlätta bedömningen av både sannolikheter och konsekvenser kan dessa värden anges som ett intervall i stället för som ett exakt värde. Ett exempel illustreras i Figur 2.



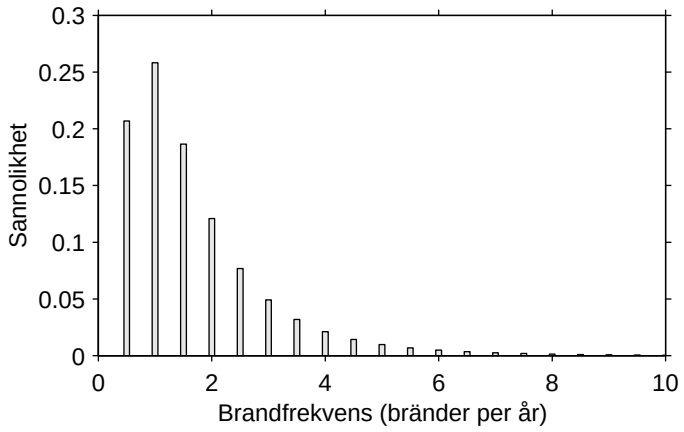
Figur 2 Beskrivning av olika brandscenarier där sannolikheterna och konsekvenserna är osäkra.

När man i modellen inkluderar denna typ av osäkerhet, d.v.s. en osäkerhet angående ett värde i modellen som används för att representera en slumpmässig situation, brukar man använda uttrycket *kunskapsosäkerhet*. Med kunskapsosäkerhet menas att det finns ett exakt värde på parametern som beskrivs, men på grund av bristande information vet man inte värdet exakt och måste då representera värdet med ett intervall eller en statistisk fördelning.

Vad händer då med den förväntade skadekostnaden då man inför kunskapsosäkerheter i modellen? Eftersom den förväntade skadekostnaden beräknades genom att summera produkten av sannolikheter och konsekvenser kommer denna parameter att påverkas av att sannolikheterna och konsekvenserna inte kan anges exakt. Om sannolikheterna och konsekvenserna anges som intervall kommer den förväntade skadekostnaden också att kunna anges som ett intervall och om sannolikheterna och konsekvenserna anges som statistiska fördelningar kommer också den förväntade skadekostnaden att kunna anges som en statistisk fördelning.

2.4. Bayesiansk uppdatering

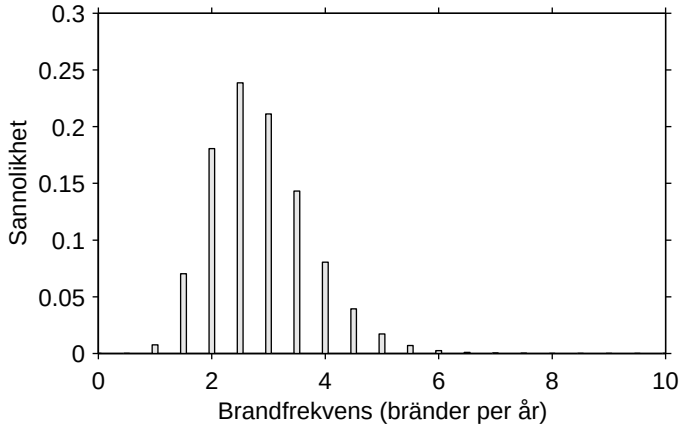
En mycket värdefull metod för att minska osäkerheten i riskanalyser av det slag som denna rapport avser behandla är den bayesianska uppdateringen. Bayesiansk uppdatering innebär, om exempelvis brandfrekvensen skall skattas, att i stället för att skatta ett enda värde för frekvensen anger man en sannolikhetsfördelning. Sannolikhetsfördelningen skall visa vilka värden som personen, eller gruppen, som gör analysen anser mest troliga för brandfrekvensen. Denna fördelning kallas för *apriori-fördelning* och skattas alltså subjektivt med hjälp av generell statistik från industrigruppen som den aktuella anläggningen tillhör samt med hjälp av besiktningar av byggnaden. En diskret apriori-fördelning kan till exempel se ut som i Figur 3. Där framgår det att personen som gjort skattningen anser att brandfrekvenser nära två bränder per år är de mest sannolika och att brandfrekvensen skulle vara över sex bränder per år har bedömts som mycket osannolikt.



Figur 3 Exempel på apriori-fördelning för brandfrekvensen.

När apriori-fördelningen är skapad kan ny statistik från den aktuella byggnaden användas för att förbättra eller uppdatera den ursprungliga skattningen. Denna förbättring utförs genom att använda Bayes sats i kombination med den nya statistiken. Den nya statistiken kan till exempel bestå i att det under det senaste tre åren uppstått tio bränder. Om denna information används för att uppdatera eller förbättra den ursprungliga skattningen (Figur 3) erhålls *posteriori-fördelningen* (den resulterande fördelningen) i Figur 4. I figuren framgår att den mest sannolika brandfrekvensen har ändrats från två bränder per år till tre bränder per år och

dessutom har sannolikheten för låga brandfrekvenser (en brand per år eller mindre) blivit mycket liten.



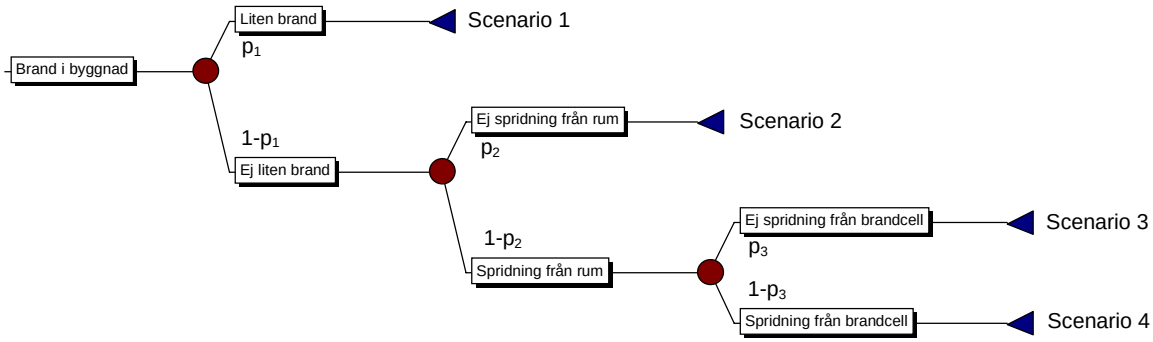
Figur 4 Exempel på posteriori-fördelning efter att Bayes sats använts.

Bayes sats är mycket viktig i denna metodik och en stor del av rapporten ”Osäkerhets-hantering i riskanalyser avseende brandskydd” (Johansson, 2000a) ägnas åt att redogöra för den bayesianska uppdateringen. En fördel med uppdateringen är att oavsett vilken bedömning som först görs angående den parameter som skattas så kommer resultatet att bli detsamma, bara mängden statistik är tillräckligt stor. Detta betyder att den inledande subjektiva skattningen av parametern inte har så stor betydelse om man har tillgång till en stor mängd statistik. En annan fördel med uppdateringen är att den är väldigt enkel att genomföra. Om en dator används för att hantera uppdateringen går den att genomföra med mycket liten arbetsinsats, vilket betyder att i ett långsiktigt riskhanteringsperspektiv är metodiken mycket lämplig att använda.

2.5. Generell statistik rörande brandförlopp

Det kan vara svårt att åstadkomma den första skattningen av en sannolikhet, d.v.s. den så kallade apriori-fördelningen. Till att börja med måste man förlita sig på erfarenhet och generell statistik, och när det gäller vissa sannolikheter finns det mycket lite kunskap, vilket innebär att skattningen blir osäker. För att underlätta vid skattning av apriori-fördelningen av vissa sannolikheter som har med brandförloppet att göra har en undersökning av generell statistik genomförts. Målet med undersökningen är att presentera skattningar av sannolikheter inom en *industrigrupp*.

Meningen är att genom att veta sannolikheten i industrigruppen som den aktuella byggnaden tillhör så skall det bli lättare att skatta sannolikheten i den specifika anläggningen. För att skatta sannolikheter som påverkar ett brandförlopp måste först en modell skapas. Den modell som använts för ett brandförlopp redovisas i Figur 5.



Figur 5 Generell modell för ett brandförlopp.

I figuren syns att de sannolikheter som används kallas p_1, p_2 och p_3 och är alltså sannolikheter i en grupp av industrier, till exempel metallindustri. De olika scenarier som redovisas i modellen har att göra med brandens slutliga utbredning. När räddningstjänsten gjort en insats lämnas information om brandens storlek vid framkomst och vid släckning. Det är dessa uppgifter som används för att identifiera huruvida de olika bränderna kan klassas som Scenario 1, 2, 3 eller 4. Här följer en förklaring av de olika scenarierna.

