

Värdering av brandrisker i industrier

Henrik Johansson

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5055, Lund 1999

Värdering av brandrisker i industrier

Henrik Johansson

Lund 1999

Värdering av brandrisker i industrier

Henrik Johansson

Report 5055

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5055--SE

Number of pages: 29

Illustrations: Henrik Johansson

Keywords

Risk analysis, decision theory, industrial fire protection, cost-benefit

Abstract

The aim of this report has been to present a risk analysis method that can be used when the fire risk in a given industry is to be evaluated. The risk is presented as the expected monetary loss during one year due to fire. A way of comparing different fire protection strategies with respect to the expected monetary loss due to fire and the cost due to the fire protection installation during one year is also presented. The method uses statistics from the general industry category as well as the industry group that the specific building belongs to. The statistics is combined with expert judgement and measurements from the specific industry to create a sound base for the estimation of the parameters in the model.

© 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

I detta examensarbete presenteras en metodik för hur brandrisker i industrier kan värderas. Metoden kan också användas vid jämförelse mellan olika brandskyddsalternativ för att finna det mest kostnadseffektiva, d.v.s. det alternativ som minimerar summan av kostnader för brandskyddsinvesteringar och kostnader för brand.

I arbetet ingår, förutom en generell beskrivning av metodiken, även två stycken ekonomiska riskanalyser med hänsyn till brandskydd. Dessa två analyser har utförts hos ABB Automation Products och Avesta Sheffield.

Metoden som redovisas i arbetet bygger på att generell statistik från hela industrisektorn och från den industrigrupp som den aktuella anläggningen tillhör används tillsammans med expertbedömningar och mätningar i den aktuella anläggningen. Resultatet blir den förväntade skadekostnaden i anläggningen, vilket skall tolkas som medelvärdet av skadekostnaden per år om anläggningen är i drift under en längre tid. Den förväntade skadekostnaden kan beräknas både för försäkringsbolaget och företaget, det enda som skiljer beräkningarna åt är skadekostnaden som förknippas med de olika brandscenarierna. För företaget består den största delen av kostnaderna av dolda kostnader, vilka inte täcks av försäkringsskyddet. De dolda kostnaderna kan till exempel vara ökade marknadsföringskostnader, böter, förlorad försäljning mm. I detta arbete har ingen undersökning av denna typ av kostnader genomförts utan dessa har skattats av författaren. Egendomskostnader och avbrottskostnader, som drabbar försäkringsbolaget, har däremot skattats med större precision bland annat med hjälp av teknisk personal på både ABB Automation Products och Avesta Sheffield.

Sättet att använda klassisk beslutsteori som gjorts i denna rapport är mycket användbart då olika utformningar av brandskydd skall värderas eftersom metoden inte bara tar hänsyn till den kortsiktiga finansiella belastningen (på grund av investeringen i brandskydd) utan även tar hänsyn till framtida kostnader på grund av bränder. Metoden är mycket flexibel och den går lätt att anpassa till ett specifikt företag och anläggning, så att t.ex. skadekostnaderna beräknas med hänsyn till den aktuella försäkringslösningen.

Metoden kan även användas för att kontinuerligt mäta riskerna i en anläggning, vilket är användbart i den kontinuerliga riskhanteringsprocessen. Detta område (att kontinuerligt mäta risker) kommer dock att utvecklas ytterligare i framtida rapporter och presenteras endast ytligt i denna rapport.

Slutsatserna från arbetet med metodiken och de två riskanalyserna är att metodiken för värdering av brandrisken i en industri är praktiskt användbar, men att den behöver utvecklas mera inom främst områdena dolda kostnader, samt osäkerhetshantering.

Summary

In this thesis, a method for the evaluation of fire risk in industrial facilities has been presented. The method can be used for comparison of different fire protection alternatives in buildings in order to identify the most cost efficient, i.e. the one that minimises the sum of costs due to fire and costs due to fire protection.

Besides from this report, two reports (Johansson, 1999 a and b) describing practical applications of the methods is also part of the thesis. These two analyses were performed in buildings belonging to ABB Automation Products and Avesta Sheffield.

The method that is presented in this report uses statistics from the industry sector and from the specific group of industries (e.g. chemical industries) in combination with expert judgement and measurements in the specific building. The result is the expected cost due to fire, that should be interpreted as the mean value of the fire losses per year over a long period of time. The expected cost due to fire can be calculated for the owner of the building or for the insurance company, the only difference between the calculations is the calculations of costs. For the building owner (the industry) the major part of the fire costs is due to hidden losses, which is not covered by the insurance. The hidden losses could for example be cost for additional marketing campaigns, loss of sales, fines etc. In this thesis no investigation of the hidden losses has been performed, but this kind of losses has been estimated by the author. Property losses and losses due to business interruption has been estimated with the help of personnel from ABB and Avesta Sheffield.

The way of using classical decision theory in combination with statistics from the industry group is very useful when fire protection is to be evaluated. This is because the method not only focus on the short term cost due to the installation, but also on the long term effects due to the increase of safety.

The method can also be used to continuously measure the risk in a building, which is useful in the risk management process. The measuring of risk over time is only briefly discussed but will be further investigated in future reports.

The conclusions from the work with the method and the two risk analyses are that the method for measuring the risk in an industry building is practically useful, but has to be developed further in the areas of hidden losses and treatment of uncertainties.

Förord

Detta examensarbete består av tre rapporter; denna rapport, ”Ekonomisk riskanalys av ABB Automation Products verksamhet i byggnad 358” (Johansson, 1999a) och ”Ekonomisk riskanalys av Avesta Sheffields kallvalsverk i Nyby” (Johansson, 1999b). De två sista rapporterna har finansierats av Styrelsen för Svensk Brandforskning (BRANDFORSK) och ingår i projektet ”Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet”.

I arbetet med rapporterna har jag haft mycket stor hjälp av min handledare; Professor Sven-Erik Magnusson som jag vill rikta ett extra tack till.

Till min hjälp under arbetet har även 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

Till slut vill jag även speciellt tacka Bo Sidmar och Michael Zeeck på ABB samt Ingemar Grahn och Olle Österholm på Avesta Sheffield för deras hjälp vid framtagandet av de två praktiska exemplen.

	Sida
Sammanfattning.....	i
Summary	ii
Förord	iii
1. Inledning.....	1
1.1. BAKGRUND.....	1
1.2. SYFTE	1
1.3. MÅL.....	1
1.4. METOD.....	1
1.5. AVGRÄNSNINGAR.....	2
2. Att värdera risker i industrier.....	3
2.1. DETERMINISTISK RISKVÄRDERING	3
2.2. PROBABILISTISK RISKVÄRDERING.....	5
2.2.1. Brandfrekvens.....	8
2.2.2. Brandscenarier.....	11
2.2.3. Förväntad skadekostnad.....	16
2.2.4. Osäkerheter	18
2.2.5. Användning av förväntad skadekostnad	19
3. Jämförelse mellan brandskyddsalternativ	21
3.1. RISKATTITYD.....	22
3.2. BESLUTSANALYS.....	26
4. Slutsatser och diskussion	28
5. Referenser	29

1. Inledning

1.1. Bakgrund

När investeringar i brandskydd skall göras kan det vara svårt att visa nyttan med ett specifikt brandskyddssystem (t.ex. sprinkler) eller en fysisk avgränsning (t.ex. en brandcellsgräns). Personer i beslutsfattande ställning har sällan den brandtekniska kompetens som krävs för att värdera ett skyddssystem, vilket betyder att de måste förlita sig på bedömningar och rekommendationer från personer med denna kunskap. Dessa personer kan finnas inom den egna organisationen (t.ex. personal inom risk management organisationen på ett företag) eller utanför (t.ex. personal på räddningstjänst eller konsultföretag). Vanligtvis uttrycks då inte nyttan av ett brandskyddssystem kvantitativt utan beslutsfattaren får förlita sig på kvalitativa uttalanden från experter, vilka han sedan väger mot de kostnader som skyddssystemet medför. Ett exempel på ett kvalitativt uttalande är "installation av skyddssystemet innebär att riskerna i byggnaden minskas väsentligt". Denna typ av information är svår att jämföra med den kostnad som systemet medför, är det t.ex. värt 1 Mkr att installera systemet eller kanske 10 Mkr?

För att svara på frågeställningar av typen som precis presenterats måste ett annat angreppssätt än de traditionella risk-index metoderna (t.ex. Gretener metoden) användas. Detta angreppssätt borde kunna användas som grund för beslut om brandskydd, d.v.s. kunna väga fördelar mot nackdelar för olika brandskyddsalternativ. Önskvärt vore att ett sådant system kunde vara logiskt uppbyggt och accepterat hos samtliga parter i beslutsprocessen (företaget, konsult, m.fl.). Systemet borde också fokusera på den samlade risken och inte bara jämföra konsekvensen vid ett eller ett fåtal brandscenarier (se avsnitt 2.1). I en beslutsprocess skulle detta tillvägagångssätt hjälpa beslutsfattaren att fatta beslut om vilket brandskydd som skall väljas, samt i efterhand motivera varför beslutet blev som det blev.

1.2. Syfte

Syftet med detta examensarbete är att presentera en metodik som kan användas för att kvantifiera nyttan av olika brandskyddsalternativ i industrier. Detta innebär att metodiken skall kunna användas för att identifiera det mest kostnadseffektiva brandskyddet (det alternativ som maximerar den förväntade nyttan).

1.3. Mål

Målen med examensarbetet är att:

- Föreslå en metod som är lämplig för att kvantifiera brandrisker i en industrianläggning.
- Utföra två stycken praktikfall där metoden används på existerande industribyggnader.

1.4. Metod

Metoden som används i arbetet bygger på Bayesiansk beslutsteori.

Modellen som används för att kvantifiera risken består av två delar. En del där den så kallade brandfrekvensen skattas och en del där konsekvenser och sannolikheter för olika brandscenarier skattas, givet att brand har uppstått.

Risken uttrycks som den förväntade skadekostnaden per år och beräknas genom att multiplicera brandfrekvensen med den förväntade skadekostnaden, givet att brand uppstått.

1.5. Avgränsningar

I rapporten behandlas enbart risker för ekonomiska skador som uppkommer på grund av brand. Andra risker för företaget (t.ex. produktionsstopp på grund av slitage) behandlas inte i detta arbete.

Metodiken innebär att personen som utför en analys av ett företag ibland tvingas göra subjektiva bedömningar av vissa parametrar som ingår i olika delmodeller. Detta innebär att de bedömningar som gjorts i arbetet (Johansson, 1999 a och b) kan skilja sig från bedömningar gjorda av någon annan.

De skattningar av ekonomiska skador till följd av brand som gjorts i Johansson (1999 a och b) skall enbart betraktas bedömningar av författaren och inte som resultat av ABBs eller Avesta Sheffield's analys. Någon sådan analys av skador har inte ingått i detta arbete.

Känslighets- och osäkerhetsanalys kommer inte att ingå i detta arbete, utan enbart diskuteras generellt.

2. Att värdera risker i industrier

Liksom en termostat reglerar temperaturen i ett medium, är risk management organisationen i ett företag till för att reglera riskerna som företaget exponeras för. En termostat kan inte reglera temperaturen utan att först mäta den. Detsamma gäller risk management funktionen, riskerna kan inte regleras effektivt om de inte först kan värderas på något sätt.

Detta kapitel är avsett att ge ett förslag till hur brandrisker i en industri kan kvantifieras. Nyttan med metodiken för att kvantifiera brandrisker är troligtvis störst då val mellan olika brandskyddslösningar skall göras, men kan också fungera som en termometer för att övervaka brandriskerna i en byggnad. Att kapitlet (och även rapporten) är inriktad mot brandrisker innebär en viss specialisering i metodiken, men angreppssättet som används torde gå att anpassa även för andra risktyper (t.ex. stöld, naturkatastrof mm.).

Risk definieras i denna rapport på samma sätt som RMT-gruppen¹ (1999), nämligen som ”möjligheten av en oönskad händelse”. I denna rapport görs dock ett tillägg, vilket innebär en snävare definition än RMT-Gruppens. Risk betraktas i denna rapport som möjligheten av en oönskad händelse på grund av brand.

