



LUND UNIVERSITY

Osäkerhetshantering i riskanalyser avseende brandskydd

Tehler, Henrik

2000

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Tehler, H. (2000). *Osäkerhetshantering i riskanalyser avseende brandskydd*. (LUTVDG/TVBB--3113--SE; Vol. 3113). [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

Osäkerhetshantering i riskanalyser avseende brandskydd

Henrik Johansson

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 3113, Lund 2000

**Osäkerhetshantering i riskanalyser
avseende brandskydd**

Henrik Johansson

Lund 2000

Osäkerhetshantering i riskanalyser avseende brandskydd

Henrik Johansson

Report 3113

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--3113--SE

Number of pages: 86

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 is to describe how uncertainties in risk analysis concerned with fire protection can best be dealt with. The method judged to be the most useful for risk analysis pertaining to both fire protection and the economic consequences of fire was a combination of an event-tree technique and of bayesian statistics. This method is employed in two case studies in which the uncertainties contained in risk analyses that were performed earlier are evaluated. The case studies concerned a building belonging to ABB and one belonging to Avesta Sheffield. The results involved calculating the expected costs due to fire during a one-year period. For the ABB buildings the expected costs were 260.000 SEK/year, whereas for the Avesta Sheffield buildings they were 33.000.000 SEK/year. An approximately ninety percent confidence interval was also estimated in both cases. This was found to lie at an expected cost for the ABB buildings of between 130.000 and 440.000 SEK/year and for the Avesta Sheffield buildings of between 23.000.000 and 47.000.000 SEK/year.

© 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

I de flesta typer av riskanalyser finns osäkerheter som påverkar resultatet. Detta gäller också för den typ av riskanalys som utförts i fas 1 av projektet "Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet". Denna rapport, som är en del i fas 2 av ovanstående projekt, beskriver hur osäkerheter kan hanteras och det presenteras också en undersökning av osäkerheternas storlek i två riskanalyser som utförts tidigare i projektet. Riskanalyserna utfördes i anläggningar tillhörande ABB och Avesta Sheffield.

En mycket viktig del i rapporten är den bayesianska uppdateringen av sannolikhets-skattningar. Bayesiansk uppdatering innebär att alla sannolikheter som ingår i riskanalys-modellen skattas subjektivt med hjälp av statistik, mätningar eller annan information. Dessa skattningar förbättras sedan med hjälp av ny statistik eller nya mätningar från den byggnad som analysen utförs för. Förbättringen av de subjektiva skattningarna är mycket stor och det behövs därför endast en begränsad mängd ny statistik för att man skall erhålla betydande förbättringar av de ursprungliga skattningarna.

Som utgångspunkt vid de första, subjektiva, skattningarna av sannolikheterna kan generell statistik används, d.v.s. statistik med information om den aktuella sannolikhetens medelvärde för samtliga byggnader eller för en grupp av byggnader som det aktuella objektet tillhör. I denna rapport presenteras en analys av statistik från bränder i svensk industri där resultatet är en skattning av sannolikheten för olika brandutbredningar i olika industrigrupper. Genom resultatet får den som skall genomföra skattningen i en *specifik* industri en uppfattning om sannolikhetens medelvärde i *industrigruppen* som anläggningen tillhör, vilket ger en bra utgångspunkt för den subjektiva skattningen.

De två osäkerhetsanalyser som utförts behandlar den totala kostnaden för en brand, d.v.s. både egendoms- och avbrottskostnader exklusive självrisk och karens. Den förväntade skade-kostnaden beroende på brand i ABB-anläggningen skattades till **260 tkr/år** och för Avesta Sheffield's anläggning till **33.000 tkr/år**. Ett approximativt konfidensintervall med konfidens-graden 0,9 beskriver osäkerheten i skattningen; intervallet beräknades för ABB-byggnaden till mellan 130 tkr/år och 440 tkr/år och för Avesta Sheffield-byggnaden mellan 23.000 tkr/år och 47.000 tkr/år. Den stora skillnaden i förväntad skadekostnad mellan byggnaderna kan bland annat förklaras med att brandfrekvensen i Avesta Sheffield's byggnad skattats till nästan 10 gånger så stor som i ABB-byggnaden och att Avesta Sheffield's byggnad saknar sprinkler-system.

Osäkerheten i en absolut skattning av den förväntade skadekostnaden kan alltså vara stor. Vilken effekt detta får då olika investeringsalternativ i brandskydd skall jämföras är dock inte självklart. Visserligen kommer osäkerheter att försvåra valet, men det är troligt att osäkerheterna vid en differensanalys (jämförelse av två alternativ) är betydligt mindre än vid den analys som utförts i denna rapport. Hur osäkerheterna påverkar val av mest kostnadseffektiva brandskydd kommer att studeras senare i detta projekt.

Summary

Risk analysis always contains uncertainties, such as those regarding the state of the world or one or more of the parameters involved. Uncertainties that may have affected the results are also to be found in the risk analyses performed during phase 1 of the present project, "Economic optimisation of industrial fire protection". This report, which is a part of phase 2 of the project, aims at describing how uncertainties of this sort can be dealt with and at examining the degree of uncertainty present in two of the risk analyses performed during phase 1 of the project. The risk analyses concerned risks at industrial facilities belonging to the firms ABB and Avesta Sheffield.

A major section of the report deals with bayesian treatment of uncertainty. Here the probabilities for different events that can occur during a fire are first estimated subjectively with the help of previous experience, statistical information, and whatever other information is available. These probabilities are updated then using measurements or assessments pertaining to the specific building involved. This yields estimates based not only on knowledge of buildings of a general type or those used for an industrial or commercial purpose of a particular kind, but also of expert judgments and of information or assessments concerning the specific building in question. Figures regarding the number of fires occurring during the past year in buildings of similar type can be used each year, for example, to update these estimates and produce new risk assessments. This makes the method highly suitable for performing repeated and revised evaluations of risk.

The subjective probability estimates made concerning a specific building are based on the previous experience of the expert (the person making the estimates), together with all other information that appears relevant. Since information regarding some of the probabilities was not readily available here, an investigation was made of the probabilities for different degrees of fire spread in Swedish industrial buildings generally, given that a fire occurred. The investigation concerned fires that took place in 1996, 1997 and 1998.

These estimates of the probabilities for different degrees of fire spread are used, in combination with expert judgements, measurements made, and the like, to produce estimates of the expected costs due to fire, both for the building belonging to Avesta Sheffield and for the one belonging to ABB. The expected costs include the costs of the equipment and the facilities expected to be destroyed, and also of the interruptions in business which the fires would bring about. The expected costs were calculated to be **260.000 SEK/year** for the ABB buildings and **33.000.000 SEK/year** for the Avesta Sheffield buildings. Both these estimates were obtained with a confidence interval of approximately 90%, which lay in the range of 130.000 to 440.000 SEK/year for the ABB buildings and of 23.000.000 of 47.000.000 SEK/year for the buildings of Avesta Sheffield.