Scenario 1
Om brandens omfattning vid ankomst angivits som ”Släckt/slocknad” eller ”Endast rök-utveckling” samt släckningen av branden angivits som ”I startföremålet” eller ”I startrummet” betraktas branden exemplifiera Scenario 1. Scenario 1 innebär att branden blivit begränsad i utbredning. Orsaken kan till exempel vara att personalen släckt branden, att bränslebrist förelegat eller att någon typ av släcksystem har aktiverats.

Scenario 2
Bränder vars omfattning vid räddningstjänstens ankomst angivits som ”Brand i startföremålet” anses inte kunna tillhöra Scenario 1. Detta beror på att Scenario 1 innefattar små bränder som slocknat snabbt eller släckts av personal eller släcksystem. Om det fortfarande brinner när räddningstjänsten kommer till platsen, d.v.s. ”Brand i startföremål” har noterats , betraktas personalens och eventuella släcksystems släckinsats som misslyckad. Bränder som angivits som ”Brand i startföremål” och som släckts i antingen startföremålet eller startrummet anses tillhöra Scenario 2. Bränder vilkas omfattning vid räddningstjänstens ankomst angivits som ”Brand i ett rum” och där släckningsplatsen angivits som ”I startföremålet” eller ”I startrummet” betraktas som Scenario 2 eftersom de inte spridit sig utanför rummet där branden uppstått, men heller inte släckts av personal eller släcksystem.

Scenario 3
Till Scenario 3 räknas alla bränder där omfattningen vid räddningstjänstens framkomst angivits som ”Brand i flera rum (samma brandcell)” utom i de fall då branden släckts i startbyggnaden eller då den spridit sig till andra byggnader (då räknas den till Scenario 4). Till Scenario 3 räknas även alla bränder där släckning skett i startbrandcellen men omfattningen vid framkomst var ett rum eller mindre.

Scenario 4
Till Scenario 4 räknas alla bränder där omfattningen vid framkomst angivits som ”Brand i flera brandceller” eller där släckning angivits som ”I startbyggnaden” eller ”Branden spred sig till andra byggnader”.

En mer utförlig beskrivning av undersökningen finns i rapporten ”Osäkerhetshantering i riskanalyser avseende brandskydd” (Johansson, 2000a).

Resultatet från undersökningen av statistiken blir skattningar av de olika sannolikheterna p_1, p_2 och p_3, vilka alltså gäller för en industrigrupp. Resultatet kan till exempel användas för att svara på frågan ”givet brand i en metallindustri, vad är sannolikheten att branden *inte* sprider sig utanför rummet där den uppkom”. Resultatet redovisas för de olika industrigrupperna samt sprinklad respektive osprinklad byggnad i Tabell 1.

Tabell 1 *Sammanfattning av sannolikhetskattningar för de olika industrigrupperna. De gråmarkerade fälten innebär att det statistiska underlaget inte varit tillräckligt för att skatta sannolikheten med ett konfidensintervall.*

	p_1		p_2		p_3	
	Ej sprinkler	Sprinkler	Ej sprinkler	Sprinkler	Ej sprinkler	Sprinkler
Metall/Maskinindustri	0,50	0,68	0,84	*0,89*	0,44	-
Kemisk industri	0,49	0,46	0,83	*0,79*	*0,14*	-
Livsmedelsindustri	0,48	*0,45*	0,84	*0,91*	*0,25*	-
Textil/Beklädnadsindustri	0,48	*0,37*	*0,71*	*0,92*	-	-
Lager	0,25	-	0,66	-	*0,13*	-
Trävaruindustri	0,36	0,45	0,74	0,71	0,24	*0,21*
Annan tillverkningsindustri	0,49	0,60	0,85	0,76	*0,18*	*0,63*
Reparationsverkstad	0,20	-	0,57	-	0,20	-
Industrihotell	0,25	-	0,58	-	*0,34*	-

De siffror som är kursiverade innebär en osäker skattning, d.v.s. antalet bränder som legat till grund för skattningen har varit lågt. I Johansson (2000a) redovisas de skattningar som inte är kursiva tillsammans med ett konfidensintervall med konfidensgraden 0,95.

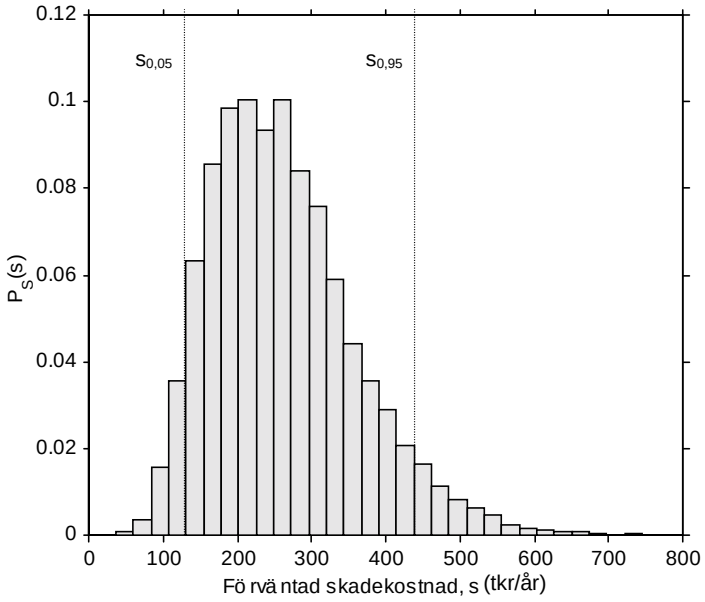
Skattningarna som redovisas i Tabell 1 kan användas som utgångspunkt då liknande sannolikheter skall skattas i en *specifik* byggnad. Till exempel kan sannolikheten att en brand som uppstått i en metallindustri sprider sig utanför rummet där den börjat skattas med hjälp av p_1 och p_2. I tabellen kan ses att sannolikheten att en brand i en metallindustri utvecklas enligt Scenario 3 eller 4 (spridning utanför initialrummet) är 0,08*(1-0,50)*(1-0,84). Detta kan användas som ett utgångsläge för bedömningen i den enskilda industrin.

2.6. ABB och Avesta Sheffield

Den första rapporten i fas 2 av projektet ”Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet” behandlade osäkerheter i tidigare gjorda riskanalyser. Genom att skatta osäkerheten i sannolikheter och konsekvenser kunde en fördelning för den förväntade skadekostnaden skapas. Avsikten med detta vara att undersöka hur stor variation i den förväntade skadekostnaden som erhålls då man tar hänsyn till osäkerheter. Detta genomfördes i två analyser som utfördes hos ABB Automation Products och Avesta Sheffield.

I båda dessa fall visade det sig att osäkerheterna var betydande, d.v.s. den förväntade skadekostnaden kunde variera inom ett stort område på grund av osäkerheterna. Resultaten, som erhållits genom Monte Carlo-simulering, illustreras i Figur 6 och Figur 7. I figurerna

finns också approximativa[1] 90-procentiga konfidensintervall markerade. Detta innebär att den ”korrekta” förväntade skadekostnaden med 90 procent säkerhet är placerad inom konfidensintervallen. Det bör observeras att den förväntade skadekostnad som avses är summan av egendoms- och avbrottskostnader.



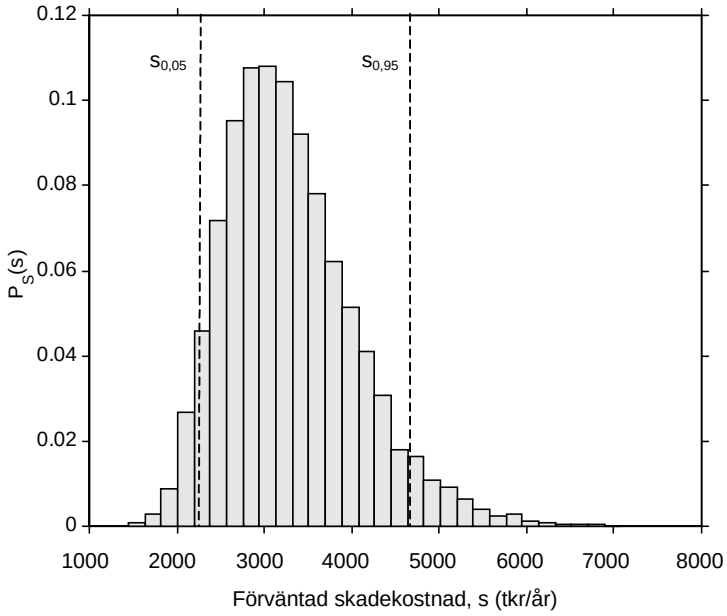
Figur 6 Sannolikhetsfördelningen för den förväntade skadekostnaden i ABB-byggnaden.