Konsekvenser kommer i denna rapport att uttryckas i monetära termer. Ingen hänsyn kommer att tas till monetära konsekvenser på grund av personskador, utan endast på grund av skador på företagets materiel.

2.1. Deterministisk riskvärdering

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

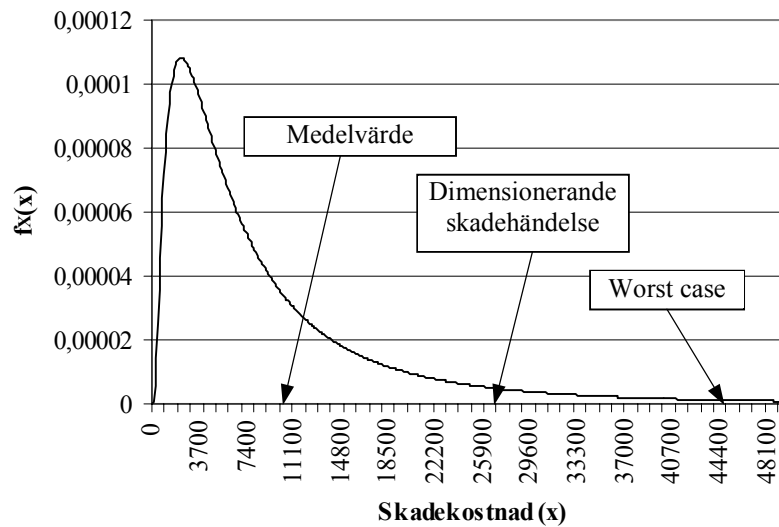
Räddningsverket (1997) anger två typer av deterministiska riskvärderingar:

- ❑ Värsta tänkbara skadehändelse (”worst case”)
- ❑ Dimensionerande skadehändelse

Den värsta tänkbara skadehändelsen är den mest omfattande skada som kan uppkomma i den studerade verksamheten. Räddningsverkets rapport är mer inriktad mot samhällsrisker än risker som kan drabba ett företag, men denna typ av resonemang kan även appliceras på en industri med avseende på ekonomiska förluster. Till exempel beräknas så kallade EML-skador (Estimated Maximum Loss) enligt Renmar (1997), genom att värdera den ekonomiska skadan vid den sannolika största skadan på en anläggning. EML-beräkningen kan användas vid värdering av en risk (till exempel då storskadetillägg skall beräknas), men beräkningen tar inte hänsyn till hur ofta händelsen kan förväntas inträffa (mer än att EML-skadan är den största *sannolika* skadan).

I Figur 1 visas en fiktiv fördelning för skadekostnaden vid en brand i en industri. Fördelningen är en lognormal fördelning, vilket Ramachandran (1998) anger som en lämplig fördelning då skadekostnaden vid en brand i en industri skall beskrivas. I figuren kan ses att den värsta tänkbara händelsen placerats någonstans i fördelningens ytterkant (worst case), vilket betyder att sannolikheten för en större skada är mycket liten.

¹ RiskManagementTeknik – gruppen (RMT), är ett informellt nätverk med syfte att främja utveckling och tillämpning av riskhantering inom näringsliv, offentlig verksamhet och samhälle.



Figur 1 Skadekostnadens (x) fördelning i en industri. Skadekostnaden mäts i kkr.

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. Det finns ingen direkt koppling till riskvärderingar då egendomsskydd är av intresse, men motsvarande beräkning skulle kunna tänkas vara skadekostnaden för ett brandscenario där de brandtekniska systemen antas fungera som avsett och alltså inte felfungerar.

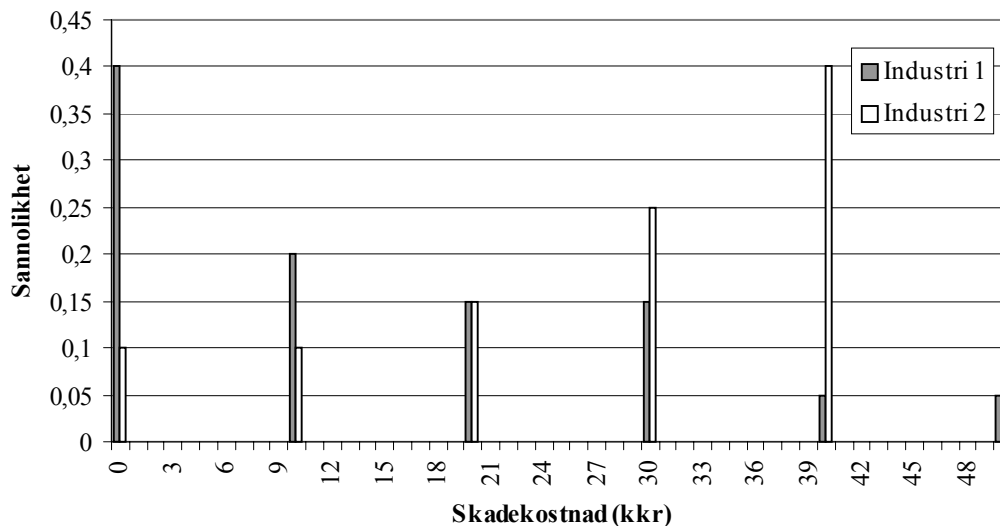
Både den dimensionerande skadehändelsen och den värsta tänkbara skadehändelsen är placerade långt till höger i fördelningen av skadekostnaden vid en brand (se Figur 1). Detta innebär att det endast är mycket sällan som dessa typer av skador kommer att inträffa. Detsamma gäller faktiskt även medelvärdet av fördelningen. Medelvärdet av den fördelning som visas i figuren är ungefär 10000 kkr och medianen ungefär 6000 kkr, vilket innebär att skadekostnaden kommer att överstiga medelvärdet i mindre än 50% av bränderna. Nu inses att fördelningen som visas i figuren troligtvis inte kan representera en verklig industri eftersom skadekostnaden i 50% av bränderna kommer att överstiga 6000 kkr. Fördelningen valdes dock inte med utgångspunkt att vara realistisk utan för att användas vid resonemanget ovan. En mer realistiskt vald fördelning skulle vara svår att presentera på ett så enkelt sätt som gjorts i Figur 1.

Två invändningar mot användandet av deterministisk riskvärdering är:

- Metoden tar inte hänsyn till hur ofta en brand beräknas uppkomma.
- Fördelningen för skadekostnaden tas inte med i värderingen.

Den första invändningen, att metoden inte tar hänsyn till hur ofta en brand förväntas uppkomma, innebär att två stycken identiska industrier med samma verksamhet kommer att betraktas lika (innebära lika stor risk) även om brandfrekvensen i en av industrierna 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 undersökts är ungefär lika kan denna invändning försummas.

Invändning nummer två innebär att en industri som i och för sig har potentialen att ge upphov till en mycket stor skada, men är försedd med mycket bra brandskydd kan komma att betraktas som om den innebär större risk än en annan industri vars maximala skada är något lägre än den första, men vars brandskydd är undermåligt (detta illustreras i Figur 2). För enkelhetens skull har fördelningarna för skadekostnaderna valts som diskreta fördelningar.



Figur 2 Exempel på fördelningar för skadekostnaden i två industrier.

Trots dessa brister kan de deterministiska riskvärderingsmetoderna användas där det är viktigare att komma fram till ett resultat snabbt än att erhålla god noggrannhet i resultatet.

Om däremot en mer rättvis beskrivning av riskerna i en industri skall åstadkommas bör så kallade probabilistiska riskvärderingar användas (Räddningsverket, 1997).

2.2. 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 brand tas med i värderingen.

Metoden som beskrivs i denna rapport är probabilistisk av naturen och innefattar alltså oönskade händelsers konsekvenser liksom deras frekvens. Det är viktigt att vara medveten om att många av de skadescenarier som bidrar till den totala risken beräknas uppkomma 1 gång på 1000 år eller ännu mer sällan. Detta innebär att det troligtvis inte finns någon erfarenhet av sådana skadescenarier och alltså måste dessa sannolikheter skattas av någon expert. Innan redogörelsen för hur dessa sannolikheter skattas kan det vara på sin plats med en genomgång av skillnaden mellan sannolikhet och frekvens.

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 innebär 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* industri 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* industri.

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 eller frekvenstolkningen av sannolikhetsbegreppet). Detta beror på att det, för många sannolikheter, inte går att göra ett större antal mätningar eftersom det inte brinner speciellt ofta i en industri. Vissa sannolikheter finns det vanligtvis inga mätningar alls av (t.ex. sannolikheten att en brandcellsgräns motstår brand). Denna brist på objektiv information i den *specifika* byggnaden gör att objektiva sannolikheter inte kan användas för denna typ av tillämpningar.

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 riktlinjer för val av de olika sannolikheterna. Ett ännu bättre sätt vore att undersöka medelvärdet av den sannolikhet som är intressant i en hel grupp av industrier (t.ex. mekanisk industri). På detta sätt fås ett utgångsläge för sannolikheten, och därifrån kan sedan bedömningar göras av hur mycket den aktuella industrin avviker från medelvärdet inom gruppen. De sannolikheter som beräknas för en grupp av industrier och som används som utgångspunkt för skattningarna i den enskilda industrin kan vara objektiva sannolikheter som erhållits genom analys av statistik från bränder.

Ett tilltalande sätt att skatta ”rätta” sannolikheter är att använda så kallad Bayesiansk uppdatering. Denna metod går i kort ut på att subjektiva sannolikheter kombineras med objektiva mätdata, vilket gör att resultatet blir bättre än den skattning som fanns innan uppdateringen genomfördes. I detta arbete kommer metoden att användas då brandfrekvensen i en industri skall skattas.

Det finns olika sätt att värdera risker med probabilistiska metoder. Vid värdering av samhällsrisker (d.v.s. vanligtvis risker för tredje person) beräknas normalt 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 uttrycks vanligtvis som risken att omkomma (på grund av en specifik riskkälla) om personen i fråga konstant vistades på en specifik plats. Den är alltså förknippad med en specifik plats och vanligt är att den i grafisk form presenteras som riskkonturer på en karta. Riskkonturena visar områdena inom vilken individrisken har en viss storlek. Det finns ingen bra motsvarighet till individrisken då egendomsskydd är av intresse. Möjligtvis skulle sannolikheten att en brandcell förstörs kunna beräknas och jämföras mellan olika brandceller, men detta mått skulle vara ointressant eftersom det inte finns någon mening med att reglera risken så att vissa brandceller inte utsätts för stora risker. Det viktiga för företaget är inte bara hur ofta en brandcell beräknas förstöras utan också vad som finns däri. Därför passar ett riskmått som liknar samhällsrisk (Räddningsverket, 1997) bättre för ett företag. Samhällsrisk används för att beskriva risken för utsatta befolkningsgrupper. Vid beräkning av samhällsrisk tas även hänsyn till, förutom frekvensen av olyckshändelsen, 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.

Översatt till egendomsskydd skulle samhällsrisk kunna tolkas som den förväntade skadekostnaden under ett år på grund av brand. Vid jämförelse mellan olika alternativa lösningar av brandskydd ger detta en fördel när intresset fokuseras på egendomsskydd och inte på personsäkerhet. Detta beror på att konsekvensen (förväntad skadekostnad) redan från början är uttryckt i samma enhet som de ekonomiska konsekvenserna som de olika brandskyddsåtgärderna medför (kostnaden för olika brandskyddssystem). I fallet med personsäkerhet måste det förväntade antalet omkomna människor på något sätt översättas till monetära termer, eller på annat sätt värderas. Denna värdering är av ett flertal anledningar (etiska, beräkningstekniska mm.) svåra att göra.

Den förväntade skadekostnaden kommer i denna rapport att betecknas $\bar{S}$ och representerar väntevärdet för skadekostnaden på grund av brand under ett år. På grund av att fördelningen för skadekostnaden vid en brand vanligtvis har stor varians och är sned (t.ex. lognormal, Ramachandran, 1998) kan det inte förväntas att skadekostnaden under ett år skall uppgå till den förväntade skadekostnaden. Om däremot skadekostnaden under ett stort antal år summeras och sedan divideras med antalet år, så kommer detta medelvärde att vara nära den förväntade skadekostnaden $\bar{S}$. Detta fenomen beskrivs genom *stora talens lag* (se t.ex. Blom, 1989), vilken formulerades av J Bernoulli på 1600-talet. Lagen säger att det aritmetiska medelvärdet av flera oberoende stokastiska variabler med samma väntevärde $\bar{S}$ är nära $\bar{S}$, om bara antalet stokastiska variabler är tillräckligt stort (d.v.s. om bara antalet år som mätningen pågår är tillräckligt stort).