The large differences in expected cost due to fire can be accounted for by differences in building layout, in fire frequency and in fire protection measures. The uncertainties regarding the *absolute* values for the expected costs are nevertheless considerable. This would probably pose a problem if the attempt were made to create absolute risk criteria for the companies in question. On the other hand, the uncertainties found in comparing two fire protection alternatives in the same building appear to be of much lesser magnitude than those of expected cost alone as seen in absolute terms. This will probably prove to be of considerable importance when calculations of the investments for fire protection measures are undertaken. That is a matter that will be dealt with in the next report of the project.

Förord

Denna rapport är en del i fas 2 av projektet ”Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet”, vilket finansieras av BRANDFORSK. Som hjälp vid framtagandet av denna rapport har funnits en referensgrupp bestående av följande personer:

Tommy Arvidsson, BRANDFORSK
Nils Fröman, Pharmacia & Upjohn
Ingemar Grahm, 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

Sammanfattning	Sida
Summary	i
Förord	ii
	iii
1. Inledning.....	1
1.1. SYFTE.....	1
1.2. METOD.....	1
2. Hantering av osäkerheter	3
2.1. GRUNDLÄGGANDE BEGREPP.....	5
2.2. BAYESIANSK UPPDATERING.....	7
2.2.1. Diskret apriori-fördelning	9
2.2.2. Kontinuerlig apriori-fördelning.....	19
2.2.3. Användning av bayesiansk uppdatering i riskanalyser.....	21
2.3. MONTE CARLO-SIMULERING	22
2.4. OLIKA NIVÅER AV OSÄKERHETSHANTERING	25
2.4.1. Nivå 0, riskkällor och felfunktioner	25
2.4.2. Nivå 1, värsta tänkbara händelse	25
2.4.3. Nivå 2, rimlig maximal skada	26
2.4.4. Nivå 3, centrala värden för sannolikheter och konsekvenser	26
2.4.5. Nivå 4, probabilistisk riskbedömning, en riskprofil.....	27
2.4.6. Nivå 5, probabilistisk riskbedömning, flera riskprofiler.....	28
2.4.7. Att välja rätt nivå av osäkerhetshantering.....	29
2.5. HANTERING AV OSÄKERHETER VID JÄMFÖRELSE MELLAN OLIKA ALTERNATIV	30
2.5.1. Reducering av total osäkerhet	33
3. Osäkerheter i brandförlopp.....	35
3.1. SKATTNING AV SANNOLIKHETER.....	35
3.2. ICKE SPRINKLADE BYGGNADER	44
3.2.1. Metall-/Maskinindustri	44
3.2.2. Kemisk industri.....	44
3.2.3. Livsmedelsindustri	45
3.2.4. Textil-/Beklädnadsindustri.....	45
3.2.5. Lager.....	46
3.2.6. Trävaruindustri.....	46
3.2.7. Annan tillverkningsindustri	47
3.2.8. Reparationsverkstad	47
3.2.9. Industrihotell	48
3.3. SPRINKLADE BYGGNADER	49
3.3.1. Metall-/Maskinindustri	49
3.3.2. Kemisk industri.....	49
3.3.3. Livsmedelsindustri	50
3.3.4. Trävaruindustri.....	50
3.3.5. Annan tillverkningsindustri	51
3.4. SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION	51
3.5. SLUTSATSER OCH BEGRÄNSNINGAR	56
4. Osäkerhetshantering i två ekonomiska riskanalyser.....	59
4.1. GENERELL METODIK VID OSÄKERHETSANALYS.....	59
4.2. ABB AUTOMATION PRODUCTS.....	62
4.2.1. Deterministisk analys.....	62
4.2.2. Känslighetsanalys.....	66
4.2.3. Osäkerhetsanalys.....	69
4.3. AVESTA SHEFFIELD	72
4.3.1. Deterministisk analys.....	73
4.3.2. Känslighetsanalys.....	79
4.3.3. Osäkerhetsanalys.....	80
5. Slutsatser och diskussion.....	83
6. Referenser	85
Bilaga 1, Osäkerheter i parametrar (ABB)	
Bilaga 2, Osäkerheter i parametrar (Avesta Sheffield)	
Bilaga 3, Beräkningsalgoritm för brandspridning i byggnad	
Bilaga 4, Händelsetråd för brand i byggnad 358 (ABB)	
Bilaga 5, Händelsetråd för brand i Avesta Sheffield's kallvalsverk	

1. Inledning

Då riskanalyser av den typ som presenterats under fas 1 i projektet "Ekonomisk optimering av det industriella brandskyddet" utförs ingår många parametrar som är förknippade med stora osäkerheter. Att det existerar osäkerheter är klart, men hur stora de är och hur de påverkar resultatet av en analys är svårt att veta. Det är därför önskvärt att en analys av osäkerheterna utförs för att visa hur stabilt resultatet i den inledande analysen är. Denna osäkerhetsanalys bör naturligtvis ske innan beslut fattas på grundval av rekommendationerna i riskanalysen.

Ett problem vid riskanalyser av en specifik anläggning är att det är svårt att erhålla relevant information angående olika parametrar i anläggningen. Det är relativt lätt att skaffa information från en större grupp av anläggningar, till exempel från mekanisk industri. Däremot uppstår problem då skattningar i en enskild anläggning skall göras. Då är inte underlaget för skattningen lika stort, och parametervärdena som skattas blir i regel alltför osäkra för att kunna användas i en praktisk situation. Lösningen på detta problem kan vara att använda den generella informationen från industrigruppen som en utgångspunkt för skattningen i den enskilda anläggningen. Den generella informationen ger kunskap om medelvärdet för den aktuella parametern i *industrigruppen* som den *specifika* anläggningen tillhör. Detta medelvärde kan sedan användas som utgångspunkt då en expert gör en subjektiv skattning av parametrarnas värde i den *specifika* industrin. Den subjektiva skattningen kan sedan väsentligt förbättras genom att man använder statistik från den *specifika* industrin; förbättringen utförs med hjälp av Bayes sats.

1.1. Syfte

Syftet med denna rapport är att redogöra för hur osäkerheter i riskanalyser kan hanteras och att undersöka hur stora osäkerheterna i resultatet från två riskanalyser egentligen är. De två riskanalyserna som kommer att användas utfördes under fas 1 i projektet och behandlar två industrier tillhörande ABB och Avesta Sheffield. Denna rapport skall sedan ligga till grund för en kommande rapport som behandlar beslutsfattande angående brandskydd i industrier.