I byggnaden som tillhör ABB blev medelvärdet för den förväntade skadekostnaden **260 tkr/år**. 5%-kvantilen är ungefär 130 tkr/år och 95%-kvantilen 440 tkr/år, vilket betyder att osäkerheten i den förväntade skadekostnaden är förhållandevis stor och kan variera betydligt från medelvärdet. Den *förväntade* skadekostnaden är mycket liten i förhållande till den maximala skadekostnad som kan uppkomma, vilken i ABB-byggnaden är någonstans mellan 1.000 mkr och 2.000 mkr.

Den förväntade skadekostnaden är mycket högre i anläggningen som tillhör Avesta Sheffield. Sannolikhetsfördelningen för den förväntade skadekostnaden illustreras i Figur 7, där även 5%- och 95%-kvantilerna är markerade.

Medelvärdet för den förväntade skadekostnaden blir **33.000 tkr/år** och osäkerheten i denna skattning kan beskrivas genom ett approximativt konfidensintervall med konfidensgraden 0,90 för skadekostnaden. Detta konfidensintervall sträcker sig mellan 23.000 tkr/år och 47.000 tkr/år. Den maximala skadekostnad som kan bli konsekvensen av en brand i Avesta Sheffield-byggnaden skattades till mellan 3.000 mkr och 4.000 mkr.

[1] *Approximativa* konfidensintervall används eftersom metoden med vilken de tagits fram med är numerisk och alltså går det inte att ange exakta konfidensintervall.



Figur 7 Sannolikhetsfördelningen för den förväntade skadekostnaden i Avesta Sheffields anläggning.

Från dessa två analyser framgår klart att den *absoluta* variationen i den förväntade skadekostnaden kan vara mycket stor om man tar hänsyn till osäkerheter vid beräkningen. Detta kan utgöra ett problem om man skall försöka skapa *absoluta* riskacceptanskriterier.

Målet med fas 2 i projektet var dock inte enbart att undersöka *absoluta* variationer i den förväntade skadekostnaden på grund av osäkerheter utan även att undersöka *relativa* variationer. Med relativa variationer avses variationer i *skillnaden* i den förväntade skadekostnaden mellan två alternativ. Denna variation är viktig då jämförelser mellan alternativ skall göras, eller då beslut om vilket alternativ som skall väljas fattas.

3. Beslutsanalys

Problemet med att finna kostnadseffektiva brandskyddsalternativ kan betraktas som ett beslutsproblem där man har olika alternativ. Alternativen är i detta fallet olika utformning av brandskyddet i en industrianläggning.

För att introducera tankesättet som används inom klassisk bayesiansk beslutsanalys redovisades en genomgång av olika modeller som används inom beslutsanalysen i rapporten ”Beslutsanalys och investeringskalkylering avseende brandskydd” (Johansson, 2000b).

Generellt kan sägas att beslutsanalysen går ut på att på ett strukturerat vis analysera de alternativ som man har och sedan välja det alternativ som förväntas ge störst positiva effekter. Detta är naturligtvis inte lätt eftersom osäkerheten angående framtida utveckling för de olika alternativen ofta är stor. Osäkerheterna hanteras i den klassiska beslutsanalysen genom att beslutsfattaren anger vilka olika *tillstånd* som kan uppkomma. Med tillstånd menas något som påverkar vilken konsekvens som drabbar beslutsfattaren och som beslutsfattaren själv inte kan kontrollera. Att beslutsfattaren inte själv kan kontrollera vilket tillstånd som uppkommer innebär att han/hon måste ange en sannolikhet för varje tillstånd som är möjligt.

Då de olika tillstånd som kan påverka beslutet är identifierade och sannolikheter för tillstånden är skattade kan beslutsfattaren sammanfatta beslutssituationen i en beslutsmatris. En beslutsmatris kan konstrueras genom att i den kolumn, i matrisen, som är längst till vänster ange alla de alternativ som är tänkbara för beslutet. Därefter anges alla olika möjliga tillstånd i den rad som är längst upp i matrisen. Sedan kan de konsekvenser som uppkommer då ett visst alternativ valts och ett visst tillstånd uppkommit placeras på de platser i matrisen som är på samma rad som alternativet och i samma kolumn som tillståndet. Som exempel på en generell beslutsmatris kan Figur 2 användas.

	Tillstånd				
Alternativ	s_1	s_1	.	.	s_m
a_1	$o_{1,1}$	$o_{1,2}$			$o_{1,m}$
a_2	$o_{2,1}$	$o_{2,2}$			$o_{2,m}$
.	.	.			.
.	.	.			.
a_n	$o_{n,1}$	$o_{n,2}$			$o_{n,m}$

Figur 8 *Generell modell av en beslutsmatris där a är alternativ (alternative), s är tillstånd (state) och o är konsekvenser (outcome).*

Med hjälp av beslutsmatrisen kan man alltså se de olika alternativ man har, vilka tillstånd som kan uppkomma och vilka konsekvenser detta resulterar i. För beslutsproblem gällande brandskydd är beslutsmatrisen inte fullt så användbar. Anledningen till detta är att antalet tillstånd är mycket stort då det gäller brandproblem. Det som är användbart från den klassiska bayesianska beslutsteorin är i stället principen enligt vilken beslut fattas. Beslutsprincipen i den klassiska bayesianska beslutsanalysen innebär att det alternativ som har den högsta förväntade nyttan skall väljas. Nyttan kan i detta fallet anses vara synonymt med monetärt utfall, d.v.s. att maximerad förväntad nytta innebär att man maximerar det förväntade monetära utfallet. I praktiken har det dock visat sig att detta inte alltid stämmer – och speciellt inte då stora förluster är möjliga – men vid små konsekvenser samt om det kan antas att beslutsfattaren är riskneutral är nytta och monetärt utfall samma sak. Riskneutral avser en beslutsfattare som alltid fattar sina beslut med ledning av det förväntade monetära värdet i en osäker situation. Det är dock sannolikt så att de flesta beslutsfattare kan karaktäriseras som riskundvikande, d.v.s. personen väljer hellre att med säkerhet erhålla det förväntade monetära

värdet av en osäker situation än att delta i situationen. Ett exempel på riskundvikande är en person som ställs inför följande val: antingen kan personen välja att delta i ett lotteri där han/hon med 10% sannolikhet vinner 100.000 tkr och med 90% sannolikhet vinner 1 tkr eller så kan han/hon välja att erhålla 5.000 tkr med säkerhet. Det förväntade värdet av lotteriet är ungefär 10.001 tkr, och om man väljer den säkra summan 5.000 tkr i stället för att chansa i lotteriet, är man riskundvikande. Mer om nyttoteori, vilket behandlar situationer liknande den som precis beskrevs, finns i Johansson (2000b).

I stället för att presentera brandskyddsproblem som beslutsmatriser har i detta projekt valts att presentera problemet som händelseträd. Händelseträdet beskriver vad som kan inträffa om en brand uppstår i en anläggning och ger som resultat ett antal olika brandscenarier, vilka kan sägas motsvara de olika tillstånden i beslutsmatrisen. Dessutom tas hänsyn till hur ofta en brand kan tänkas uppkomma genom att skatta en brandfrekvens för anläggningen. Genom att beräkna den förväntade skadekostnaden *per brand* för anläggningen via händelseträdet och multiplicera detta värde med brandfrekvensen erhålls den förväntade skadekostnaden *per år*.

Då man är intresserad av att välja mellan olika brandskyddsutformningar så är det egentligen inte det absoluta värdet av den förväntade skadekostnaden för ett alternativ speciellt intressant. Det intressanta är i stället skillnaden i förväntad skadekostnad mellan alternativen. Denna skillnad är dock inte svår att beräkna om man har beräknat den absoluta förväntade skadekostnaden för två alternativ. Vad man gör vid jämförelser är att man jämför skillnad i ”säkra” kostnader till exempel investeringskostnad och underhållskostnad samt skillnad i förväntad skadekostnad. På detta sätt kan skillnaden i totalkostnad för båda alternativen beräknas och det mest kostnadseffektiva alternativet identifieras.

4. Investeringskalkyler

Investeringskalkyler är en form av beslutsanalys där man genom att undersöka olika alternativa investeringars nytta försöker hitta det alternativ som har de största ekonomiska fördelarna. Anledningen till att denna typ av modell används för brandskydd är att modellerna redan används i företagen då investeringskalkyler tas fram och att det är att betrakta som en fördel om man kan förmedla beslut om brandskydd med hjälp av modeller som redan är accepterade. Den kalkylmodell som anses mest lämpad att använda är den så kallade kapitalvärdesmetoden eller nuvärdesmetoden.