Det är viktigt att vara uppmärksam på att variansen i den stokastiska variabeln S (skadekostnaden under ett år) vanligtvis är stor, vilket medför att den förväntade skadekostnaden $\bar{S}$ inte kan användas för t.ex. budgetering. Det går till exempel inte att avsätta $\bar{S}$ kkr varje år (för en anläggning) för att täcka de skadekostnader som uppstår, detta skulle innebära att i många fall kommer de avsatta pengarna inte räcka till för att täcka

skadekostnaderna. Anledningen till detta är att även om skadekostnaden under många år understiger den förväntade skadekostnaden så innebär en större skada i anläggningen, vilken kan inträffa vilket år som helst, att det årliga avsatta kapitalet inte räcker till för att täcka skadekostnaden.

Vad kan då den förväntade skadekostnaden användas till om den inte är lämplig att budgetera efter? På samma sätt som samhällsriskerna används för att mäta risker för personskador kan den förväntade skadekostnaden användas som ett riskmått för en industrianläggning. Detta riskmått kan också användas för att jämföra olika byggnadsutformningar och finna det alternativ som minimerar den framtida förväntade kostnaden på grund av brand och brandskydd.

2.2.1. Brandfrekvens

En önskad händelse (brand) kan inträffa olika ofta i en byggnad och det är självklart att riskens storlek beror av hur ofta detta sker. Oavsett konsekvensen (såvida den inte är 0) så inses att det finns en viss frekvens där risken uppfattas som oacceptabel. Till exempel: en riskkälla kan vara en ugn där det finns en möjlighet att värme från öppningen antänder lastpallar med gods i närheten. Denna oönskade händelse får konsekvensen att pallarna och godset förstörs, vilket ungefär kostar företaget 100 kkr. Om denna händelse i medeltal inträffar en gång på 100000 år (d.v.s. frekvensen är 0,00001 per år) bedöms risken troligtvis som försumbar, men om den inträffar t.ex. en gång på 5 år eller till och med 2 år är det troligt att risken uppfattas som för stor och åtgärder sätts in för att minska risken. Frekvensen för oönskade händelser är alltså viktig att beräkna vid riskvärdering.

Vanligtvis mäts en risk genom att en konsekvens uttryckt i t.ex. ekonomisk förlust multipliceras med den oönskade händelsens frekvens. Detta resulterar, i fallet med egendomsskydd, i enheten kkr/år (förutsatt att frekvensen är uttryckt i enheten år^{-1}). Detta riskmått är den *i medeltal förväntade* kostnaden på grund av brand per år, vilket innebär att medelvärdet av brandskadekostnaderna under ett år kommer att konvergera mot den förväntade ekonomiska förlusten om bara antalet år är tillräckligt stort.

Skillnad mellan brandfrekvens och sannolikheten för brand

Ett annat vanligt sätt att beräkna risken är att multiplicera *sannolikheten för brand* (under ett år) med konsekvensen vid brand. Med sannolikheten för brand avses i detta sammanhang troligtvis sannolikheten för *en eller flera bränder*. Då bränder uppstår relativt ofta (t.ex. 1 gång per år) är det mycket viktigt att skilja på frekvens och sannolikhet för att brand skall uppkomma en eller flera gånger per år. Detta beror på att då risken beräknas genom att multiplicera sannolikheten för brand med den förväntade konsekvensen vid brand antas implicit att det endast kan brinna en gång per år. Detta är ett orealistiskt antagande i många industrier (se t.ex. Johansson, 1999a och b).

För att visa på skillnaden mellan brandfrekvens och sannolikhet för brand kommer ett enkelt exempel att användas.

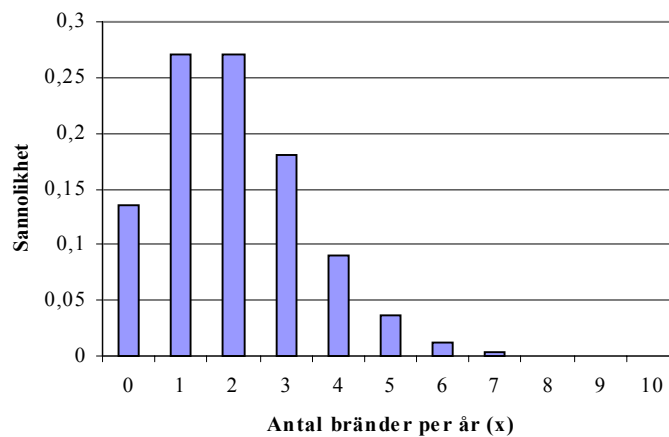
I en industri har det konstaterats att sannolikheten för *en brand eller fler* under ett år är 0,5, d.v.s. $P(\text{Brand}) = 0,5$. Den stora bokstaven P används för att beteckna en sannolikhet för att en händelse skall inträffa. I detta sammanhang är händelsen en brand eller fler, vilket symboliseras med ordet Brand inom parentes. Innebörden av att $P(\text{Brand}) = 0,5$ är att om antalet år som det i industrin uppstått en eller fler bränder räknades och dividerades med det

totala antalet år, så skulle denna kvot konvergera mot 0,5 om bara antalet år var tillräckligt stort.

Om det kan antas att en händelse inträffar slumpmässigt i tiden, men med en viss konstant intensitet, så kan antalet händelser under ett år beskrivas med en Poisson-fördelning (se t.ex. Blom 1989). Dessa förutsättningar anses gälla för bränder i en byggnad och alltså kan antalet bränder under ett år (X) beskrivas med en Poisson-fördelning. Antalet bränder som i medeltal inträffar under ett år kallas *brandfrekvensen* och betecknas Λ . Fördelningen för antalet bränder under ett år kan skrivas enligt Ekvation 1 där $p_X(x)$ är sannolikheten att antalet bränder skall uppgå till just x antal bränder och Λ är brandfrekvensen (år^{-1}).

Ekvation 1

$$p_X(x) = e^{-\Lambda} \cdot \Lambda^x / x! \quad (x = 0, 1, 2, \dots)$$



Figur 3 Exempel på en Poisson-fördelning med medelvärde 2 bränder per år.

Ett exempel på en Poisson-fördelning med medelvärde 2 bränder per år kan ses i Figur 3. Som synes i figuren innebär brandfrekvensen 2 bränder per år att det med stor sannolikhet kommer att uppstå mer än 2 bränder per år.

Att $P(\text{Brand}) = 0,5$ innebär att $P(\text{Inte Brand}) = 0,5$, d.v.s. att $p_X(0) = 0,5$. Då brandfrekvensen är ungefär $0,69 \text{ år}^{-1}$ är $p_X(0) \approx 0,5$, alltså motsvaras $P(\text{Brand}) = 0,5$ av brandfrekvensen $0,69 \text{ år}^{-1}$. Sambandet mellan $P(\text{Brand})$ och Λ åskådliggörs i Ekvation 2.

Ekvation 2

$$\Lambda = -\ln(1 - P(\text{Brand}))$$

I Tabell 1 ses att $P(\text{Brand})$ och Λ skiljer sig åt då de är större än ungefär $0,1 \text{ år}^{-1}$.

Tabell 1 $P(\text{Brand})$ och motsvarande brandfrekvens (Λ).

P(Brand)	Λ (antal/år)
0,95	3,00
0,75	1,39
0,50	0,69
0,25	0,29
0,10	0,11
0,05	0,05

I denna rapport kommer uteslutande Λ att användas vid beskrivning av hur ofta en brand förväntas uppkomma, men däremot kommer sannolikheter att användas för att beskriva hur troliga olika brandscenarier är, givet brand.

Uppdatering av brandfrekvensen

I Räddningsverket (1998) anges antalet bränder under 1997 dividerat med antalet fastigheter i olika industrigrupper (se Tabell 2). Detta värde representerar en skattning av brandfrekvensen per fastighet och år. Denna skattning är generell och gäller för hela industrigruppen och eftersom stora variationer i både fastighetsstorlek och verksamhet troligtvis finns inom gruppen bör dessa värden betraktas som en generell jämförelse mellan olika industrityper.

Tabell 2 Antal bränder per fastighet beroende på industrityp (Räddningsverket, 1998).

Industriobjektstyp	Antalet bränder dividerat med antal fastigheter
Metall-/Maskinindustri	0,05
Trävaruindustri	0,08
Annan tillverkningsindustri	0,03
Kemisk industri	0,17
Reparationsverkstad	0,02
Livsmedelsindustri	0,05
Lager	0,01
Industrihotell	0,04
Textil-/beklädnadsindustri	0,04

Då skattningar av brandfrekvensen för en individ (en industri) utförs skulle det vara önskvärt med en modell som inte bara tog hänsyn till industriverksamheten utan också till storleken på anläggningen. En sådan modell har presenterats av Ramachandran (1979) och använts av Rutstein (1979) för att kunna beskriva brandfrekvensen som funktion av byggnadsyta och industrityp. Modellen kan användas för att skatta brandfrekvensen i en enda byggnad, men det bör observeras att den brandfrekvens som beräknas med modellen är ett "medelvärde" för en industri inom den aktuella industrigruppen med en viss area. Det kan alltså tänkas att den aktuella industrins brandfrekvens avviker från den med modellen framräknade.

Även om det kan finnas avvikelser från det framräknade värdet, så ger denna metod ett utgångsvärde för en subjektiv bedömning av brandfrekvensen i den aktuella industrin. Detta betyder att en skattning av brandfrekvensen skulle kunna byggas på generell statistik från den aktuella industrigruppen och på expertbedömningar.

Den skattning som åstadkommits med hjälp av den generella metoden och expertbedömningarna kan sägas representera den kunskap som finns om brandfrekvensen innan det är känt hur ofta det egentligen brinner i den aktuella industrin (tillbudsstatistiken).

Denna kunskap kan betraktas som subjektiv information, vilken kan kombineras med objektiv information (tillbudsstatistik från den aktuella anläggningen) genom användandet av Bayes sats (se t.ex. Johansson, 1999c) och resultatet blir då en ny skattning av brandfrekvensen. Denna nya skattning innehåller både subjektiv information (expertbedömningar) och objektiv information (tillbudsstatistiken).

För exempel på uppdatering av brandfrekvenser med hjälp av tillbudsstatistik, se Johansson (1999a) där brandfrekvensen i en byggnad tillhörande ABB Automation Products uppdateras med hjälp av två års tillbudsstatistik.

2.2.2. Brandscenarier

Hur ofta en oönskad händelse (brand) inträffar beskrivs i föregående avsnitt med hjälp av den så kallade brandfrekvensen. Detta avsnitt är tänkt att fokusera på förloppet då en brand har utbrutit i byggnaden, d.v.s. brand är en förutsättning för resonemanget i detta avsnitt.

Det har tidigare framhållits att den kvantitativa risken uttrycks som produkten av brandfrekvensen och den förväntade konsekvensen vid brand. I detta avsnitt kommer en generell modell för att beräkna den förväntade konsekvensen vid brand att presenteras. Då intresset i denna rapport fokuseras på egendomsskydd uttrycks konsekvenserna i monetära termer.

Då en brand utbrutit i en industri finns det många olika brandutvecklingsmöjligheter. I många fall blir branden aldrig särskilt stor och utgör egentligen aldrig något hot mot de fysiska tillgångarna i byggnaden, medan i andra fall så får en brand katastrofala konsekvenser med stora ekonomiska förluster som följd. För att minska sannolikheten att en brand växer sig stor förses byggnader med brandtekniska system som när de fungerar tillfredsställande begränsar brandens utbredning. De system, personer eller brandtyper som i modellen antas kunna påverka ett brandförlopp kan sammanfattas i följande punkter:

- ☐ Aktiva system
- ☐ Passiva system
- ☐ Personalen
- ☐ Räddningstjänsten
- ☐ Typbränder

Aktiva system

I gruppen aktiva system ingår sådana system som på något sätt ”aktivt ingriper” mot en brand, t.ex. ett vattensprinklersystem. I aktiva system innefattas också system för upptäckt av brand, såsom t.ex. rökdetektorsystem.