1.2. Metod

I kapitel 2 redovisas generella synpunkter när det gäller osäkerhetshantering i riskanalyser. I detta kapitel behandlas bland annat olika sätt att betrakta sannolikhet, olika nivåer som osäkerheter kan behandlas på m.m. Detta avsnitt speglar det sätt att betrakta osäkerheter som används i rapporten. De angreppssätt som diskuteras är de som ansetts lämpliga att använda på de problem som har undersökts i fas 1 av projektet.

En väsentlig del av en riskanalys upptas av sannolikheter; ett sätt att betrakta sannolikheter och som bedömts som passande i riskanalyser av industrier, är det bayesianska sättet. Där betraktas sannolikheter som subjektiva, d.v.s. de är beroende av vem som utför skattningen av sannolikhetsvärdet. Det bayesianska sättet att betrakta sannolikheter blir kraftfullare desto mer relevant information som finns att tillgå om den sannolikhet som skall skattas. Detta beror på att det bayesianska sättet ger en formell grund för hur subjektiva skattningar skall förbättras med hjälp av objektiva mätningar. I praktiska sammanhang innebär detta att en sannolikhet först kan skattas subjektivt av en expert och därefter förbättras genom att man gör vissa mätningar i den specifika anläggningen. En positiv effekt av att använda det bayesianska sättet för uppdatering är att ju mer information (statistik) som används för uppdatering desto mindre roll spelar den ursprungliga subjektiva skattningen. Detta betyder att två olika subjektiva skattningar av samma parameter kommer att konvergera mot samma resultat efter att Bayes sats använts ett antal gånger. För att förse experten som gör den inledande skattningen av sannolikheten med relevant information har en undersökning av förekomsten

av olika maximala omfattningar för bränder i svensk industri genomförts. Denna studie redovisas i kapitel 3 och är tänkt att utgöra en grund för sannolikhetskattningar som skall genomföras i en specifik byggnad. I studien skattas medelvärdet av sannolikheten för olika maximala omfattningar av bränder i en viss industrigrupp. Detta värde kan användas som utgångspunkt när skattning av samma eller en liknande parameter skall göras i en industri som ingår i den aktuella industrigruppen.

I kapitel 4 appliceras de metoder som diskuterats i kapitel 2 på två stycken industri-anläggningar i avsikt att skatta osäkerheten i resultatet från dessa. Vid dessa praktiskt genomförda osäkerhetsanalyser används resultat från kapitel 3 för skattning av vissa av sannolikheterna.

2. Hantering av osäkerheter

Varje gång beslut angående brandskydd i byggnader skall fattas hanteras osäkerheter, medvetet eller omedvetet. Uppkomsten av bränder är något osäkert och likaså graden av skada om en brand skulle uppkomma. Osäkerheter är också orsaken till att riskanalyser används vid beslut om huruvida någonting är acceptabelt eller inte, om vilket alternativ av flera som skall väljas o.s.v. Om det inte fanns någon osäkerhet skulle knappast någon riskanalys behövas eftersom utfallet av situationen redan på förhand vore känt.

Osäkerheter kan till exempel uppkomma på grund av ofullständig information, systematiska fel, oenighet mellan informationskällor, språklig ofullständighet, approximationer m.m. (Morgan & Henrion, 1990). Det finns alltså en mängd olika källor till osäkerheter, och vid den typ av analys som denna rapport behandlar kommer aldrig *alla* osäkerheter att kunna tas bort. I stället bör arbetet i en riskanalys koncentreras på hur osäkerheterna på bästa möjliga sätt skall kunna hanteras så att det ändå går att få användbar information från analysen.

Det är vanligt att osäkerheter delas in i två olika typer: kunskapsosäkerheter och stokastiska osäkerheter (se till exempel Helton, 1994 eller Hofer, 1996). Dessa två begrepp är nära besläktade med subjektiva sannolikheter respektive frekvensrelaterade sannolikheter. Hofer tar upp ett bra exempel för att förklara skillnaden mellan de två typerna av sannolikhet. Exemplet citeras här:

“Suppose there are two dice on the table. One, call it A, is being cast continuously. The other, call it B, is covered, left untouched and it is uncertain which side is up. At any instance the number shown by B and the number that will be shown by A are uncertain, and so is their sum. For simplicity, denote these uncertain quantities by A, B and $A + B$. The mathematical concept of probability is used to quantify uncertainty. There is the classical frequentistic (probability as the limit of relative frequency) and the subjective (probability as a measure of degree of belief) interpretation of probability. With both interpretations the wealth of well-established concepts and tools of probability calculus and statistics is at one's disposal. Sample evidence can be used to update degrees of belief for parameters that govern probabilities in the frequentistic interpretation. In this sense the subjectivistic interpretation is an extension of the latter. Both interpretations have their place in the example. The uncertainty of A is quantified using the frequentistic interpretation where one simply speaks of ‘probability’ while the subjectivistic interpretation, where one speaks of ‘subjective probability’ is used for B. Since B is constant, i.e. has only one true value, limits of relative frequencies don't make sense. Rather, degrees of belief are held for either of the six numbers on the die to be up. They quantify the state of knowledge for B.”

I exemplet betraktas alltså värdet på tärning B (den täckta tärningen) som en kunskapsosäkerhet, och alltså används subjektiva sannolikheter för att beskriva värdet. Värdet av tärning A (som kastas hela tiden) betraktas däremot som en stokastisk osäkerhet. Det är troligt att en person som ombeds skatta sannolikheten för att de båda tärningarna visar (inte samtidigt) siffran 1 skulle säga 1/6. Även om skattningen är densamma representerar den i fallet med tärning A en situation där personen fått kasta tärningen ett stort antal gånger och konstaterat att den relativa frekvensen av ettor blir ungefär 1/6. I fallet med tärning B däremot representerar skattningen ett mått på hur troligt personen bedömer att den dolda tärningen har ettan uppåt. För att göra skattningen av sannolikheten för att tärning B har sidan med ettan uppåt kan till exempel händelseträdsmetodik användas. Detta innebär att en modell för det fenomen som man önskar beskriva skapas, och sannolikheterna för de olika utfallen skattas subjektivt. Längre fram i rapporten finns mer ingående exempel på vad händelseträdsmetodik innebär.

Eftersom sannolikheter ofta används för att kvantifiera osäkerheter och tolkningen av sannolikheter är central för hur vi uppfattar riskanalyser är det passande att redovisa två

tolkningar av sannolikhetsbegreppet. Dessa två tolkningar kallas frekvenstolkningen respektive den bayesianska tolkningen.