Kapitalvärdesmetoden går ut på att beräkna det så kallade kapitalvärdet för en investering. I kapitalvärdesmetoden ingår kalkylräntan som en viktig del. Kalkylräntan används för att nuvärdesberäkna in- och utbetalningar som ligger längre fram i tiden än grundinvesteringen. Anledningen till nuvärdesberäkningen är att en inbetalning av 100 tkr som infaller om fem år inte är likvärdig med en inbetalning av 100 tkr som infaller idag. De 100 tkr som erhålls idag kan investeras och är då värda mer än 100 tkr om fem år. Detta innebär att för att kunna jämföra betalningar som inträffar i framtiden med betalningar som inträffar idag måste en nuvärdesberäkning göras.

Vad man gör då man använder kapitalvärdesmetoden är att man jämför två alternativ, ett där den aktuella investeringen genomförs och ett där pengarna som skulle investerats i stället placeras med kalkylräntan som avkastning. Om kapitalvärdet är noll är investeringen lika lönsam som att sätta pengarna på banken med kalkylräntan som avkastning och om kapitalvärdet är positivt är investeringen lönsammare än att placera pengarna till kalkylräntan.

Vid investeringskalkylering måste man utse en tidshorisont för investeringen och när det gäller de investeringskalkyler som utförts i fas 2 av projektet ”Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet” har tiden 40 år valts. En känslighetsanalys där den tekniska livslängden minskades till 30 år visade endast en marginell påverkan på kapitalvärdet.

Tillvägagångssättet vid investeringskalkylen är att beräkna alla förväntade in- och utbetalningar under investeringens ekonomiska livslängd, samt att nuvärdesberäkna de betalningar som ligger längre fram i tiden än grundinvesteringen. När det gäller de exempel som har använts i projektet har, förutom grundinvesteringen, även drift- och underhållskostnad samt sänkning i förväntad skadekostnad beaktats. Ett antagande som görs vid kalkylen är att alla in- och utbetalningar som inträffar under ett år i stället antas inträffa vid årets slut.

Den ekvation som använd vid beräkningen av kapitalvärdet illustreras i ekvation (1.1), där *KV* är kapitalvärdet, *G* är grundinvesteringen, *a* är det årliga inbetalningsöverskottet, *i* är kalkylräntan och *n* är den ekonomiska livslängden.

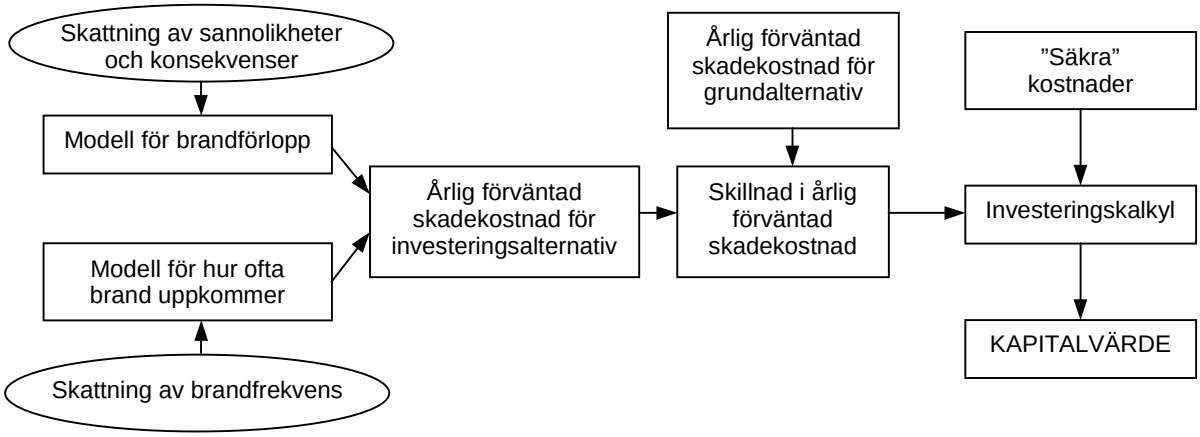
$$KV = -G + a \cdot \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{(1+i)^k} \qquad (1.1)$$

Då denna ekvation används för att beräkna kapitalvärdet av en brandskyddsinvestering bortses från inflation och prisförändringar av exempelvis underhållskostnad. Dessutom tas ingen hänsyn till skatteeffekter eller huruvida investeringen har ett restvärde eller ej. För en mer utförlig diskussion om detta hänvisas till Johansson (2000b).

Det årliga inbetalningsöverskottet, *a*, i ekvation (1.1) beräknas, då man är intresserad av investeringar i brandskydd, genom att summera de ”säkra” årliga kostnaderna och de ”osäkra” positiva effekterna av investeringen. De säkra kostnaderna kan exempelvis vara underhållskostnader för ett sprinklersystem. De mer osäkra positiva effekter som en investering medför uttrycks som en reducering av den förväntade skadekostnaden, vars värde beräknas enligt metoden som beskrevs i kapitel 2.

När man beräknar reduktionen av den årliga förväntade skadekostnaden kan man i princip välja två tillvägagångssätt. Det första sättet innebär att man försöker skatta alla de kostnader som drabbar beslutsfattaren (företaget). Detta kan dock vara svårt eftersom det kan finnas kostnader som är mycket svåra att kvantifiera, men som man ändå anser relevanta för analysen. Till exempel kanske man vill ha med kostnaden för utebliven försäljning efter försäkringens ansvarstid. Eftersom modellen tillåter att man anger kostnader på ett icke exakt vis är det möjligt att i dessa fall ange mycket stora intervall för en kostnad, vilket borde göra problemet något enklare. Om man inte anser att det är möjligt att skatta de kostnader som företaget drabbas av direkt kan man använda sig av exempelvis de egendoms- och avbrottskostnader som ersätts av försäkringsbolaget för att göra en beräkning av reduceringen av den förväntade skadekostnaden. Därefter kan förhållandet mellan egendoms- och avbrottskostnader och de kostnader som drabbar företaget bedömas och slutsatser kan dras med ledning av den bedömningen. Denna metod har använts i de båda praktiska investeringskalkyler som genomförts i projektet. Kalkylerna genomfördes i byggnader som tillhör ABB respektive Avesta Sheffield. Exempelvis bedömdes i Avesta Sheffield-kalkylen att storleken på de kostnader som drabbar företaget är ungefär lika stora som de egendoms- och avbrottskostnader som använts i analysen.

Investeringskalkylen kan betraktas som det sista steget i en analys av en brandskydds-investering. I Figur 9 illustreras hela analysen av investeringen, där ”investeringsalternativet” är alternativet där den aktuella investeringen genomförs och ”grundalternativet” är alternativet där byggnaden behålls i sin ursprungliga utformning.



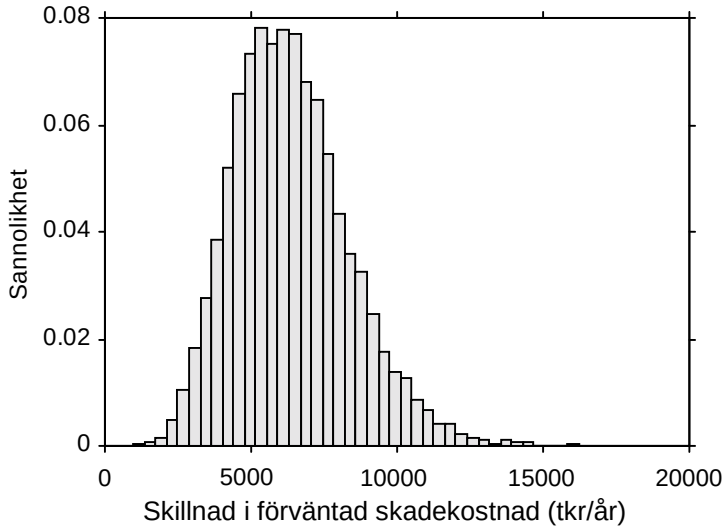
Figur 9 Illustration av tillvägagångssättet vid en analys av en brandskyddsinvestering.

4.1. ABB Automation Products

Investeringskalkylen som genomfördes för ABB Automation Products gick ut på att beräkna kapitalvärdet för en investering i ett sprinklersystem. Först konstruerades en modell där skillnaden i den förväntade skadekostnaden mellan ett alternativ utan sprinkler och ett med sprinkler kunde beräknas. Med hjälp av denna modell beräknades skillnaden i den förväntade

skadekostnaden som en fördelning. Fördelningen uppkommer på grund av att många av parametrarna som ingår i modell är osäkra och representerades med sannolikhetsfördelningar.

Den resulterande sannolikhetsfördelningen för skillnaden i förväntad skadekostnad mellan sprinkleralternativet och alternativet utan sprinkler beräknades genom Monte Carlo-simulering och resultatet illustreras i Figur 10.