Passiva system

I denna grupp innefattas de konstruktioner som avgränsar byggnaden i mindre brandtekniskt avskilda delar. Exempel på sådana konstruktioner kan vara olika typer av väggkonstruktioner, brandklassade ventilationsgenomföringar, dörrar mm.

Personalen

Ofta beskrivs katastrofer som om de berott på den mänskliga faktorn. I de flesta fall avses den operatör som orsakat felfunktionen, men det kan också tänkas att en konstruktör eller ledningspersonal gjort fel som resulterar i en katastrof. Reason (1990) skiljer mellan *aktiva fel*, vilka begås av t.ex. personalen i produktionen och *latent fel*, vilka orsakas av t.ex.

ledningen på företaget. Personalen eller ledningen kan vara orsaken till att en brand bryter ut, men i denna rapport görs dock ingen skillnad på om branden är initierad av mänskligt felhandlande eller ej, utan alla uppkomna bränder behandlas lika (förutsatt att de uppstått på samma position).

Trots att människan anses stå för en stor del av orsakerna till katastrofer kan personalen i en industri fungera som en typ av "krishanterare", d.v.s. personer som kan mildra effekterna av en uppkommen brand/olycka. De tekniska säkerhetssystem som finns är ofta oflexibla och kan inte hantera ny situationer för vilka de inte är dimensionerade. Till exempel får ett sprinklersystem svårt att släcka en brand som uppstår under större föremål, personalen däremot har förmågan att anpassa sig till en ny situation och handla efter de nya förutsättningarna. Detta förutsätter dock (vid bränder) att personalen har tillräcklig utbildning, upptäcker branden i ett tidigt skede och att korrekt utrustning finns på platsen. I den metodik som används i Johansson (1999a och b) används ett system för att subjektivt värdera personalens möjlighet till lyckad släckning av branden.

Räddningstjänsten

Räddningstjänstens möjligheter till en lyckad släckinsats är också väldigt svåra att kvantifiera. Faktorer som kan spela avgörande roll för släckstyrkans möjligheter är tiden från brandstart tills brandstyrkan kan applicera vatten på branden, brandens position, byggnadens utformning mm.

Aktiva system, passiva system, personalen och räddningstjänsten bedöms ha inverkan på brandförloppet, men i denna rapport eller Johansson (1999a och b) finns inget utrymme för någon större undersökning vad gäller dessa gruppers möjlighet till att begränsa eller släcka en uppkommen brand. I stället kommer statistik som bland annat presenterats i Johansson (1998) tillsammans med enklare modeller och expertbedömningar användas då sannolikheter för lyckad insats mot branden skattas.

Typbränder

En brand som uppstått i en industri kan släckas/begränsas av något brandtekniskt system eller någon person, men det kan också inträffa att branden slocknar eller inte fortsätter sprida sig på grund av att det inte finns mer bränsle. I en brandcell som innehåller ett lager med brännbara produkter kommer troligtvis de flesta bränder att kunna leda till att hela brandcellen förstörs. I en brandcell med hög takhöjd, få och låga maskiner utan större mängder brännbara material kommer dock en brand troligtvis inte att involvera hela brandcellen.

Skillnad mellan dessa två olika typer av situation kan göras genom att beskriva sannolikheten för att en brand som uppstår i en brandcell har potentialen att växa till en viss storlek. För enkelhetens skull antas att en brand endast kan ha tre typer av sluttillstånd: Involvera hela brandcellen, involverar endast ett fåtal objekt eller slocknar innan ekonomiskt märkbar skada uppstår. Dessa tre tillstånd kallas stor, medelstor och liten brand.

Att bedöma sannolikheten för att en brand i en specifik brandcell skall ha potential att bli stor, medelstor eller liten är svårt, men expertbedömningar tillsammans med insamlad statistik över hur ofta bränder som börjat i vissa typer av industrier vuxit sig stora kan användas. Detta sätt att förfara (expertbedömningar) kan kritiseras för sin brist på objektivitet och kan tyckas godtyckligt beroende på vem som utför bedömningen. Det är dock en omöjlighet att eliminera alla typer av bedömningar och bara förlita sig på objektiva fakta (se t.ex. Keeney och Raiffa, 1976) när det gäller så komplicerade problem som att mäta och värdera risker i en industri.

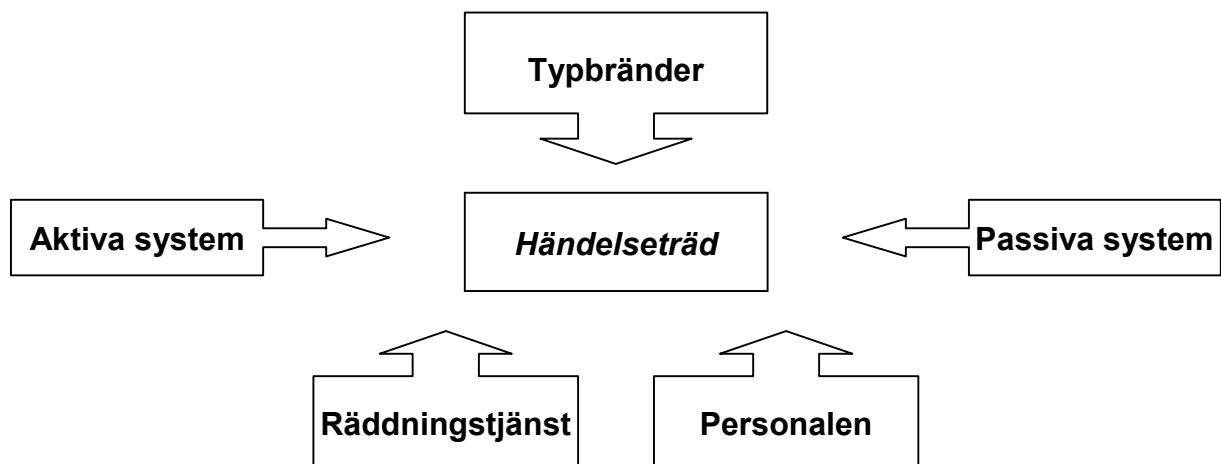
Det kommer alltid att krävas ett visst mått av subjektiva bedömningar vid de typer av analyser som behandlas i denna rapport, däremot bör en målsättning vara att göra dessa bedömningar på ett objektivet sätt. Med detta avses att bedömningarna är välmotiverade och gärna stöds av insamlad och relevant statistik.

När det i analysen beskrivs att sannolikheten för att en uppkommen brand i lokal X skall ha potential att utvecklas till en stor brand är Y, menas inte att det går att mäta dessa sannolikheter på plats i industrin. Dessa typer av sannolikhetsmått representerar en skattning av hur ofta en viss händelse beräknas inträffa (i detta fallet är händelsen att branden har potential att bli stor). Att sannolikheten t.ex. är 0,001 att en viss händelse skall uppkomma under ett år bör tolkas som att den som utfört analysen tror att om byggnaden får vara oförändrad i t.ex. 1000 år så kommer troligtvis en händelse ha inträffat under den tiden.

Sannolikhetsbegreppet såsom det används vid denna typ av analys skall alltså tolkas som en persons (eller en grupp) bedömning av möjligheten att en viss händelse inträffar. Detta innebär att sannolikheten för en händelse är beroende av vem som gör analysen, men genom statistiskt underlag, samt bra brandmodeller kan variationen mellan olika personers skattningar minskas, de kan dock aldrig helt tas bort.

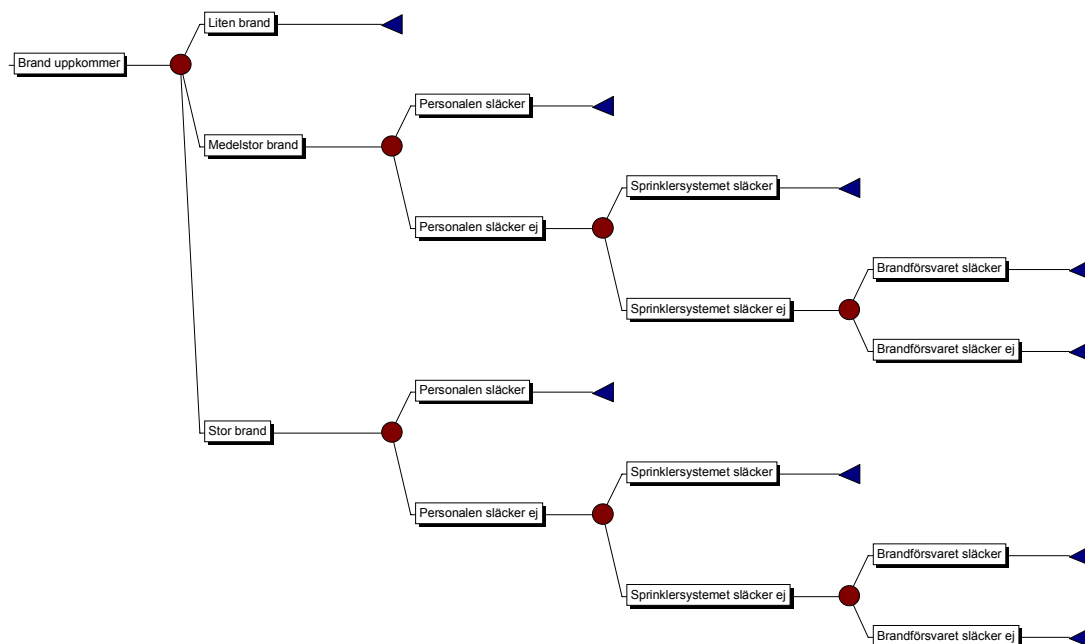
Problemet med hur spridning av brand skall hanteras vid denna typ av analys föreslås lösas genom att sannolikheten för att en uppkommen brand skall ha *potential* att bli stor, medelstor eller endast liten skattas för de olika utrymmena. Denna skattning kommer att representera personen (gruppen) som gör analysens uppfattning om hur ofta en brand i utrymmet i genomsnitt kan förväntas kunna växa till de olika stadierna av utbredning. Det är också möjligt att ha olika definitioner på vad stor, medelstor och liten brand innebär. Till exempel innebär stor brand i Johansson (1999a) att branden har potential att sprida sig till hela den brandcell där den uppstått, samt eventuellt spridas till andra brandceller. Medelstor brand innebär att branden har potential att orsaka saneringsskador i hela brandcellen. För att veta vilka bränder som har potentialen att orsaka saneringsskador används (i brist på bättre modeller) en enkel modell för att skatta ungefär hur mycket material som måste brinna för att koncentrationen av skadliga ämnen skall överskrida ett visst gränsvärde. Detta tillsammans med författarens bedömning av vilka objekt där så mycket material kan förbrännas ligger till grund för skattning av sannolikheten för en medelstor brand. Sannolikheten för den stora branden skattas på samma sätt, men i stället för saneringskriteriet används kriteriet att hela brandcellen skall involveras i branden.

De delar som beskrivits ovan (aktiva-, passiva system, personalen, brandkåren, brandens potential) samverkar i modellen för att beskriva den totala sannolikheten för vissa brandscenarier, givet att brand uppstått. För att modellera vad som kan hända då brand har uppstått används ett händelsetråd, som är den centrala delen i analysen (se Figur 4 och Figur 5).



Figur 4 Beskrivning av modellen för olika möjliga brandscenarier.

Händelseträdet inleds med att brand har uppstått, därefter finns sannolikhetsnoder som beskriver sannolikheten att branden skall börja i olika delar av industrin, att branden är stor, medelstor eller liten o.s.v. I Figur 5 visas ett enkelt exempel på ett händelsetråd där brandförloppet kan följa någon av de olika grenarna, vilket resulterar i något av de nio delscenarierna.



Figur 5 Exempel på en del av ett händelsetråd.

I Johansson (1999a) innehåller händelseträdet för brand i ABB Automation Products verksamhet över 1000 delscenarier. Det kan tyckas att så stora händelsetråd skulle bli svåra att hantera, men med datorns hjälp sker det utan problem.

De olika delscenarierna motsvarar en viss typ av brandutveckling och för vart och ett av scenarierna kan en konsekvens beräknas. Konsekvensen beräknas i form av monetära termer, d.v.s. hur mycket som det aktuella brandscenariet kostar företaget.