Frekvenstolkningen av sannolikhetsbegreppet innebär att om sannolikheten för en viss händelse A vid ett slumpmässigt försök är 0,6 ($P(A)=0,6$) kommer den relativa frekvensen av försök där händelsen A inträffat att närma sig 0,6 då antalet försök är stort. Ett exempel på denna typ av sannolikhet är sannolikheten att slå en etta med en sexsidig tärning (tärning A i exemplet på förra sidan). Om sannolikheten för detta vid ett slag är $1/6$ kommer den relativa frekvensen slag där utfallet blivit en etta att närma sig $1/6$ då antalet slag är stort (se Figur 24 i kapitel 3). Vid ett fåtal kast kan dock den relativa frekvensen ändras mycket och ibland vara långt ifrån $1/6$.

När sannolikheten bestäms genom att man använder frekvenstolkningen brukar det inte råda någon oenighet om vad sannolikheten för en viss händelse är, och i dessa fall brukar sannolikheten benämnas *objektiv*. Den objektiva sannolikheten innebär att en mätning av ett fenomen på något sätt resulterar i en sannolikhet, ofta angiven med ett konfidensintervall. Konfidensintervallet kan anges med olika konfidensgrad, men vanligast är 0,95, 0,99 eller 0,999. Med konfidensgrad avses sannolikheten att konfidensintervallet innefattar det "sanna" parametervärdet.

Motsatsen till objektiva sannolikheter är de subjektiva sannolikheterna, vilka inte behöver vara de samma för alla människor utan kan skilja sig åt eftersom de beror på vem som bedömer dem. Subjektiva sannolikheter används i den bayesianska tolkningen av sannolikhetsbegreppet.

I den bayesianska tolkningen av sannolikhetsbegreppet ses sannolikheten för att en händelse skall inträffa som ett mått på hur troligt en person *bedömer* att det är att händelsen kommer att inträffa, givet all relevant information som personen för tillfället besitter (tärning B i exemplet på förra sidan). Sannolikheten för en händelse beror alltså på graden av information, vilket gör att olika personer kan skatta olika sannolikheter för samma händelse. Morgan och Henrion (1989) skriver detta som $P(X|e)$ där X är den osäkra händelsen och e är kunskapen som personen besitter. Detta synsätt innebär att det inte finns någon "rätt" sannolikhet utan att sannolikheten beror på vem som gör skattningen. Eftersom det är önskvärt att ungefär samma resultat erhålls oberoende av vem som utför en analys kan detta sätt att betrakta sannolikhet tyckas vara osäkert, beroende på att två riskanalyser gjorda för samma byggnad men av två olika personer kan ge olika resultat. Detta är inte önskvärt; speciellt inte om riskanalysen skall användas som beslutsunderlag för till exempel en investering i brandskydd, och de två personerna rekommenderar olika brandskyddsalternativ.

Det stämmer naturligtvis att det inte är önskvärt att erhålla två rekommendationer för brandskyddet, men det är också så att de problem som önskas beskrivas i en riskanalys ofta involverar sannolikheter som på ett praktiskt sätt inte kan skattas med hjälp av frekvenstolkningen av sannolikhetsbegreppet. Anledningen är att det helt enkelt inte brinner tillräckligt ofta i en industri för att tillförlitliga skattningar av till exempel sprinklersystemets funktionssannolikhet skall kunna göras.

När det gäller den bayesianska synen på sannolikheter finns det en mycket användbar metod för att utnyttja den ofta begränsade mängden information angående bränder i en industri. Redan en begränsad mängd statistik från bränder kan nämligen användas för att väsentligt förbättra en ursprungligen subjektiv skattning av en sannolikhet. Detta innebär att om två

personer från början skattar olika värden på en och samma sannolikhet, kommer båda skattningarna att närma sig samma värde då de förbättras med ny statistik. I det långa loppet försvinner alltså effekten av att personer har olika uppfattning om en sannolikhet. Denna metod kommer att diskuteras närmare i avsnittet som handlar om bayesiansk hantering av osäkerheter (avsnitt 2.2).

Den bayesianska tolkningen av sannolikhetsbegreppet ger alltså en vid riskanalyser mer praktisk användning av sannolikheter för att representera osäkerheter. Främst sker detta på grund av friheten för subjektiva skattningar, men också på grund av att det bayesianska sättet att hantera sannolikheter ger möjlighet till förbättring av sannolikheter då mer information angående en händelse har erhållits. Detta ger, ur ett långsiktigt riskhanteringsperspektiv, ett tillfredsställande sätt att hantera osäkerheter eftersom kontinuerliga mätningar av till exempel antalet bränder per år kan användas för förbättring av riskanalyser från föregående år. Förbättringen sker genom sammanvägning av den nya informationen (Hur många bränder har vi haft i år?) med gammal information (Vad var skattningen av brandfrekvensen förra året?).

2.1. Grundläggande begrepp

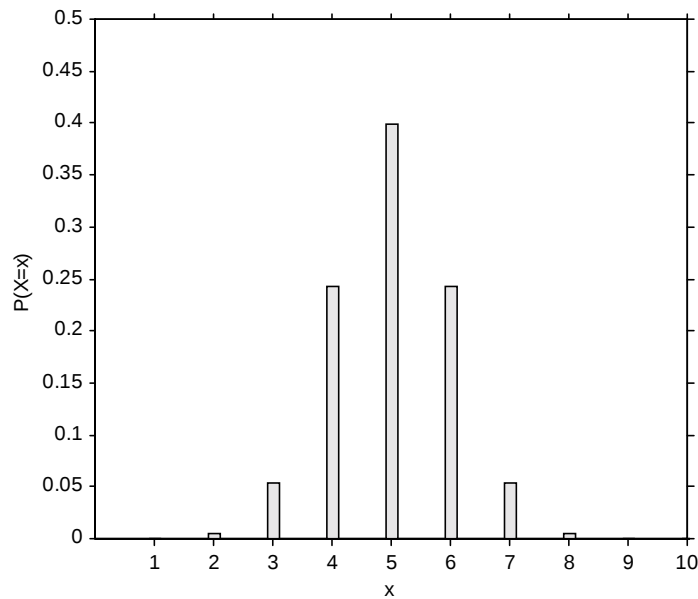
I denna rapport kommer det bayesianska sättet att hantera osäkerheter att användas. För att skatta sannolikheter kommer subjektiva bedömningar i kombination med objektiv information (mätningar) att användas. Sannolikheter som används i rapporten kommer att betraktas enligt Kolmogorovs axiomsystem (se till exempel Blom, 1989). Detta innebär att alla sannolikheter måste vara mellan 0 och 1, att summan av sannolikheterna för alla möjliga utfall måste vara 1 och att sannolikheten att någon av två oförenliga händelser skall inträffa är summan av sannolikheterna för de två händelserna. Axiomsystemet innebär alltså ingen ovanlig hantering av sannolikheter utan överensstämmer med de flesta människors bild av hur en sannolikhet anges och används.