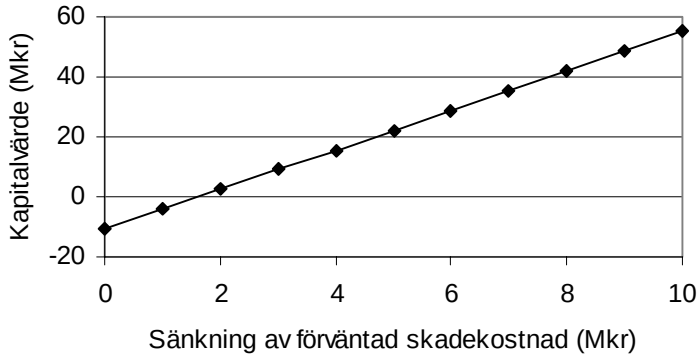


Figur 10 *Fördelningen för skillnad i den förväntade skadekostnaden mellan ett alternativ med sprinkler och ett utan sprinkler.*

I Figur 10 har beräkningen av skillnaden skett genom att subtrahera den förväntade skadekostnaden för alternativet med sprinkler från den förväntade skadekostnaden för alternativen utan sprinkler. Medelvärdet i fördelningen är **6.360 tkr/år**. Ett approximativt 90 procents konfidensintervall är placerat mellan 3.460 tkr/år och 9.960 tkr/år.

En investeringskalkyl där grundinvesteringen är 10.000 tkr (kostnaden för sprinklersystemet) och den årliga förväntade sänkningen av skadekostnaden är 6.360 tkr samt den årliga kostnaden på grund av drift och underhåll är 100 tkr ger att kapitalvärdet är ungefär **31.000 tkr**. Denna beräkning genomfördes med en kalkylränta på 15% och en teknisk livslängd på 40 år. Eftersom kapitalvärdet är positivt kan alltså investeringen betraktas som långsiktigt lönsam med dessa förutsättningar.

Man bör dock vara medveten om den stora osäkerheten i sänkningen av den förväntade skadekostnaden, varför en känslighetsanalys av denna parametern kan vara på sin plats. Känslighetsanalysen redovisas i Figur 11 där det framgår att investeringen är lönsam även om den förväntade sänkningen av skadekostnaden endast är omkring 1.500 tkr/år. Med tanke på att resultatet från Monte Carlo-simuleringen av skillnaden i den förväntade skadekostnaden resulterade i att nedre gränsen för det 90 procents konfidensintervallet var 3.460 tkr/år är det osannolikt att värdet skulle understiga 1.500 tkr/år.

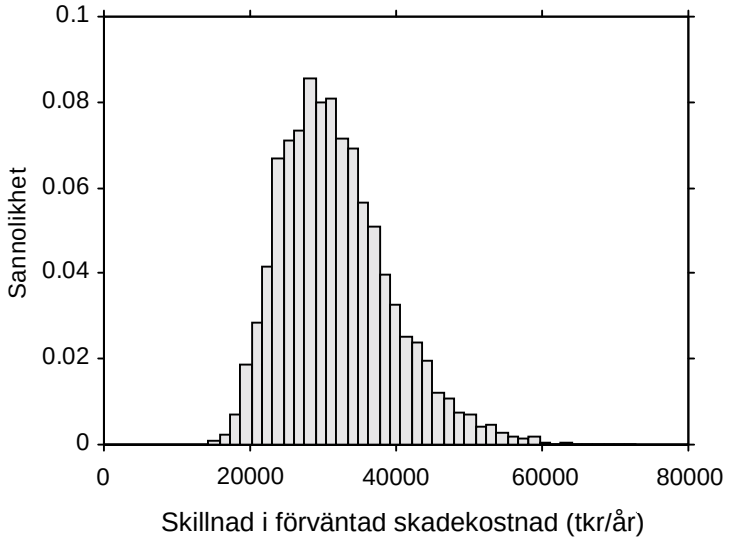


Figur 11 Känslighetsananlys av den förväntade skadekostnaden.

Det bör observeras att de skadekostnader som använts vid beräkningen är egendoms- och avbrottskostnader. Detta betyder att beslutsfattaren måste subjektivt värdera förhållandet mellan de avbrotts- och egendomskostnader som tagits med i analysen och de kostnader som verkligen drabbar företaget. Exempelvis kan beslutsfattaren se i Figur 11 att om de verkliga kostnaderna uppskattningsvis uppgår till cirka en tredjedel av egendoms- och avbrottskostnaderna så är investeringen lönsam (en tredjedel av 6.360 tkr/år är ungefär 2000 tkr, vilket fortfarande innebär lönsamhet enligt figuren).

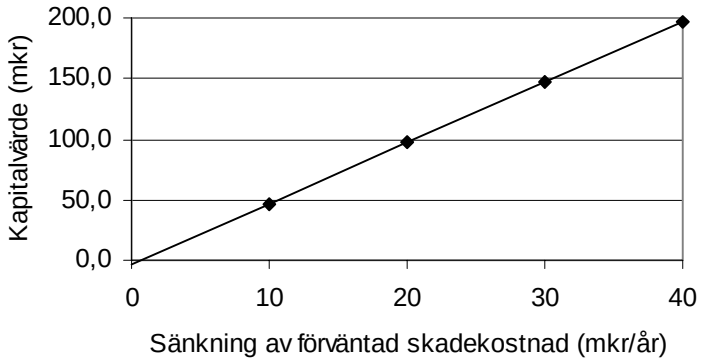
4.2. Avesta Sheffield

En investeringskalkyl genomfördes också för ett heltäckande sprinklersystem i ett kallvalsverk som tillhör Avesta Sheffield. Om man jämför denna kalkyl med kalkylen i ABB-byggnaden ser man att den förväntade minskningen av skadekostnaden på grund av sprinklersystemet är mycket större i kallvalsverket än i ABB-byggnaden. Skillnaden i förväntad skadekostnad, i Avesta Sheffield-byggnaden, mellan ett brandskyddsalternativ med respektive utan sprinklersystem kan ses i Figur 12. Medelvärdet för sänkningen av den förväntade skadekostnaden är ungefär **31.800 tkr/år**, d.v.s. en betydligt större sänkning än för ABB-byggnaden. Ett approximativt 90-procentigt konfidensintervall för sänkningen i den förväntade skadekostnaden ligger mellan 21.300 tkr/år och 45.600 tkr/år.



Figur 12 Skillnad i förväntad skadekostnad mellan ett alternativ med heltäckande sprinklersystem och ett utan.

Med hjälp av medelvärdet för sänkningen av skadekostnaden samt investeringskostnaden för sprinklersystemet på ca. 2.500 tkr, samt drift och underhållskostnaden på 50 tkr beräknades kapitalvärdet för investeringen till **156.000 tkr**. Förutsättningarna för detta är att en kalkylränta på 20% används och att sprinklersystemets tekniska livslängd är 40 år.



Figur 13 Kapitalvärdet som funktion av sänkningen av den förväntade skadekostnaden.

Från investeringskalkylen för sprinklersystemet i kallvalsverket framgår att detta kan betraktas som en långsiktig lönsam investering. Även om sänkningen av den förväntade skadekostnaden antas vara mycket låg i förhållande till det värde som använts i beräkningarna kan investeringen betraktas som lönsam.

5. Praktisk användning av resultaten från projektet

När det gäller en allmän praktisk användning av den, i projektet, redovisade metoden för att analysera risker och investeringar i form av brandskydd så verkar förutsättningarna vara mycket goda. De analyser som genomförts hos Avesta Sheffield och ABB tyder på att modellerna kan användas för att analysera både risker och investeringar på ett tydligt och logiskt vis.

En fördel med de modeller för analys av risker som presenterats är att de bygger på väletablerade teoretiska grunder, d.v.s. de utnyttjar teorier från sannolikhetsteori såväl som beslutsanalys och de kombineras på ett sätt som är lätt att följa. Just att etablerade modeller används är en stor fördel, eftersom det då går att följa och motivera hela analysen på ett bättre sätt än vad som är möjligt med enklare modeller, t.ex. indexmetoder såsom Dow's fire and explosion index eller Mond fire, explosion and toxicity index (se t.ex. Watts, 1995). Denna typ av metoder är lämpliga att använda vid grova genomgångar av risker i industrier, t.ex. i inledningsskedet av ett projekt avsett att kartlägga riskerna i en industri.

Om man börjar resonera omkring praktisk användning av metoderna som behandlats i detta projekt kan det tänkas att man börjar med den ganska enkla frågan som en anläggningsägare kan tänkas ställa sig:

Hur stor är brandrisken i min anläggning?
Vad är det för bra med att skatta risken i en byggnad?
Hur skall ett företag göra om man vill använda riskvärderingssystemet?