Tidigare i arbetet har definitionen för risk redovisats som ”möjligheten av en oönskad händelse” med modifieringen att det rör sig om en oönskad händelse på grund av brand. Definitionen antyder att det rör sig om en kombination av sannolikheter (möjligheten av...) och negativa konsekvenser (...oönskad händelse). Vid kvantifieringen av risken i en industri kommer en kombination som innehåller dessa två delar att användas.

Garrick och Kaplan (1981) hävdar att då någon ställer frågan ”Vad är risken?” avses egentligen tre frågor, nämligen: Vad kan inträffa? Hur ofta inträffar den? Om det inträffar, vad är konsekvensen? Svaret på den första frågan kallas scenario och betecknas med S_i , den andra frågan representeras av ϕ_i , vilket symboliserar frekvensen med vilken scenariet beräknas inträffa och X_i symboliserar konsekvensen. Det föreslås alltså att risken representeras med en uppsättning svar, nämligen S_i , ϕ_i och X_i .

I detta arbetet används S för att beteckna skadekostnaden, d.v.s. konsekvensen, och X för att beteckna antalet bränder under ett år. Det är därför bekvämt att ändra Garrick och Kaplans scenarioangivelse till B_i (brandscenario i) och konsekvensen till S_i (skadekostnaden för brandscenario i).

Garrick och Kaplans sätt att kvantifiera risk passar bra ihop med händelseträdstekniken, eftersom alla brandscenarier kan identifieras i detta träd, samt alla sannolikheter. Via händelseträdet och skattningen av brandfrekvensen kan frekvensen ϕ_i och konsekvensen S_i beräknas för samtliga brandscenarier.

De tre parametrarna (B_i , ϕ_i , S_i) utgör *ett* svar på frågan ”Vad är risken?” (jämför med deterministisk riskvärdering i avsnitt 2.1), men eftersom det är intressant med en beskrivning av den *fullständiga* risken används beteckningen $\{<B_i, \phi_i, S_i>\}_c$, vilket betyder den fullständiga (lilla ”c” står för complete, eller fullständig) uppsättningen av termerna B_i , ϕ_i och S_i . Risk definieras alltså av Garrick och Kaplan som $\{<B_i, \phi_i, S_i>\}_c$.

Detta sätt att definiera risken är en precisering jämfört med RMT-gruppens (1999) definition ”Möjligheten av en oönskad händelse”, men den strider inte emot den eftersom information om hur troligt ett specifikt skadescenario är finns med som ϕ_i , beskrivningen av det som kan inträffa ges i B_i och konsekvensen tas med som S_i .

Om nu risken skall uttryckas som $\{<B_i, \phi_i, S_i>\}_c$ blir den praktiska användningen betungande eftersom många riskanalyser kommer att bestå av hundratals brandscenarier (B_i). Detta medför att presentationen av alla dessa blir omständlig. För att göra presentationen av risken och jämförelsen mellan olika alternativ enklare används den så kallade förväntade skadekostnaden $\bar{S}$ som mått på risken. Alla de konsekvenser och frekvenser som beskrivits av $\{<B_i, \phi_i, S_i>\}_c$ används för att beräkna den förväntade skadekostnaden. I Ekvation 3 beskrivs denna beräkning, där n är det totala antalet brandscenarier, Λ är brandfrekvensen i hela byggnaden och $P(B_i|\text{Brand})$ innebär sannolikheten att scenario B_i skall inträffa givet att brand uppstått i byggnaden.

Ekvation 3

$$\bar{S} = \sum_{i=1}^n \phi_i \cdot S_i = \Lambda \cdot \sum_{i=1}^n P(B_i|\text{Brand}) \cdot S_i$$

Ekvation 4

$$\phi_i = \Lambda \cdot P(B_i | \text{Brand})$$

Anledningen till att $P(B_i | \text{Brand})$ och Λ används är att det är vanligt att brandfrekvensen för hela byggnaden beräknas först och med hjälp av händelseträdet fås sedan $P(B_i | \text{Brand})$ och S_i , vilket innebär att det betyder mera jobb om även ϕ_i skall räknas ut för varje brandscenario.

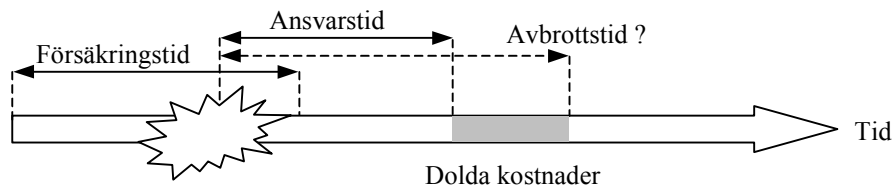
2.2.3. Förväntad skadekostnad

Den förväntade skadekostnaden $\bar{S}$ är, som tidigare konstaterats, den kostnad (på grund av brand) som i medeltal förväntas uppkomma per år under en längre period. Detta innebär att $\bar{S}$ är medelvärde av fördelningen som beskriver skadekostnaden under ett år.

För att beräkna den förväntade skadekostnaden måste först kostnaden för de enskilda brandscenarierna beräknas. Detta görs genom att dela upp den totala kostnaden i tre delar, egendoms-, avbrotts- och dolda kostnader (S_E , S_A , S_D).

Egendomskostnader är kostnader för allt materiel som förstörs i branden. Detta kan röra sig om allt ifrån maskiner till färdiga produkter. När egendomskostnaderna för ett visst brandscenario skattas måste hänsyn till företagets försäkringslösning tas. Om inte en viss kostnad ingår i försäkringen skall den beräknas som dold kostnad.

Avbrottskostnader uppkommer till följd av ett produktionsavbrott som eventuellt följer branden. Exempel på avbrottskostnader är utebliven vinst, hyror mm. Vid beräkningen av avbrottskostnaden gäller samma sak som för egendomskostnader, d.v.s. att hänsyn måste tas till vilken typ av försäkring som företaget i fråga har. De kostnader som täcks av avbrottsförsäkringen skall noteras som avbrottskostnader.



Figur 6 Exempel på var dolda kostnader uppkommer då avbrottstiden är längre än ansvarstiden.

Det kan också tänkas att avbrottstiden är längre än försäkringsbolagets ansvarstid, d.v.s. den tid som avbrottsförsäkringen gäller. I så fall räknas de avbrottskostnader som hamnar utanför ansvarstiden som dolda kostnader (se Figur 6).

Dolda kostnader är kostnader som inte ersätts av försäkringar och kan till exempel vara utebliven försäljning, ökade marknadsföringskostnader, uppskjutna investeringar mm. Beräkning av de dolda kostnaderna är svårt och det krävs att personer som har god kännedom om det aktuella företaget beräknar dessa. Både personer från ekonomi-, marknadsförings- och produktions områdena bör medverka vid beräkningen.

I detta arbete har inte någon utredning om hur dessa typer av kostnader skall beräknas utförts, utan de skattningar som redovisas har gjorts av författaren i samråd med mestadels teknisk personal på ABB och Avesta Sheffield.

För att beräkna skadekostnaden som företaget respektive försäkringsbolaget får betala måste hänsyn till självrisk och karenstid tas. Självrisk är den del av skadekostnaden (olika självrisk kan förekomma för egendoms- respektive avbrottsförsäkring) som företaget själv får stå för. Självrisk bestäms då försäkringen tecknas och påverkar också den premie som företaget betalar till försäkringsbolaget. Om avbrottsförsäkringen gäller med karenstid innebär det att ersättning inte lämnas för en viss tid efter egendomsskadans inträffande (Nordin, 1996).

Eftersom det för varje brandscenario kan identifieras en kostnad, dels för företaget och dels för försäkringsbolaget, innebär det att även den förväntade skadekostnaden kan beräknas för företaget eller försäkringsbolaget. Beräkningen av kostnaden som drabbar företaget respektive försäkringsbolaget görs i detta arbete med hjälp av Ekvation 5 och Ekvation 6. I Ekvation 5 och Ekvation 6 innebär D självrisk för egendomsförsäkringen och K det belopp som företaget inte får betalt på grund av karenstiden. I beräkningarna förutsätts att avbrottsförsäkringen inte är försedd med självrisk.

Ekvation 5

$$\begin{aligned} S_{\text{Företag}} &= S_E + K + S_D && \text{Om } S_E \leq D \\ S_{\text{Företag}} &= D + K + S_D && \text{Om } S_E > D \end{aligned}$$

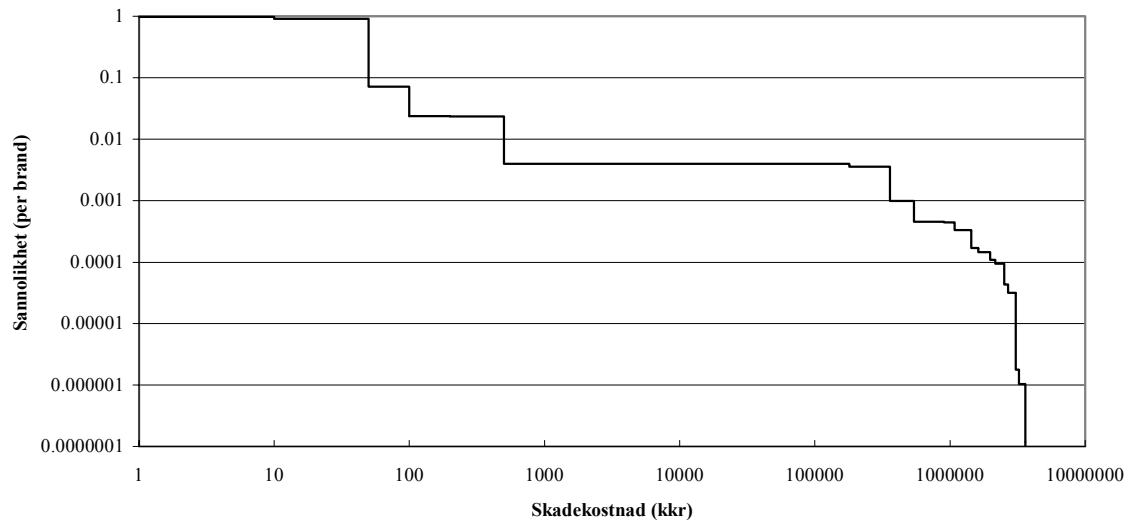
Ekvation 6

$$S_{\text{Försäkring}} = S_E + S_A - D - K$$

Om mer detaljerade beräkningar av kostnaderna är nödvändiga bör personer från företaget med kännedom om de aktuella försäkringarna utföra dessa beräkningar.

Nu är det möjligt att beräkna den förväntade skadekostnaden för företaget respektive försäkringsbolaget genom att använda Ekvation 5 och Ekvation 6 i kombination med Ekvation 3.

Förutom information om medelvärdet av fördelningen för skadekostnaden vid en brand ($\bar{S}$) är också information om spridningen av stort intresse. Spridningen redovisas ofta i en så kallad riskprofil, vilken beskriver hur skadekostnaden är fördelad. Ett exempel på en riskprofil kan ses i Figur 7, där riskprofilen från Avesta Sheffield's kallvalsverk visas.



Figur 7 Riskprofil för Avesta Sheffield's kallvalsverk.

Riskprofilen är en CCDF (komplementär kumulativ fördelningsfunktion) för skadekostnaden. Detta innebär att riskprofilen kan användas för att svara på frågan ”vad är sannolikheten att konsekvensen blir *x eller större*?”. I Figur 7 kan ses att sannolikheten för en skada som uppgår till 1000 kkr eller mer är ungefär 0,06 per brand.

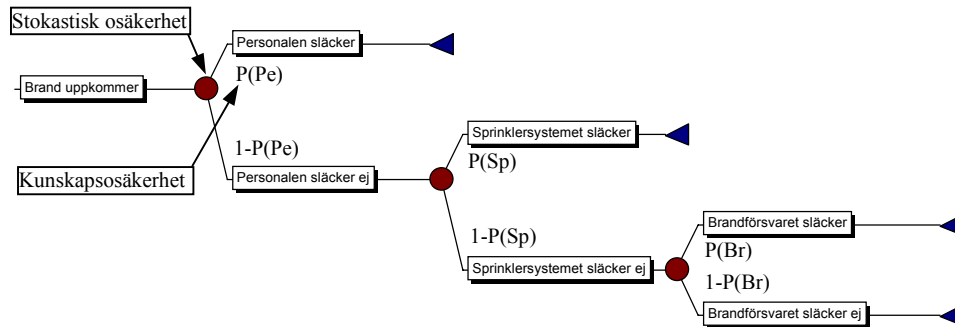
I och med detta har analysen av en industri kommit ganska långt, brandfrekvensen är skattad och modellen för vad som händer när det brinner i anläggningen är färdig och kostnader för de olika brandscenarierna är beräknade. Det kan vid detta tillfälle vara bra att nämna något om de osäkerheter som uppkommer vid denna typ av analys.