Vidare kommer sannolikheten för en händelse (till exempel A) att betecknas med $P(A)$, d.v.s. stora P och händelsen vars sannolikhet avses inom parentes. Ibland förekommer betingade sannolikheter, vilket innebär att sannolikheten för händelsen förutsätter att en annan händelse redan inträffat. Exempelvis kan sannolikheten att sprinklersystemet släcker branden, givet att branden uppstått i ett pallager, vara 0,9. I detta fall symboliserar ordet ”pall” händelsen att branden uppkommit i pallagret och ordet ”släck” symboliserar händelsen att sprinklersystemet släcker branden. Sannolikheten att sprinklersystemet släcker branden, givet att den uppstått i pallagret, skulle i så fall betecknas $P(\text{släck}|\text{pall})$, d.v.s. symbolen ”|” innebär ”givet att händelsen till höger har inträffat”.

Som benämning av en variabel som slumpmässigt antar olika värden används *stokastisk variabel*. Det finns två typer av stokastiska variabler, diskreta respektive kontinuerliga. En stokastisk variabel är enligt definition i Blom (1989) diskret om den ”kan anta ett ändligt eller uppräkneligt oändligt antal olika värden.” Tidigare i detta projekt (Johansson, 1999b och Johansson, 1999c) har diskreta stokastiska variabler använts för att beskriva brandfrekvensen i en byggnad. I det fallet beskrev den stokastiska variabeln en kunskapsosäkerhet, men stokastiska variabler kan även användas för att beskriva stokastiska osäkerheter.

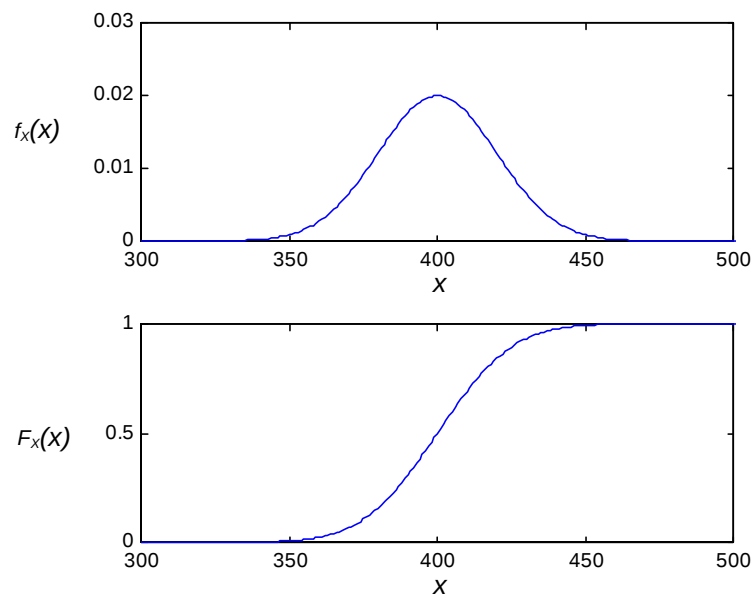
För att beskriva de stokastiska variablerna brukar en sannolikhetsfunktion eller en frekvensfunktion användas. Sannolikhetsfunktionen används då den stokastiska variabeln är diskret, och beteckningen som används är vanligtvis $p_X(k)$, vilket är samma sak som $P(X=k)$ eller sannolikheten att den diskreta stokastiska variabeln X skall anta värdet k . En stokastisk variabel kan ritas i ett stolpdigram, vilket kan se ut som i Figur 1. Vanligtvis används stora

bokstäver för att symbolisera den stokastiska variabeln och små bokstäver för argumentet, något som också kan ses i Figur 1.



Figur 1 Exempel på stolpdiagram som visar en diskret stokastisk variabel.

Då kontinuerliga stokastiska variabler skall beskrivas används en så kallad frekvensfunktion eller täthetsfunktion, och eftersom en stokastisk variabel kan anta alla värden i ett intervall blir formen på frekvensfunktionen inte lika ojämn som formen på sannolikhetsfunktionen. Frekvensfunktionen betecknas vanligtvis som $f_X(x)$, där X är den stokastiska variabeln och x är argumentet. Kontinuerliga stokastiska variabler brukar också anges som fördelningsfunktioner, vilket är en kumulativ fördelning och betecknas $F_X(x)$. Att fördelningen är kumulativ innebär att $F_X(x) = P(X \leq x)$, d.v.s. sannolikheten att X är mindre än eller lika med x . Exempel på en frekvens respektive fördelningsfunktion visas i Figur 2.



Figur 2 Exempel på en frekvensfunktion respektive en fördelningsfunktion för en kontinuerlig stokastisk variabel.

Då kontinuerliga stokastiska variabler behandlas avses inte sannolikheten att variabeln skall anta ett *specifikt* värde utan att den skall anta ett värde i ett *intervall*. Detta innebär till exempel att för den stokastiska variabel som visas i Figur 2 kan ingen sannolikhet anges för att variabeln skall anta till exempel värdet 380, men däremot för att variabeln skall vara i *intervallet* mellan till exempel 370 och 390. Det går dock att ange så små intervall att de i princip motsvarar ett enda värde. I denna rapport kommer mestadels diskreta stokastiska variabler att behandlas.

Då beskrivning av vilken fördelning som en specifik stokastisk variabel tillhör används skrivsättet $X \in N(m, \sigma)$, vilket betyder att den stokastiska variabeln X är normalfördelad med medelvärde m och standardavvikelsen σ .

2.2. Bayesiansk uppdatering

I alla sammanhang där riskanalyser används får man ständigt ny information som gör att man kan komma att behöva modifiera redan gjorda antaganden. Informationen kan exempelvis erhållas från experter, från mätningar eller från ny statistik. Då man erhåller den nya informationen behöver man ett sätt att kombinera denna med den gamla informationen som man redan tagit hänsyn till i analysen; detta kan åstadkommas genom att man använder ett samband som kallas Bayes sats.

Man använder Bayes sats då man inte vet vilket av flera olika möjliga tillstånd som är det korrekta. Med tillstånd kan exempelvis brandfrekvensen i en industri avses, hållfastheten i en betongpelare eller vädret en viss dag en vecka fram i tiden. Även om man inte vet vilket tillstånd som är det rätta, har man i alla fall en *uppfattning* om hur sannolika de olika tillstånden är. Denna uppfattning kan komma att ändras då man erhåller mer information i form av exempelvis ny statistik. Problemet är hur man uppdaterar den ursprungliga uppfattningen på ett logiskt sätt.