5.1. Hur stor är brandrisken i min anläggning?

Även om frågan är väldigt enkel, är svaret definitivt inte enkelt. För det första måste man ta reda på är vad man menar med risk och hur man värderar risk. RMT-gruppen (1999) definierar risk som ”möjligheten av en oönskad händelse”, vidare påpekar man att ”möjlighet” inrymmer två dimensioner, nämligen frekvensen eller sannolikheten för en händelse och omfattningen av händelsen.

Om man nu funderar över hur man skall kunna skapa ett mått på detta, d.v.s. ett mått på ”möjligheten av en oönskad händelse” så kan man välja flera olika vägar. Den väg som betraktas som den mest lovande innebär att man fokuserar på möjliga olycksscenarier (brand), deras sannolikhet och konsekvens. Eftersom man är intresserad av att skatta risken i hela byggnaden måste man fundera på ”alla” möjliga brandscenarier som kan tänkas uppkoma i byggnaden. Man inser snart att det inte går att identifiera ”alla” möjliga brandscenarier utan att man måste nöja sig med någon typ av approximation. Det är viktigt att man gör en så grov approximation av brandscenarierna att man anser att den kan täcka in alla möjliga brandscenarier. Till exempel så kan brandscenarierna i en mindre industribyggnad beskrivas av följande möjliga brandförlopp givet att en brand uppkommit:

- *Scenario 1:* Branden släcks eller självslocknar innan den förstört mer än försumbara värden.
- *Scenario 2:* Branden förstör 50% av produktionskapaciteten i fabriken.
- *Scenario 3:* Branden förstör hela fabriken.

Kanske tycker man att uppdelningen är lite grov och man önskar dela upp scenario 2 i flera olika scenarier. Till exempel att branden förstör pressmaskinen, att den förstör ett valsverk o.s.v. Detaljeringsgraden i analysen bestämmer till stor del hur användbar och flexibel

slutprodukten kommer att bli, och man måste hela tiden göra en avvägning mellan användbarhet och tidsåtgång.

Efter att man gjort genomgången av möjliga brandscenarier måste man också identifiera en konsekvens för varje brandscenario. Det är mycket viktigt att man bestämmer sig för vilka konsekvenser av en brand som man skall fokusera på, skall man ta hänsyn till personer som skadas, skall man beakta miljöförstöring etc. Vanligast är sannolikt att man fokuserar på personsäkerhet eller ekonomiska konsekvenser av branden. Metoderna som presenterats i denna rapport fokuserar enbart på ekonomiska konsekvenser, och följaktligen har man gjort begreppet risk mindre generellt eftersom man bara fokuserar på ekonomiska konsekvenser. Det är viktigt att vara medveten om detta när man tolkar resultatet från analysen.

Det första steget i analysen är alltså att skapa en modell över vilka olika brandscenarier som kan tänkas uppkomma i byggnaden och därefter skatta en konsekvens för dessa scenarier. En användbar teknik då det gäller skattning av konsekvenserna är att fokusera på de olika brandcellerna en i taget. Eftersom det kan vara svårt att skatta en exakt skadekostnad för en förstörd brandcell kan man tillåta skattningar av typen som visas i Tabell 2, där Min betyder den minsta bedömda skadekostnaden, Med den mest troliga och Max den största kostnaden som är förknippade med att en viss brandcell förstörs. Exemplet i Tabell 2 är hämtat från analysen av ABB-byggnaden och redovisar avbrotts- samt egendomskostnad för två brandceller.

Tabell 2 Exempel på skattning av kostnader då en brandcell förstörs (enhet: tkr).

	Min	Med	Max
Avbrottskostnad, stor brand i PK verkstaden	59400	82500	108900
Egendomskostnad, stor brand i PK verkstaden	120000	150000	180000
Avbrottskostnad, stor brand i PS verkstaden	180000	250000	330000
Egendomskostnad, stor brand i PS verkstaden	225000	250000	275000

Det kan också bli aktuellt att skatta kostnader för mindre allvarliga brandscenarier än hela brandceller som förstörs; vilka kostnader som behöver skattas beror av de brandscenarier som man väljer att ta med i analysen.

När man har skapat en lista över möjliga brandscenarier är det lämpligt att skatta sannolikheten att de olika brandscenarierna uppkommer givet att en brand uppkommit i byggnaden. I detta arbete har man nytta av händelseträdet som beskriver de möjliga brandscenarierna, statistik över brandtekniska systems tillförlitlighet, expertbedömningar etc. Resultatet av arbetet blir en lista (eller ett händelseträd) med möjliga brandscenarier och för varje brandscenario finns en konsekvens och en sannolikhet. Detta system av brandscenarier, sannolikheter och konsekvenser beskriver vad som kan hända och hur troligt det är givet att en brand har uppkommit. För att även ta hänsyn till att uppkomsten av bränder är olika i olika byggnader skall man multiplicera sannolikheten för varje brandscenario med brandfrekvensen, vilket är det *förväntade* antalet bränder per år.

Ett mått på risk som brukar användas är den förväntade konsekvensen per år, d.v.s. i detta fallet den förväntade skadekostnaden per år. Denna förväntade skadekostnad kan beräknas genom modellerna som redovisats i projektet och kan fungera som ett bra mått på risken i en byggnad.

5.2. Vad är det för bra med att skatta risken i en byggnad?

Man kan undra vad man har för nytta av att skatta brandrisken i en byggnad som en förväntad skadekostnad i en byggnad. Att bara få reda på att den förväntade skadekostnaden per år är till exempel 33.000 tkr/år (som den var i Avesta Sheffield-fallet) är i sig inte speciellt användbart. Det går till exempel inte att förvänta sig att skadekostnaden skall vara 33.000 tkr *varje* år, utan vad måttet betyder är att under en längre period så kommer medelvärdet av skadekostnaden per år att vara ungefär 33.000 tkr. Däremot går det att använda måttet som en jämförelse mellan olika byggnader för att se var riskerna är störst, men det går också att använda måttet för att analysera *förändringen* av risken i en och samma byggnad. Antag till exempel att man i en industribyggnad har låtit utbilda personalen i brandskydd och nu är man intresserad av om detta har medfört en risksänkning. Genom att uppdatera sin analys under ett antal månader eller år kan man se hur risken förändras i byggnaden och detta borde vara mycket värdefullt, dels för att man får en indikation på att risken faktiskt minskar, men också inför framtida utbildningssatsningar då man ju kan se hur stor effekt utbildningen faktiskt gav.

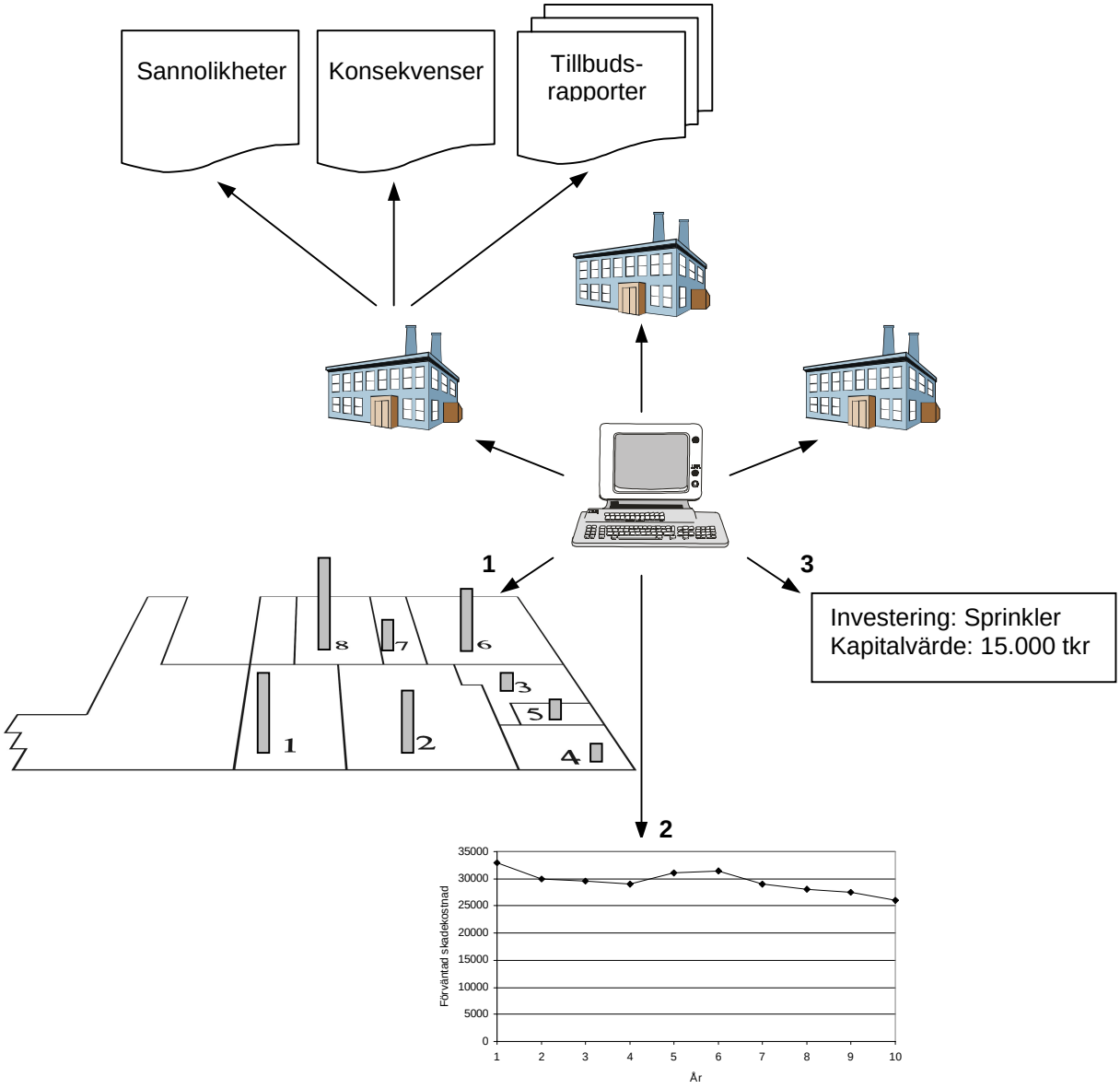
Den kanske största nyttan av en analys av det slaget som presenterats i detta projekt är dock att man kan visa lönsamheten med en investering i brandskydd. Genom att göra två analyser av en byggnad, en där utformningen är kvar i befintligt skick och en där utformningen ändras enligt investeringsplanerna (t.ex. installationen av ett sprinklersystem). Genom att analysera skillnaden i risk (förväntad skadekostnad) mellan de två utformningarna har man också erhållit ett mått på hur mycket risken kan förväntas *ändras* om man genomför investeringen. Denna ändring kan användas i en klassisk investeringskalkyl för att se om skyddssystemet, med hänsyn tagen till risksänkningen, är en lönsam investering.