2.2.4. Osäkerheter

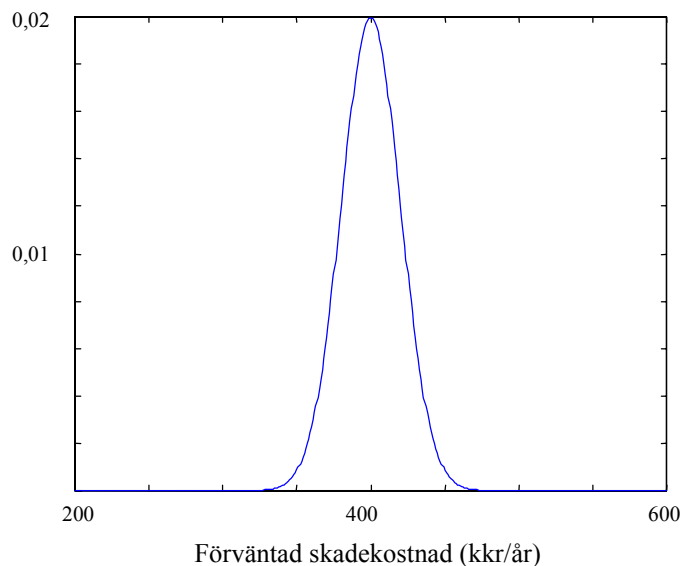
Generellt kan sägas att osäkerheter kan delas in i två grupper, stokastiska (slumpmässiga) osäkerheter och kunskapsosäkerheter. De stokastiska osäkerheterna uppkommer på grund av att fenomenet som skall beskrivas är slumpmässigt av naturen. Till exempel så kan vindhastigheten vid brand i en industrilokal vara av intresse (för att bedöma effekten av rökluckor). Eftersom det på förhand är omöjligt att avgöra vilken hastighet vinden kommer att ha den dagen som det brinner i anläggningen (oavsett hur mycket information som finns om vindhastigheter i det aktuella området) är denna variabel förenad med stokastisk osäkerhet. Det går att beskriva denna osäkerhet genom att representera vindhastigheten med en stokastisk variabel, vars fördelning tagits fram genom att mäta vindhastigheten i området. Kunskapsosäkerheter beror på bristande kunskap angående t.ex. en parameter. Parametern har ett fixt värde, men eftersom kunskap angående detta värde inte finns tillgänglig måste en skattning av inom vilket intervall som värdet finns göras. Detta innebär att om perfekt information angående parametern fanns tillgänglig, så skulle ett exakt värde kunna anges. Detta gäller inte den stokastiska osäkerheten, vilken aldrig kan reduceras med hjälp av mer kunskap.

Tekniken för en riskanalys av en industrianläggning som använts i Johansson (1999a och b) bygger på att de stokastiska osäkerheterna som berör det förenklade brandförloppet behandlas i ett händelsetråd. Kunskapsosäkerheter behandlas dock inte, vilket innebär att grensannolikheterna i händelsetrådet för brandförloppet, samt konsekvenserna som är förknippade med varje delscenario betraktas som fixa (se Figur 8). Om dessa hade behandlats

som kunskapsosäkerheter skulle resultatet (den förväntade skadekostnaden) inte kunna beskrivas som ett fixt värde utan skulle i så fall representeras med en fördelning (se exempel i Figur 9).



Figur 8 Stokastisk respektive kunskapsosäkerhet i ett händelseträd.



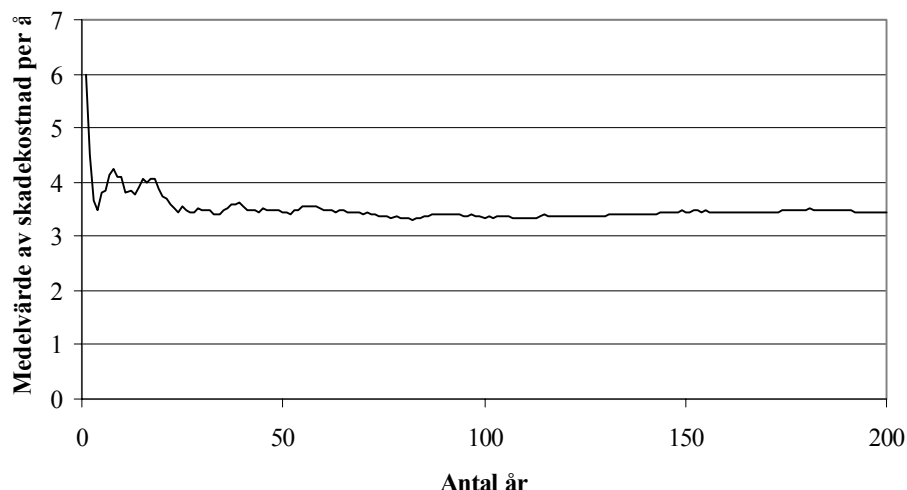
Figur 9 Exempel på fördelning av den förväntade skadekostnaden.

Stokastiska osäkerheter behandlas alltså med den metodik som använts, men inte kunskapsosäkerheterna.

I detta arbete ingår ingen utredning angående känslighetsanalyser eller osäkerhetsanalyser, men detta är ett viktigt område som kommer att belysas i framtida rapporter.

2.2.5. Användning av förväntad skadekostnad

I det förra avsnittet beskrevs den förväntade skadekostnaden som medelvärdet av skadekostnaden per år i en specifik industri. Detta innebär att om en industri bedriver en verksamhet under en lång följd av år, så kommer medelvärdet av skadekostnaden per år att närma sig den förväntade skadekostnaden. Detta kan jämföras med ett tärningskast där antalet ögon som tärningen visar är skadekostnaden (i kkr) under ett specifikt år. Om tärningen är sexsidig och kastas under en stor mängd år kommer medelvärdet av skadekostnaden att närma sig 3,5 kkr. Detta visas i Figur 10.



Figur 10 Medelvärdet av skadekostnaden per år.

I figuren kan också ses att medelvärdet av skadekostnaden per år under de första 200 åren varierar mellan 4 och 3,25 för att sedan stabiliseras omkring 3,5 kkr, vilket är den förväntade skadekostnaden under ett år om skadekostnaden bestäms av en sexsidig tärning.

Exemplet ovan är naturligtvis en förenkling jämfört med verkligheten, men visar ändå på en viktig egenskap hos den förväntade skadekostnaden. Det tar lång tid innan medelvärdet av den förväntade skadekostnaden stabiliseras vid den förväntade skadekostnaden. I exemplet ovan tog det ungefär 200 år innan medelvärdet stabiliserades och för icke fiktiva industrier tar det troligtvis ännu längre. Detta tyder på att det *inte* går att budgetera efter den förväntade skadekostnaden, eftersom medelvärdet av den förväntade skadekostnaden under en kortare period inte överensstämmer med den förväntade skadekostnaden.

Ett exempel på varför det inte går att budgetera efter den förväntade skadekostnaden i en industri då tidsperioden är kort visas genom följande exempel: För den fiktiva industri (vars skadekostnad under ett år är antingen 0 kkr med sannolikheten 0,9 eller 100 kkr med sannolikheten 0,1) är den förväntade skadekostnaden under ett år 10 kkr. Under en femårsperiod är alltså den förväntade skadekostnaden 50 kkr. Om företaget under denna femårsperiod avsätter 50 kkr för att klara eventuella skador så kommer skadekostnaden att överstiga den budgeterade summan med sannolikheten 0,41 ($1-(0,9)^5=0,41$), vilket innebär att skadekostnaden inte kan täckas i cirka 40% av femårsperioderna.

I stället för att använda den förväntade skadekostnaden som ett mått att budgetera efter bör den ses som en indikation på hur stor risken i anläggningen är och om den förväntade skadekostnaden sjunker efter en brandförebyggande åtgärd är detta ett tecken på att riskerna sjunkit efter åtgärden. Den förväntade skadekostnaden kan också användas för att jämföra olika byggnadsutformningar (se nästa kapitel), vilket innebär att den kombination av brandskydd som minimerar summan av kostnader för brandskydd och kostnader på grund av brand kan identifieras.

3. Jämförelse mellan brandskyddsalternativ

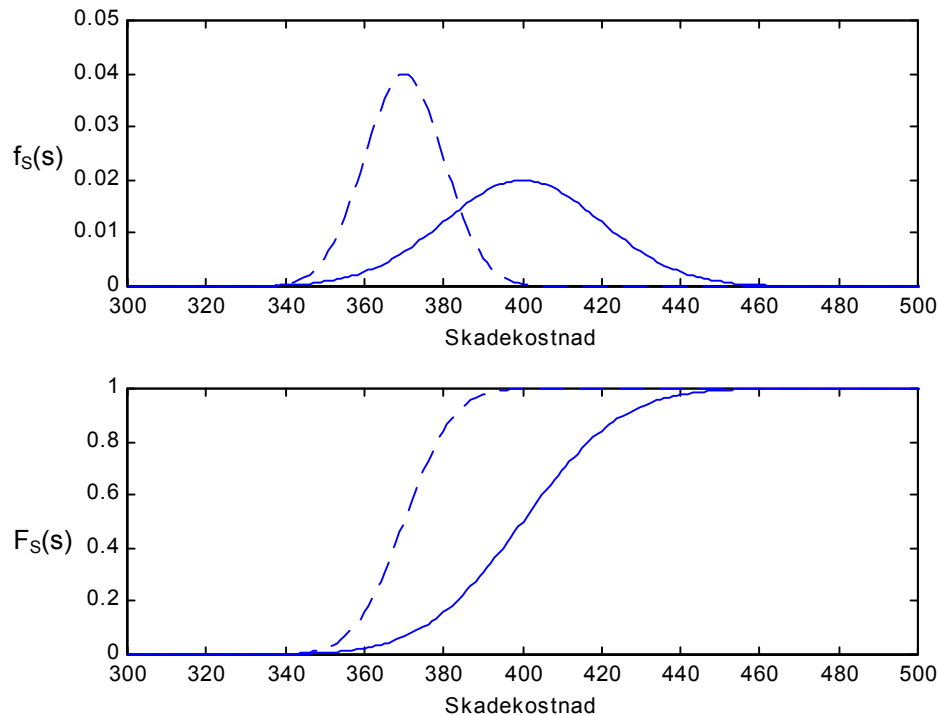
I kapitel 2 har en generell metodik för beräkning av brandrisken i en industrianläggning redovisats. Risken presenteras i form av den förväntade skadekostnaden ($\bar{S}$) och en riskprofil, men kan också presenteras som $\{<B_i, \phi_i, S_i>\}_c$, d.v.s. den fullständiga uppsättningen av brandscenarier, frekvenser och skadekostnader.

Ofta är det, i brandteknisk projektering, svårt att visa nyttan med att installera skyddssystem. Detta innebär också att det är svårt att motivera varför en förbättring av brandskyddet är ”lönsam”. Ett sätt att motivera varför investering i brandskydd är långsiktigt lönsam (eller kanske inte lönsam i vissa fall) är att använda metodiken som presenterats i detta arbete för att jämföra olika brandskyddsalternativ med varandra.

Meningen är att företaget skall välja det alternativ som maximerar den förväntade nyttan. Principen om att maximera den förväntade nyttan vid val i osäkra situationer är inget nytt, utan har använts frekvent inom beslutsteorin (se t.ex. Clemen, 1996). Maximering av den förväntade nyttan innebär att även möjliga framtida händelser skall vägas in i beslutet huruvida det är lönsamt eller inte att investera i ett specifikt brandskyddsalternativ. En lönsam investering definieras i detta sammanhanget som en investering vars framtida förväntade totala årskostnad är lägre än den utformning som finns i nuläget. Med total årskostnad avses summan av kostnaderna på grund av brand och kostnaderna på grund av brandskydd.