Om man erhåller information som gör att man känner till det sanna tillståndet är detta inget problem, eftersom sannolikheten för detta tillstånd då är lika med 1; om man däremot inte erhåller direkt kunskap om tillstånden utan indirekt information som påverkas av vilket tillstånd som är det korrekta, blir problemet mer komplext. Hur skall man exempelvis ändra sin uppfattning om brandfrekvensen i en byggnad då man erhållit informationen att det under det senaste året inte uppstått någon brand i byggnaden?

Det som krävs då man erhåller den nya indirekta informationen är att man vet sambandet mellan informationen och tillstånden. Detta innebär att man måste kunna beräkna sannolikheten att den nya informationen (t.ex. ny statistik) skulle erhållits *givet* att ett visst tillstånd är korrekt, d.v.s. $P(\text{ny information} \mid \text{tillstånd})$. I vårt fall alltså: hur sannolikt är det att det inte uppstår några bränder under ett år givet en viss brandfrekvens?

Det man försöker erhålla är en uppdaterad skattning av sannolikheten för de olika tillstånden givet den nya informationen, d.v.s. $P(\text{tillstånd} \mid \text{ny information})$. Definitionen för betingad sannolikhet (se t.ex. Blom, 1989) ger att $P(\text{tillstånd} \mid \text{ny information})$ kan skrivas enligt Ekvation 1, d.v.s. som en kvot mellan sannolikheten att dels ett visst tillstånd är det rätta *och* att den nya informationen skulle erhållits, dels sannolikheten att den nya informationen skulle erhållits.

Ekvation 1

$$P(\text{tillstånd}/\text{ny information}) = \frac{P(\text{tillstånd} \cap \text{ny information})}{P(\text{ny information})}$$

Ekvation 1 kan skrivas om som Ekvation 2.

Ekvation 2

$$P(\text{tillstånd}/\text{ny information}) = \frac{P(\text{tillstånd}) \cdot P(\text{ny information}/\text{tillstånd})}{P(\text{ny information})}$$

Genom att ersätta nämnaren i Ekvation 2 med satsen om total sannolikhet (se t.ex. Blom, 1989) erhålls Ekvation 3, som också kallas Bayes sats.

Ekvation 3

$$P(\text{tillstånd}/\text{ny information}) = \frac{P(\text{tillstånd}) \cdot P(\text{ny information}/\text{tillstånd})}{\sum_{\text{Alla tillstånd}} P(\text{ny information}/\text{tillstånd}) P(\text{tillstånd})}$$

En av de ingående delarna i Bayes sats är den så kallade *apriori-sannolikheten* för det aktuella tillståndet, $P(\text{tillstånd})$. Apriori-sannolikheten uttrycker sannolikheten att ett visst tillstånd är det rätta *innan* den nya informationen erhållits. $P(\text{ny information} | \text{tillstånd})$ uttrycker sannolikheten att den nya informationen skulle erhållits givet att det antagna tillståndet var det korrekta. Summan i nämnaren är en normeringsfaktor som är till för att summan av sannolikheterna för alla tillstånden skall vara 1. Resultatet efter att Bayes sats använts, d.v.s. $P(\text{tillstånd} | \text{ny information})$, kallas *posteriori-sannolikheten* för det aktuella tillståndet och uttrycker sannolikheten att det aktuella tillståndet är det korrekta givet att den nya informationen observerats.

Om man är intresserad av sannolikheten för samtliga tillstånd kan dessa sammanfattas i en *apriori-fördelning*, som beskriver fördelningen mellan tillstånden innan den nya informationen erhållits och i *posteriori-fördelningen*, som beskriver fördelningen mellan tillstånden efter att den nya informationen erhållits.

För att exemplifiera användandet av Bayes sats följer några exempel som visar ett antal praktiska områden där satsen är nyttig. Först redovisas ett exempel där en korvgubbe skall uppdatera sin uppfattning om väderleken en viss dag i framtiden. Korvgubben använder sig av en meteorolog för att få veta om det blir hög- eller lågtryck den aktuella dagen och kan med hjälp av denna nya information uppdatera sin uppfattning om vädret blir regnigt, mulet eller vackert. Därefter följer ett exempel där sannolikheten för en läcka av radioaktivt material vid transport av kärnbränsle skall uppdateras med hjälp av informationen att 4.000 transporter genomförts utan att en enda läcka uppstått. Det sista exemplet handlar om att uppdatera brandfrekvensen i en industrianläggning med hjälp av informationen att tio bränder uppstått på tre år.

I alla dessa exempel används diskreta apriori-fördelningar, men det går även att använda kontinuerliga apriori-fördelningar, vilka behandlas i avsnitt 2.2.2.

2.2.1. Diskret apriori-fördelning

Ett exempel hämtat från Berglund, Grubbström & Halldén (1974) fungerar som en bra introduktion till den bayesianska uppdateringen av diskreta fördelningar. Exemplet handlar om en korvgubbe som står inför ett val; han har att välja mellan att köpa antingen 500, 1000 eller 1500 korvar inför en fotbollsmatch. Efterfrågan på korvar är beroende av vädret, varför beslutet angående hur många korvar som skall köpas beror av sannolikheten för att vädret skall bli vackert, mullet eller regnigt. Erfarenhetsmässigt vet korvgubben att det är vackert (V) 20% av tiden, mullet (M) 60% av tiden och regnigt (R) 20% av tiden. Dessa sannolikhetsskattningar utgör *apriori-skattningar*, vilket innebär att de tillsammans bildar *apriori-fördelningen* för vädret.

Genom att betala en summa pengar till en meteorolog kan korvgubben, någon dag i förväg, få veta om det blir lågtryck (L) eller högtryck (H) på matchdagen. Denna information kan han använda för att förbättra, eller uppdatera, sin ursprungliga skattning (apriori-skattningen) av sannolikheten för olika väder. Problemet, som man använder Bayes sats för att lösa, är hur de ursprungliga apriori-skattningarna skall ändras då korvgubben vet att det blir antingen högtryck eller lågtryck på matchdagen. Observera att det inte är säkert att det blir vackert väder bara för att det är högtryck. För att utföra förbättringen av sannolikhetsskattningarna måste korvgubben känna till sannolikheten att det är lågtryck *om* det regnar, d.v.s. $P(L|R)$ vilket är samma sak som $P(\text{ny information} \mid \text{tillstånd})$ i förra avsnittet. En skattning av denna sannolikhet kan erhållas genom att man beräknar kvoten mellan antalet dagar som är regn- och lågtrycksdagar (N_{LR}) och antalet dagar som är regndagar (N_R) under ett år. Om både N_{LR} och N_R delas med det totala antalet dagar under året (N) erhålls Ekvation 4, där $P(LR)$ betecknar sannolikheten att en dag är regnig då det råder lågtryck, och $P(R)$ betecknar sannolikheten att dagen är regnig.