5.3. Hur skall ett företag göra om man vill använda riskvärderings-systemet?

Om man vill förbättra medvetenheten om sina brandrisker, ha möjlighet till lönsamhetskalkyler för investeringar i brandskydd samt kontinuerligt följa utvecklingen av risken i sina byggnader är det lämpligt att man inför ett datorbaserat system. I systemet skall aktuella riskanalyser över samtliga byggnader som bedöms som intressanta finnas. Detta innebär att händelseträd tillsammans med skattningar av sannolikheten för olika brandutvecklingar och konsekvenser skall finnas samlade för samtliga objekt. Vidare innebär detta naturligtvis en arbetsinsats att upprätta ett sådant system, men det fina med metoden som presenterats i projektet är att när väl en modell upprättats i byggnaden kan den användas år efter år och det enda som behöver utföras för att uppdatera modellerna är enkla justeringar. Tyvärr finns det idag inget system som kan hantera alla bitarna i analysen, men man kan komma väldigt långt genom att använda kommersiell programvara för händelseträd, t.ex. Precision Tree (Palisade, 1997), tillsammans med några enkla beräkningsrutiner i exempelvis Microsoft Excel. Arbetsinsatsen för att göra en analys av en byggnad varierar naturligtvis, men en uppskattning är att det borde ta mellan 100 och 200 timmar att göra en analys av en medelstor industri med datorverktyg som finns tillgängliga idag.

Genom att föra samman analyser från samtliga byggnader av intresse i ett datorsystem skulle ansvariga personer på företaget lätt kunna erhålla en mängd värdefull information. Till exempel skulle man kunna följa utvecklingen av risken varje månad eller år för att se om den ökar eller minskar (punkt 2 i Figur 14), man skulle kunna få en illustration av hur riskerna är fördelade inom de enskilda byggnaderna, d.v.s. inom vilka brandceller som risken är störst och man kan med denna analys även illustrera skillnader inom en byggnad om ett brandskyddssystem installeras eller ej (se punkt 1 i Figur 14) eller så kan man använda systemet för att genomföra investeringskalkyler för brandskyddsinvesteringar (punkt 3 i Figur

14). Allt man behöver för att lätt kunna göra dessa analyser är att man har modellerna för brand i de olika byggnaderna lagrade i ett datorsystem, där man registrerat alla sannolikheter och konsekvenser som ingår i modellerna och dessutom har ett register över alla tillbud i den aktuella byggnaden. Tillbudsrapporterna kan nämligen användas till att kontinuerligt uppdatera de riskanalyser som utförts. Figur 14 illustrerar grundprinciperna i ett sådant system.



Figur 14 Illustration av hur ett system för värdering av brandrisker inom ett företag kan se ut.

En förutsättning för att ett sådant system skall fungera är naturligtvis att någon sköter drift och underhåll av det, men detta borde inte vara allt för betungande eftersom när väl en analys av en byggnad är gjord (vilket bedöms ta mellan 100 och 200 timmar), kan uppdateringen av analysen ske väldigt enkelt. I princip borde systemet kunna fungera genom att någon ansvarig i de olika byggnaderna (säkerhetsansvarig eller liknande) registrerar de bränder eller brandtillbud som inträffat den senaste månaden. Detta kan ske elektroniskt och på så vis direkt uppdatera analysen. När man sedan behöver en analys av någon byggnad finns det alltid en analys som är aktuell.

6. Resultat och diskussion

Fas 2 av projektet ”Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet” har varit inriktat på att visa hur osäkerheter i riskanalyser kan hanteras och hur beslutsunderlag rörande val av olika brandskydd skall kunna skapas.

De viktigaste delarna som utförts under arbetet är följande:

- Den bayesianska hanteringen av osäkerheter (uppdatering).
- Undersökning av sannolikheten för olika brandutbredningar i svensk industri.
- Två genomförda osäkerhetsanalyser (ABB och Avesta Sheffield).
- Beskrivning av hur klassisk beslutsanalys kan appliceras inom brandskydd.
- Användning av investeringskalkyler för brandskydd.
- Två genomförda investeringskalkyler (ABB och Avesta Sheffield).

Under projektets gång har det visat sig att trots stora osäkerheter går det ändå att skapa bra underlag för beslut angående brandskydd. I den första rapporten (Johansson, 2000a) framkom att osäkerheten i den *absoluta* förväntade skadekostnaden var stor, det visade sig dock att trots detta var den *relativa* skillnaden mellan två alternativ möjlig att hantera och det gick att producera entydiga beslutsrekommendationer (Johansson, 2000b).

Det bayesianska sättet att betrakta och uppdatera sannolikheter har under projektet mer och mer kommit att framstå som lämpat för både riskanalyser och investeringskalkyler rörande brandskydd. Den bayesianska uppdateringstekniken ger ett formellt sätt att hantera sammanvägning av subjektiva bedömningar och objektiv statistik, vilket är mycket användbart vid problem av den typ som analyseras i projektet. Uppdateringstekniken innebär också att ett företag kan ha en riskanalys av en byggnad som ett ”levande” dokument, d.v.s. en analys som hela tiden är aktuell. Detta åstadkoms genom incidentrapportering och genom kontinuerlig uppdatering av analysen. Uppdateringsproceduren kan med lätthet göras datoriserad och i så fall krävs endast en mycket liten arbetsinsats för att hålla analysen aktuell. I framtiden kan metoden också ge möjlighet till att utnyttja inspektioner, eller till och med brandförsvarets brandsyn, för uppdatering av riskanalyserna. Om detta skulle bli praktiskt möjligt kommer precisionen i analyserna att förbättras väsentligt.

Eftersom den bayesianska metodiken ger möjlighet att använda subjektiva bedömningar på ett formellt sätt gäller det att ta fram bra underlag för bedömningarna. Detta kan t.ex. vara sannolikheten för olika brandutbredningar som inom projektet skattats för olika industrigrupper. Meningen är att de sannolikheter som redovisas för de olika industrigrupperna skall användas när den subjektiva bedömningen av sannolikheter i den *specifika* industrin genomförs. Genom att veta medelvärdet av en sannolikhet i en industrigrupp ges då bättre förutsättningar för bedömningar i de enskilda industrierna. En förutsättning för detta arbete har varit den statistik rörande bränder som samlas in av Räddningsverket. Förhoppningsvis kommer insamlingen av statistik att fortgå och utvecklas i framtiden. Detta skulle naturligtvis öka mängden statistisk information, som medelvärdesskattningarna bygger på, vilket kommer att ge ännu säkrare skattningar. Det kan också vara så att eftersom mängden statistik i framtiden kommer att öka kanske modellen kan göras mer specifik, d.v.s. innefatta mer sannolikheter.