Borde då inte denna jämförelse kunna utföras genom att bara jämföra den förväntade skadekostnaden och riskprofilen för de båda alternativen? Svaret är både ja och nej. Om det ena alternativet dominerar det andra alternativet, så går det att jämföra dem med den information som togs fram i kapitel 2 (vad som menas med ”dominerar” skall snart förklaras), men om ingen dominans föreligger måste företagets *riskattityd* modelleras för att kunna visa vilket alternativ som är det optimala.

Med dominans avses när två stycken kumulativa fördelningar för t.ex. skadekostnaden i en byggnad inte skär varandra. Detta innebär att det ena av de två alternativen alltid medför större sannolikhet att vara mindre eller lika med alla belopp på den horisontella skalan. Eftersom skadekostnad är en negativ egenskap (företaget vill minimera den) så innebär detta att det alternativ som alltid innebär den lägsta kostnaden dominerar det andra alternativet.



Figur 11 Illustration av begreppet statistisk dominans.

Om däremot de kumulativa fördelningarna skär varandra går det inte att identifiera det bästa alternativet utan att modellera företagets riskattityd. I Figur 11 illustreras ett exempel där stokastisk dominans föreligger. Den övre delen av figuren visar frekvensfunktionen för skadekostnaden i två byggnader och den nedre delen visar fördelningsfunktionen för dessa byggnader. Fördelningsfunktionerna skär inte varandra, vilket tyder på att stokastisk dominans föreligger och alltså behöver inte riskattityden i företaget modelleras för att veta vilket alternativ som är det bästa.

3.1. Riskattityd

Att människor uppfattar risker på olika sätt har tydligt framkommit i debatter som rör risker med stora konsekvenser, men där sannolikheten för en olycka är mycket liten. I dessa fall är det inte ovanligt att experter har en klart avvikande uppfattning om riskens storlek än vad t.ex. allmänheten har (se t.ex. Grimvall m.fl., 1998).

Det finns också andra omständigheter än kunskap om riskkällan (experter har stor kunskap och allmänheten i regel endast begränsad) som styr hur människor uppfattar risker. Ett sätt att modellera ekonomiskt risktagande är att använda så kallade nytto-funktioner. En nyttofunktion används för att uttrycka ett konkret utfall (t.ex. skadekostnad) i ”nytta”. Nyttan av ett utfall är enhetslöst och används endast för relativa jämförelser mellan osäkra situationer. Anledningen till att nytta används är att människor (eller företag) med olika förutsättningar tenderar till att värdera konsekvenser på olika sätt. För att beskriva värderingen av risk hos en person kan de tre termerna riskavers, riskneutral och risktagare användas. Den riskaversa personen är den som föredrar säkerhet i stället för risktagande, den riskneutrale kommer att fatta beslut enligt det förväntade värdet i en osäker situation och risktagaren chansar gärna för att nå ett bättre resultat. Dessa tre typer av *riskattityd* symboliseras i nytto-funktionen genom att funktionen har olika form.

Begreppet riskattityd är fortfarande något oklart, och följande exempel används för att förtydliga skillnaden mellan olika typer av riskattityder. En person har att välja mellan två osäkra situationer, i den första situationen vinner personen 100 kr med sannolikheten 0,6 och förlorar 100 kr med sannolikheten 0,4, d.v.s. det förväntade värdet av situationen är 20 kr. I den andra osäkra situationen vinner personen 1000000 kr med sannolikheten 0,6 och förlorar 1000000 kr med sannolikheten 0,4, d.v.s. det förväntade värdet är 200000 kr. Om en person (med någorlunda normal ekonomi) skulle tvingas välja mellan de osäkra situationerna skulle de förmodligen välja den första, trots att det förväntade värdet av den andra situationen är många gånger större än i det första fallet. Detta beror på riskaversion hos personen som gör valet. Hur stor riskaversionen är kan t.ex. bero på hur förmögen en person är, men den kan också bero på andra saker. En riskneutral person väljer alltid det alternativ som har den största förväntade vinsten, d.v.s. den andra osäkra situationen, och en risktagande person kan välja alternativ där den förväntade vinsten är lägre än i ett annat alternativ.

Ett företag är riskaverst om det alltid väljer det förväntade värdet i en osäker situation hellre än att delta i den osäkra situationen. En vanlig form av nyttofunktion som är lämpad för företag är den exponentiella nyttofunktionen (Howard, 1988), vilken kan skrivas som Ekvation 7, där U är nyttan, x är skadekostnaden (kk) och R är *risktoleransen* uttryckt i kkr. Nyttofunktionens utseende bestäms alltså enbart av risktoleransen som beskriver företagets riskattityd. Howard har undersökt tre större företag och funnit att risktolerans kan uppskattas som ungefär 6% av företagets omsättning.

Ekvation 7

$$U(x) = 1 - e^{-x/R}$$

I stället för att maximera (eller minimera) det förväntade monetära värdet av en osäker situation skall en beslutsfattare enligt klassisk beslutsteori (se t.ex. Keeney och Rieff, 1976) maximera den förväntade nyttan av en osäker situation. Detta kan utföras genom att översätta alla monetära utfall till nytta och sedan räkna fram den förväntade nyttan med hjälp av sannolikheterna för de olika utfallen. Då den förväntade nyttan av en osäker situation har erhållits kan den så kallade *certainty equivalent* ($\hat{x}$) beräknas.

$\hat{x}$ är den summa pengar som är likvärdig med en osäker situation, d.v.s. den summa pengar som en person (företag) är villig att betala för att undvika en riskfylld situation. Detta innebär att om företaget kan undvika en osäker situation (med enbart negativa utfall) genom att betala en summa som är mindre än eller lika med $\hat{x}$ bör företaget göra detta. Detta sätt att fatta beslut bygger på att företaget uppfattas som en så kallad rationell beslutsfattare, vilken fattar sina beslut i enlighet med ett antal logiska regler. Mer om rationellt beslutsfattande finns att läsa ibland annat (Clemen, 1996), där även de logiska regler (axiom) som rationellt beslutsfattande bygger på redovisas.

För att beräkna $\hat{x}$ kan företagets nyttofunktion användas, vilken t.ex. kan se ut som Ekvation 7. Om alla möjliga utfall av en osäker situation räknas om till nytta (enligt t.ex. Ekvation 7) och den förväntade nyttan av den osäkra situationen beräknas, så kan $\hat{x}$ erhållas genom att använda nyttofunktionen. I det fallet då nyttofunktionen har utseendet enligt Ekvation 7 beräknas $\hat{x}$ enligt Ekvation 8, där R är företagets riskattityd och $\bar{U}$ är den förväntade nyttan av den osäkra situationen.

Ekvation 8

$$\hat{x} = -\frac{R}{\ln(1 - \bar{U})}$$

I en situation där ett företag skall upphandla en försäkring för ett objekt skulle $\hat{x}$ kunna tolkas som det belopp som företaget är villig att betala för försäkringen. Om priset är högre än $\hat{x}$ kommer inte försäkringen att tecknas. Denna situation är naturligtvis en teoretisk beskrivning av försäkringsupphandling och det finns givetvis en mängd faktorer förutom skadekostnaden i objektet som är av vikt vid upphandlingen, varför denna liknelse skall tas med en nypa salt.

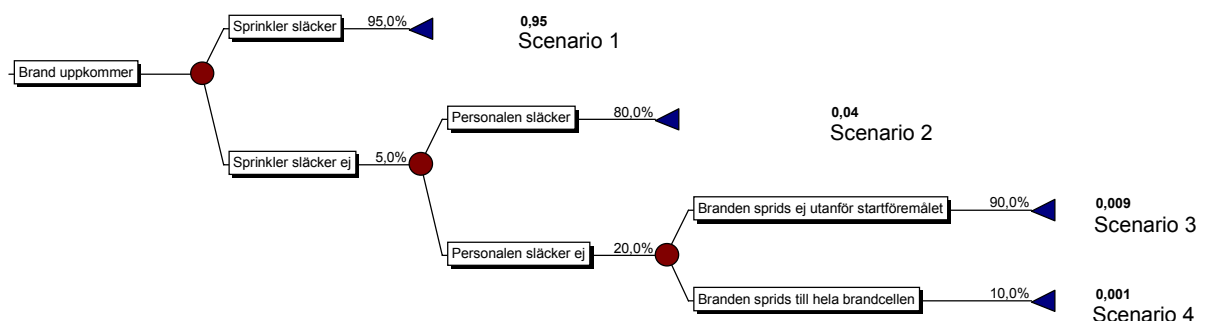
Nära besläktat med innebörden av $\hat{x}$ är beräkningen av den så kallade *risk premien* (RP). Risk premien definieras som skillnaden mellan det förväntade värdet och $\hat{x}$ (se Ekvation 9).

Ekvation 9

$$RP = \bar{S} - \hat{x}$$

Risk premien skall tolkas som den summa som ett företag "förlorar" (om risk premien är negativ) om en försäkring som täcker alla skador som räknats med i $\bar{S}$ tecknas. "Förlusten" i det här fallet är alltså skillnaden mellan det som företaget betalar i premie per år ($\hat{x}$) och den verkliga förväntade skadekostnaden varje år. För att klargöra resonemanget i detta avsnitt följer här ett enkelt exempel där alla begrepp används med avseende på brand och brandskydd.

I ett företag finns en produktionsanläggning där händelseträdet vid en brand ser ut som i Figur 12.



Figur 12 Händelseträdet vid en brand i den fiktiva anläggningen.

Som synes i Figur 12 beräknas fyra typer av brandscenarier kunna uppkomma om en brand uppstår i anläggningen. Scenario 1 innebär mycket små skador på grund av att sprinklersystemet släcker branden i ett tidigt stadium, scenario 2 innebär att sprinklersystemet inte lyckas släcka branden, men att personalen lyckas få branden under kontroll och släcka den. Scenario 3 innebär att branden inte kan kontrolleras av personalen, men att den inte

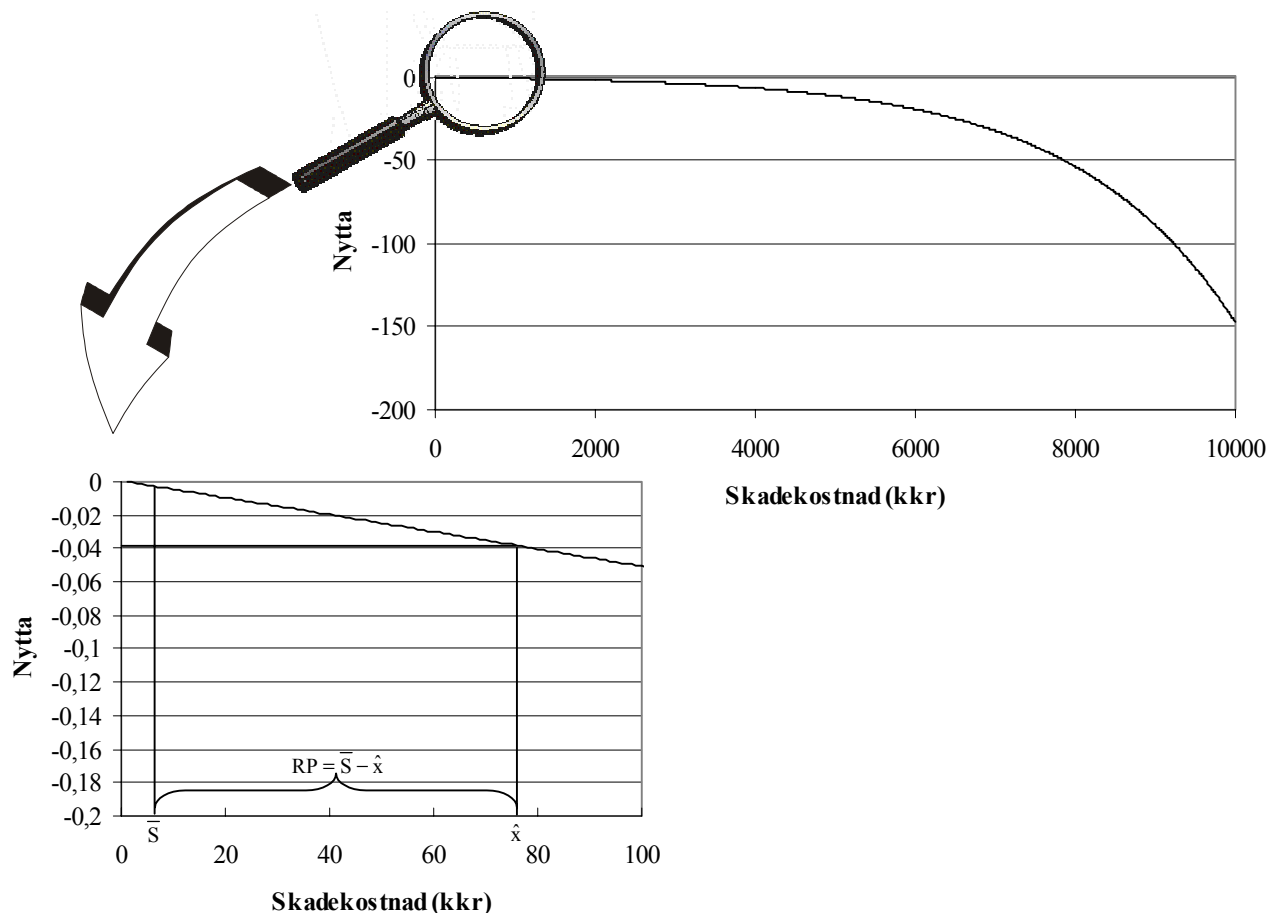
sprider sig till hela brandcellen som den uppstod i. Scenario 4 innebär att hela brandcellen förstörs av branden. Kostnaderna för de olika brandscenarierna har beräknats i Tabell 3.