Ekvation 4

$$P(L/R) = \frac{N_{LR} / N}{N_R / N} = \frac{P(LR)}{P(R)}$$

På samma sätt som för $P(L/R)$ kan liknande uttryck som Ekvation 4 skapas för $P(L/M)$ och $P(L/V)$.

Om korvgubben vet att det blir lågtryck, d.v.s. meteorologen säger det, är det inte $P(L/R)$ som är intressant utan $P(R/L)$. $P(R/L)$ erhålls på samma sätt som Ekvation 4 och resulterar i Ekvation 5.

Ekvation 5

$$P(R/L) = \frac{P(LR)}{P(L)} = \frac{P(L/R)P(R)}{P(L)}$$

$P(L)$, d.v.s. sannolikheten att det överhuvudtaget blir lågtryck, kan uttryckas som summan av tre sannolikheter, nämligen $P(LR) + P(LM) + P(LV)$. Lågtryck kan alltså förekomma tillsammans med såväl regn som med mullet respektive vackert väder. Om sannolikheterna för att ett lågtryck inträffar tillsammans med regnigt, mullet eller vackert väder summeras ger detta sannolikheten för ett lågtryck över huvudtaget (oberoende av väderlek). Summan av de tre sannolikheterna kan också uttryckas som Ekvation 6.

Ekvation 6

$$P(L) = P(LR) + P(LM) + P(LV) = P(L/R)P(R) + P(L/M)P(M) + P(L/V)P(V)$$

Om Ekvation 5 kombineras med Ekvation 6 erhålls sambandet i Ekvation 7, vilket också kallas Bayes sats. $P(R)$, $P(M)$ och $P(V)$ utgör de kända apriori-sannolikheterna och $P(R/L)$ är posteriori-sannolikheten att det blir regn. Posteriori-sannolikheten innebär i detta fall att korvgubben erhållit informationen att det blir lågtryck på matchdagen.

Ekvation 7

$$P(R/L) = \frac{P(L/R)P(R)}{P(L/R)P(R) + P(L/M)P(M) + P(L/V)P(V)}$$

Även $P(M/L)$ och $P(V/L)$ kan erhållas genom att man byter ut L i täljaren i Ekvation 7 mot M respektive V .

Antag nu att korvgubben känner följande sannolikheter:

$$\begin{array}{ll} P(L/R) = 0,7 & P(H/R) = 0,3 \\ P(L/M) = 0,9 & P(H/M) = 0,1 \\ P(L/V) = 0 & P(H/V) = 1 \end{array}$$

Posteriori-sannolikheterna för de tre väder typerna, givet lågtryck respektive högtryck, kan nu beräknas:

$$P(R/L) = \frac{0,7 \cdot 0,2}{0,7 \cdot 0,2 + 0,9 \cdot 0,6 + 0 \cdot 0,2} \approx 0,206$$

$$P(M/L) = \frac{0,9 \cdot 0,6}{0,7 \cdot 0,2 + 0,9 \cdot 0,6 + 0 \cdot 0,2} \approx 0,794$$

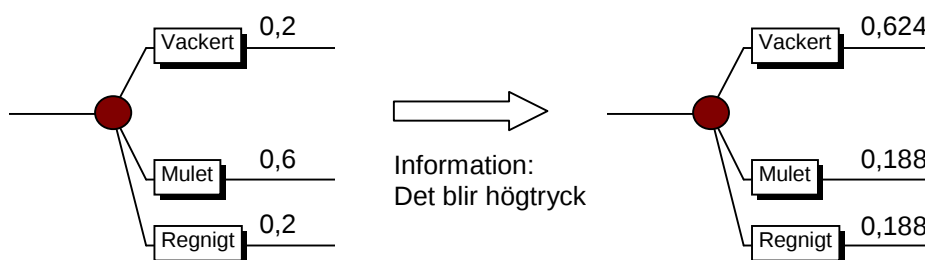
$$P(V/L) = \frac{0 \cdot 0,2}{0,7 \cdot 0,2 + 0,9 \cdot 0,6 + 0 \cdot 0,2} = 0$$

$$P(R/H) = \frac{0,3 \cdot 0,2}{0,3 \cdot 0,2 + 0,1 \cdot 0,6 + 1 \cdot 0,2} \approx 0,188$$

$$P(M/H) = \frac{0,1 \cdot 0,6}{0,3 \cdot 0,2 + 0,1 \cdot 0,6 + 1 \cdot 0,2} \approx 0,188$$

$$P(V/H) = \frac{1 \cdot 0,2}{0,3 \cdot 0,2 + 0,1 \cdot 0,6 + 1 \cdot 0,2} \approx 0,624$$

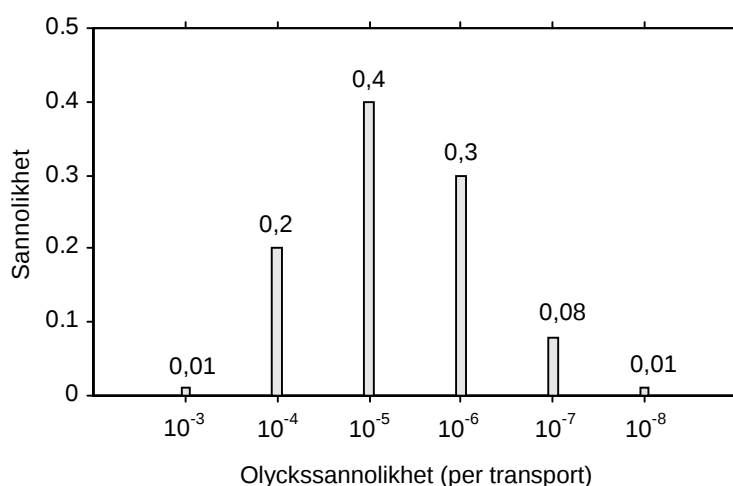
Detta innebär att om korvgubben erhåller informationen att det blir högtryck på matchdagen skall han enligt Bayes sats ändra sina ursprungliga sannolikhetsskattningar (apriori-skattningar) från 0,2, 0,6 och 0,2 till 0,188, 0,188 respektive 0,624, vilket illustreras i Figur 3.



Figur 3 Förbättring av sannolikheterna för olika väder.