Den del av projektet som handlat om beslutsanalys och investeringskalkylering (Johansson, 2000b) är viktig eftersom den dels visar grunderna i den bayesianska beslutsteorin dels motiverar användandet av investeringskalkyler vid beslutsfattande angående brandskydd, men

också för att den visar två exempel på investeringskalkyler. Att investeringskalkyler används för brandskydd torde underlätta kommunikationen med personer som inte har kännedom om brandrisker. Kanske kan användningen av investeringskalkyler för att presentera resultatet av en riskanalys öka användandet av riskanalyser inom företag eftersom resultatet framstår som mer lättolkat, men också för att nyttan med brandskyddet framgår på ett tydligt sätt.

Genom de praktiska exempel som genomförts i projektet visas hur de analysmodeller som diskuteras *kan* användas praktiskt. Två exempel visar på hur investeringskalkyler kan användas för att presentera resultatet av en riskanalys. Dessa två analyser har genomförts för byggnader som tillhör ABB respektive Avesta Sheffield. Kalkylerna tyder på att en investering i ett heltäckande sprinklersystem är lönsam i båda byggnaderna, men skillnaderna mellan investeringarna är ändå stor. I ABB fallet blev kapitalvärdet 31.000 tkr, medan det i Avesta Sheffield fallet blev 156.000 tkr. Detta beror på att det övriga brandskyddet i ABB-byggnaden generellt sett är bättre än in Avesta Sheffield-byggnaden. Detta gör att investeringen i Avesta Sheffields byggnad får mycket större effekt på den förväntade skadekostnaden. Dessutom har i ABB-fallet endast kostnader som drabbar ABB Automation Products tagits med i kalkylen, medan i Avesta Sheffields fall har kostnader som drabbar hela koncernen beaktats.

Dessa två kalkyler visar på att det är möjligt att framställa beslutsunderlag för en investering i brandskydd med en rimlig arbetsinsats (uppskattningsvis 100 till 200 timmar för stor industri). Metoden gör det möjligt att presentera investeringen med hjälp av ett beräknat kapitalvärde där ett positivt sådant tyder på lönsamhet i investeringen, d.v.s. de positiva effekterna av investeringen är större än de negativa.

7. Framtida forskning

När det gäller framtida forskning inom området riskanalyser för industrier med inriktning mot brandskydd och ekonomi framstå fyra områden som mycket intressanta.

Imprecisa konsekvenser och sannolikheter

I BRANDFORSKs regi drivs idag ett projekt med mål att utveckla en programvara som gör det möjligt att analysera den typ av problem som diskuterats i denna rapport med hjälp av mycket lite information. Med detta menas att det är möjligt att finna det mest kostnadseffektiva brandskyddsalternativet även om man inte känner till speciellt mycket om konsekvenser och sannolikheter för olika utfall. Den metod som används för detta kallas Hypermjuk beslutsteori och tillåter analyser trots att sannolikheter och konsekvenser är mycket vagt beskrivna.

När det gäller praktisk applicering av metoderna krävs en programvara, men när denna är färdigutvecklad finns anledning att testa metoden på någon befintlig anläggning för att utvärdera och beskriva hur den praktiska användningen kan gå till. Vad skulle i så fall denna metod kunna erbjuda för fördelar i jämförelse med den som presenterats hittills i detta projekt? Metoden skulle kunna erbjuda snabbhet, d.v.s. tidsåtgången för en analys med hypermjuk beslutsteori bedöms som förhållandevis kort i relation till de ca 100 till 200 timmar som troligtvis behöver läggas ner på en analys med metodiken som hittills använts i projektet. Hypermjuk beslutsteori kan också ge möjlighet att lättare använda sig av vaga uttryck vad gäller kostnader i analyser eftersom metoden inte ställer krav på exakthet i informationen som används.

Uppdatering av riskanalyser med hjälp av kontroller

En riskanalys/beslutsanalys av den typ som genomförts i denna fas av projektet går att uppdatera, eller förbättra, enbart med hjälp av kontroller, d.v.s. det behöver inte brinna för att genomföra en uppdatering. Kontrollerna kan t.ex. utföras varje månad, eller kombineras med brandförsvarets brandsyner. I samband med kontrollerna kan t.ex. anteckningar angående vilka dörrar i brandcellsgränser som står uppställda, om någon röklucka inte öppnar etc. användas för att, på ett formellt sätt, uppdatera riskanalysen för byggnaden. Fördelen med att använda kontroller och inte bara incidentstatistik är att det inte behöver brinna för att man skall kunna göra en uppdatering eller förbättring av riskanalysen utan det räcker med en bedömning av systemens funktion *om* det skulle brinna. Detta tillvägagångssätt ger möjlighet att på en relativ kort tidsperiod skaffa god precision i riskanalysen, samt att snabbt bil varse förändringar i risken om sådana skulle uppkomma. Dessutom ges med denna metodik möjlighet att utnyttja den kunskap som genereras vid brandsyn. I stället för att brandsynen enbart skall användas som ett kontrollinstrument kan den bli ett verktyg som genererar värdefull information till riskanalyser. En möjlig användning för räddningstjänsten vore att hjälpa företagen med riskanalysen, och sedan använda informationen som man samlar in vid brandsynen för att hela tiden uppdatera analysen. Detta system ger också möjlighet att undersöka vilken riskreducering som skulle erhållas *om* en viss brandskyddsinvestering skulle genomföras, d.v.s. systemet registrerar inte bara förändringar i risken utan kan också användas för att motivera brandskyddsåtgärder. Om analysen dessutom kombineras med ekonomisk information om skador samt investeringskostnader kan även investeringskalkyler (se kapitel 4) för brandskydd genomföras. Även så kallade ”near-misses”, d.v.s. tillbud som inte resulterade i brand, skulle kunna användas för uppdatering.

Bayesianska nätverk

Fas 2 av projektet ”Ekonomsik optimering av det industriella brandskyddet” innefattade både bayesiansk hantering av osäkerheter och bayesiansk beslutsteori. Ett annat område som kan vara användbart för brandskyddsproblem är så kallade bayesianska nätverk. Bayesianska nätverk skulle kunna användas, i stället för händelseträd, för att modellera brandskyddet i en industri. Vilka egenskaper besitter då bayesianska nätverk som inte händelseträden har? De bayesianska nätverken utgör ett lättare och mer överskådligt sätt att presentera modellen som används. De kan dessutom användas för att dra slutsatser då man observerat någon typ av statistisk information, d.v.s. nätverket kan uppdateras. Denna förbättring påminner om den uppdatering av brandfrekvensen som tidigare utförts i projektet, men i det bayesianska nätverket kan hela nätverket uppdateras, inte bara en enda parameter. Bayesianska nätverk används för tillfället inom forskning för utveckling av artificiell intelligens hos robotar och har egenskaper som lämpar sig även för beskrivning av brandproblem i industrimiljö. Förutom nätverkens uppdateringsegenskaper går det också att modellera så kallade dolda parametrar. Med dolda parametrar avses parametrar som påverkar modellen, men som man från början inte känner till. Genom att ge nätverket information om t.ex. utgången av ett antal brandincidenter i en industri kan man erhålla information om det är troligt att det finns en annan parameter som inte tagits med i modellen, vilken påverkar resultatet.

Datorbaserat riskhanteringssystem

Ett datorbaserat system där den metodik för beslutsanalys/riskanalys som redovisats i detta projektet vore *en del* framstår som en mycket användbart verktyg. Systemet skulle kunna fungera som ett analysverktyg genom den typ av analys som genomförts i detta projektet, men också som rapporteringssystem för incidenter, uppföljning av åtgärdsbeslut, o.s.v. System för simulering av olyckors inverkan på produktion och uppföljning av åtgärdsbeslut finns redan idag, men det vore mycket användbart om dessa skulle gå att integrera med ett analysverktyg av den karaktär som redovisats i detta projekt. Fördelarna med ett sådant system är att den incidentrapportering som genomförs direkt kan användas i risk och beslutsanalyser och man kan samtidigt följa utvecklingen av brandrisken i aktuella anläggningar genom att riskanalyser kontinuerligt kan uppdateras med hjälp av incidentrapporterna.

8. Referenser

Johansson, H., 2000a: *Osäkerhetshantering i riskanalyser avseende brandskydd*, Lunds universitet, Brandteknik, Lund.

Johansson, H., 2000b: *Beslutsanalys och investeringskalkyler avseende brandskydd*, Lunds universitet, Brandteknik, Lund.

Watts, J.M., 1995: *Fire risk ranking*, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. National Fire Protection Association. 2nd ed. Quincy, 1995.

Palisade, 1997: *PrecisionTree – Decision Analysis Add-In for Microsoft Excel*, Palisade Corporation, Newfield.

RMT-gruppen, 1999: *Riktlinjer för riskhantering i samhälle och näringsliv*.