Tabell 3 Skadekostnader och motsvarande nytta vid de olika brandscenarierna.

	Skadekostnad (kk)	Nytta	Frekvens, ϕ (per år)
Scenario 1	10	-0,005	0,2375
Scenario 2	50	-0,025	0,01
Scenario 3	500	-0,284	0,00225
Scenario 4	10000	-147	0,00025

Nyttofunktionen i Figur 13 är framtagen med hjälp av antagandet att företaget har en risktolerans på 2000 kkr. Det har även förutsatts att brandfrekvensen i byggnaden är 0,25 per år. För den aktuella byggnaden kan en förväntad skadekostnad räknas ut som 6,5 kkr/år och $\hat{x}$ blir 76,4 kkr/år.

Om dessa förhållanden (som visas i Figur 12, Figur 13 och Tabell 3) antas gälla då byggnaden saknar försäkring, så går det enkelt att beräkna vad företaget skulle vara villigt att betala för en försäkring som helt eliminerade möjligheten av en ekonomisk förlust i anläggningen (på grund av brand). Detta förutsätter dock att företaget handlar rationellt och använder den beskrivna nyttofunktionen. I så fall skulle företaget vara villiga att betala 76,4 kkr/år trots att den förväntade skadekostnaden endast är 6,5 kkr/år. Anledningen till att företaget är villigt att betala mer än den förväntade skadekostnaden beror på riskaversionen.



Figur 13 Det fiktiva företags nyttofunktion.

Med hjälp av nyttofunktionen, händelseträdet och brandfrekvensen kan alltså en gräns för till vilket pris företaget skall köpa en försäkring räknas ut. Tyvärr är verkligheten inte lika enkel som framställdes i exemplet. Till exempel är de flesta byggnader ganska komplicerade, vilket gör att det lilla händelseträdet i Figur 12 inte är tillräckligt för att beskriva alla möjliga utfall av en brand. Dessutom är skadekostnaderna mer komplicerade att beräkna än vad som framställts i exemplet. I en icke fiktiv industri måste hänsyn till avbrottstider, karensen, självrisker mm. tas, vilket gör beräkningarna mer komplicerade. Det är också så att ett företag kanske inte alls handlar i enlighet med en analys gjord på detta viset, men detta beror på att den använda beslutsteorin är normativ, d.v.s. beskriver hur ett rationellt företag *borde* handla. Detta är dock inte samma sak som en beskrivande teori, vilken redogör för hur företag (människor) faktiskt fattar beslut. Det här innebär inte att analysen saknar värde, tvärt om, med analysen som grund finns ett bra underlag för ett välmotiverat beslut och till analysen kan sedan en beslutsfattare ta hänsyn till alla de svårkvantifierade omständigheter som inte betraktats i analysen. Detta kan till exempel vara de långsiktiga planerna för den aktuella anläggningen. Om verksamheten i anläggningen långsiktigt skall försvinna ur företaget kan det vara en faktor som innebär att inget ytterligare brandskydd installeras även fast en analys kanske visar att en brandskyddsinvestering är det bästa alternativet.

Det har ovan visats att då en lämplig nyttofunktion tagits fram för företaget kan funktionen användas vid problemställningar som involverar beslut om brandsäkerhet.

3.2. Beslutsanalys

Det är möjligt att göra ett rationellt val av brandskydd där osäkerheten rörande framtida bränder beaktas genom att använda klassisk beslutsteori. Den klassiska beslutsteorin innebär att en så kallad "rationell beslutsfattare" skall följa vissa regler för sitt beslut. Målet för beslutsfattaren är att maximera den förväntade nyttan och detta innebär att alla monetära utfall (och även andra utfall om detta existerar) översätts till nytta. Det alternativ som innebär den största förväntade nyttan är enligt den klassiska beslutsteorin det bästa valet.

För att använda beslutsanalysen då brandskydd skall väljas måste alltså den förväntade nyttan beräknas för de olika alternativen. I förra avsnittet beskrevs nyttofunktioner, med vilkas hjälp ett monetärt utfall kan översättas till nytta och genom att beakta sannolikhet samt nytta för alla utfall av en osäker situation kan den *förväntade* nyttan beräknas.

Beräkningen av den förväntade nyttan för olika alternativ utförs på samma sätt som analysen av den förväntade skadekostnaden, med skillnaden att i stället för att ansätta ett monetärt utfall för varje möjligt brandscenario översätts det monetära utfallet till nytta. Eftersom nyttofunktionen är icke linjär är det viktigt att samtliga kostnader summeras innan nyttan beräknas. Detta innebär till exempel att då den förväntade nyttan med ett visst brandskydd skall beräknas (då valet står mellan ett eller flera alternativ) måste för alla scenarier, hela skadekostnaden *plus* alla kostnader för brandskydd summeras innan nyttan beräknas. Den förväntade nyttan med ett specifikt brandskydd kan beräknas genom Ekvation 10, där U_i är nyttan då scenario (i) inträffar, ϕ_i är frekvensen med vilken scenario (i) beräknas inträffa, U_0 är nyttan då inga bränder inträffar och $P(X=0)$ är sannolikheten att det inte uppstår några bränder under ett år.

Ekvation 10

$$\bar{U} = \sum_{i=1}^n U_i \cdot \phi_i + U_0 \cdot P(X=0)$$

En tänkbar metodik då olika brandskyddsalternativ skall beaktas för en anläggning kan alltså vara enligt följande:

1. Identifiera alla möjliga alternativ, d.v.s. de alternativ som uppfyller bygglagstiftning och som är praktiskt genomförbara. I de olika alternativen kan även innefattas olika försäkringslösningar.
2. Bestäm brandfrekvensen i byggnaden (se avsnitt 2.2.1).
3. Konstruera ett händelseträd för *en* brand (se avsnitt 2.2.2).
4. Bestäm den fullständiga uppsättningen av brandscenarier, frekvenser och skadekostnader för byggnaden, d.v.s. $\{<B_i, \phi_i, S_i>\}_c$ (se avsnitt 2.2).
5. Skapa och använd en nyttofunktion för att beräkna den förväntade nyttan samt $\hat{x}$ för samtliga alternativ. Om företaget betraktas som riskneutralt kan den förväntade skadekostnaden användas i stället för den förväntade nyttan (se avsnitt 3.1).
6. Det alternativ som innebär den högsta förväntade nyttan, eller det lägsta $\hat{x}$ bör väljas av en rationell beslutsfattare.

Resultatet blir alltså en rangordning av de olika brandskyddsalternativen där det alternativ som innebär det lägsta $\hat{x}$ bör väljas. På detta sätt har inte bara de kortsiktiga effekterna av alternativet betraktats utan även den långsiktiga säkerhetshöjningen (eller sänkningen), samt företagets förmåga att klara av brandförluster. Det är också möjligt att väga in andra effekter vid val av de olika alternativen, t.ex. företagets framtida planer för verksamheten, men detta skapar svårigheter då dessa effekter skall värderas. Några sådana värderingar förekommer inte i detta arbete, vilket innebär att beslutsfattaren på företaget själv måste väga dessa effekter tillsammans med denna typ av analys.

4. Slutsatser och diskussion

I detta examensarbete har en metodik för riskvärdering i industrier presenterats. Presentationen i denna rapport har varit av övergripande och generell karaktär och den praktiska användningen framgår tydligare i de två rapporterna som behandlar verkliga industrier (Johansson, 1999a och b).

I Johansson (1999 a och b) kan ibland olika nomenklatur jämfört med denna rapport förekomma. Dessutom kan angreppssättet skilja sig något, men i de stora dragen stämmer nomenklatur och angreppssätt överens. Förekomsten av olika nomenklatur och angreppssätt beror på att rapporterna är skrivna med ett visst tidsmässigt mellanrum och författarens åsikter om vilka beteckningar som skall användas har ändrats något.

Metoden att använda klassisk beslutsteori för att väga för- och nackdelar med olika brandskyddsalternativ mot varandra utgör en bra och logisk bas för hur den rationelle beslutsfattaren bör fatta beslut. Detta öppnar nya möjligheter för ett mer nyanserat ställningstagande vid val av olika brandskydd och i jämförelse med indexmetoder (t.ex. Gretener metoden) framstår detta sätt att angripa problemet som mer tilltalande eftersom inte bara en rankning av de olika alternativen med hänsyn till risken kan göras, utan även med hänsyn till investeringskostnader och försäkringslösningar.

Metoden kan också användas av försäkringsbolag för att beräkna *deras* förväntade årliga skadekostnad, det enda som skiljer i beräkningen är att skadekostnaderna beräknas för försäkringsbolaget i stället för företaget.

I arbetet har inte någon känslighets- eller osäkerhetsanalys genomförts, vilket innebär att det för närvarande inte går att beskriva hur känsligt resultatet är för de osäkerheter som alltid uppkommer vid denna typ av analys. I framtida rapporter kommer dock osäkerheter att behandlas på ett mer ingående sätt.

5. Referenser

Blom, G., *Sannolikhets teori och statistik teori med tillämpningar*, Studentlitteratur, Lund 1989.

Clemen, R.T., *Making Hard Decisions*, Second edition, Duxbury Press, Belmont 1996.

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

Howard, R.A., Decision Analysis: Practise and Promise, *Management Science*, 34, pp679-695, 1988.

Johansson, H., *Ekonomisk riskanalys av ABB Automation Products verksamhet i byggnad 358*, Lunds Universitet, Brandteknik, Lund 1999a.

Johansson, H., *Ekonomisk riskanalys av Avesta Sheffield's kallvalsverk i Nyby*, Lunds Universitet, Brandteknik, Lund 1999b.

Johansson, H., *Osäkerheter i variabler vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering*, Lunds Universitet, Brandteknik, Lund 1999c.

Kaplan S., Garrick B.J., On the Quantitative Definition of Risk, PLG-P0196, *Risk Analysis* 1(1), 1981.

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

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

Nordin, E., *Avbrottsförsäkring för företag*, IFU utbildnings AB, Stockholm 1996.

Ramachandran, G., *The Economics of Fire Protection*, E & FN Spon, New York 1998.

RMT-Gruppen, *Riktlinjer för riskhantering i samhälle och näringsliv – För företag, organisationer och myndigheter på central, regional och lokal nivå*. RMT-Gruppen, Stockholm 1999.

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

Rutstein, R., The Estimation of the Fire Hazard in Different Occupancies, *Fire Surveyor*, vol.8 no.2 1979.

Räddningsverket, *Värdering av risk*, Räddningsverket, Karlstad 1997.

Räddningsverket, *Räddningstjänsten i siffror 1997*, Räddningsverket, Karlstad 1998.