Sambandet mellan en korvgubbes sannolikhetsbedömningar angående vädret under en fotbollsmatch och t.ex. sannolikheten att ett sprinklersystem fungerar eller en brandfrekvens är inte uppenbart. Faktum är dock att likheten mellan de två situationerna är ganska stor; i båda fallen är man intresserad av att förbättra en subjektiv skattning med hjälp av objektiv information. I exemplet med korvgubben ville denne förbättra sin skattning av sannolikheten för olika vädertyper, och i brandtekniska riskanalyser är man intresserad av att förbättra skattningar av exempelvis sannolikheten att personalen släcker branden eller att rökluckorna fungerar. Även om problemen skiljer sig åt är tillvägagångssättet det samma.

Ett exempel som har större likheter med riskanalyser i industrier kommer från Kaplan & Garrick (1979). Exemplet handlar om hur sannolikheten för en läcka av radioaktivt material vid transport av utbränt kärnbränsle kan uppdateras med hjälp av information från genomförda transporter. Eftersom sannolikheten för att radioaktivt material skall läcka ut vid en transport är ytterst osäker startar man med att skatta en fördelning som beskriver osäkerheten rörande sannolikheten för läcka vid transport. Denna subjektiva skattning finns illustrerad i Figur 4, där det framgår att intervallet inom vilket frekvensen bedöms vara är mycket stort, från 10^{-3} till 10^{-8} gånger per transport.



Figur 4 Subjektiv skattning av fördelningen för olyckssannolikheten (apriori-fördelning).

Statistiken som sedan används för att uppdatera den subjektivt skattade apriori-fördelningen består av cirka 4.000 transporter där inget utsläpp inträffat. Vissa personer hävdar att denna mängd genomförda transporter är alldeles för liten för att kunna bidra med någon information

i detta fall då frekvensen kunde vara så liten som 1 olycka på 100.000.000 transporter. Detta är dock helt fel, vilket också visar sig vid uppdateringen av apriori-fördelningen.

Generellt kan Bayes sats, för diskreta apriori-fördelningar, skrivas som Ekvation 8, där $P''(x_i|\varepsilon)$ är posteriori-sannolikheten att x_i är det rätta värdet för den osäkra parametern, givet att informationen, eller statistiken, ε erhållits. Detta är precis samma sak som diskuterades i exemplet med korvmannen; där var x inte en parameter som kunde anta olika värden utan kunde endast vara "Regnigt väder", "Mulet väder" eller "Vackert väder". Informationen (ε) som erhöles i detta fall var att det på matchdagen rådde ett högttryck. I exemplet med transporten av kärnbränsle motsvarar x_i olyckssannolikheten, och $P''(x_i|\varepsilon)$ uttrycker alltså sannolikheten att olyckssannolikheten är x_i , givet att statistiken med 4.000 transporter utan olycka är känd.

$P'(x_i)$ är apriori-sannolikheten att värdet x_i är det korrekta parametervärdet. I exemplet med korvmannen var detta sannolikheten att vädret skulle vara regnigt, mulet eller vackert *innan* mannen kände till om det skulle bli högttryck eller lågttryck den aktuella dagen. I exemplet med transporten av kärnbränsle är detta experternas subjektiva skattning att olycks-sannolikheten skall vara ett visst värde *innan* det är känt att 4.000 transporter har skett utan att någon olycka inträffat (Figur 4).

$P(\varepsilon|x_i)$ kallas för likelihood-funktionen och beskriver sannolikheten att statistiken eller informationen ε har observerats, *givet* att det sanna parametervärdet är x_i . I exemplet med korvgubben var detta sannolikheten för högttryck *givet* ett visst väderförhållande (regnigt, mulet eller vackert). I exemplet med transporten av kärnbränsle är detta sannolikheten att 4.000 transporter klarat sig utan olyckor *givet* att olyckssannolikheten är ett visst värde.

Ekvation 8

$$P''(x_i|\varepsilon) = \frac{P'(x_i)P(\varepsilon|x_i)}{\sum_{i=1}^n P'(x_i)P(\varepsilon|x_i)} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Nu har de olika ingående delarna i Bayes sats identifierats för exemplet med transport av kärnbränsle; det enda som återstår är alltså att beräkna resultatet. Resultatet i detta fallet är posteriori-sannolikheterna $P''(x_i|\varepsilon)$ och för att beräkna den resulterande fördelningen införs följande beteckningar:

B = Statistiken med 4.000 olycksfria transporter.

A_1 = Olyckssannolikheten är 10^{-3} per transport.

A_2 = Olyckssannolikheten är 10^{-4} per transport.

A_3 = Olyckssannolikheten är 10^{-5} per transport.

A_4 = Olyckssannolikheten är 10^{-6} per transport.

A_5 = Olyckssannolikheten är 10^{-7} per transport.

A_6 = Olyckssannolikheten är 10^{-8} per transport.

Detta innebär att posteriori-sannolikheterna kan betecknas $P''(A_i|B)$, likelihood-funktionen kan betecknas $P(B|A_i)$ och apriori-fördelningen kan betecknas $P'(A_i)$ då $i = 1, 2, \dots, 6$. Apriori-fördelningen $P'(A_i)$ är känd sedan tidigare (se Figur 4), och $P''(A_i|B)$ erhålls via Bayes sats

(Ekvation 8). $P(B|A_i)$ är alltså det enda som behöver beräknas för att erhålla alla, i Bayes sats, ingående parametrar.

$P(B|A_i)$ skall tolkas som "sannolikheten att 4.000 olycksfria transporter genomförts givet att olyckssannolikheten var 10^{-3} per transport". Denna sannolikhet kan beräknas, för alla i , på följande sätt:

$$P(B|A_1) = (1-10^{-3})^{4000} = 0,01828$$

$$P(B|A_2) = (1-10^{-4})^{4000} = 0,67031$$

$$P(B|A_3) = (1-10^{-5})^{4000} = 0,96079$$

$$P(B|A_4) = (1-10^{-6})^{4000} = 0,99601$$

$$P(B|A_5) = (1-10^{-7})^{4000} = 0,99960$$

$$P(B|A_6) = (1-10^{-8})^{4000} = 0,99996$$

Det går nu att beräkna nämnaren i Bayes sats (Ekvation 9).

Ekvation 9

$$\sum_{i=1}^6 P(A_i) \cdot P(B|A_i) = 0,907$$

Nämnaren är sannolikheten att 4.000 transporter kan genomföras utan olyckor, givet att olyckssannolikheten är fördelad enligt apriori-fördelningen (Figur 4). I och med denna beräkning kan posteriori-sannolikheten för alla A beräknas:

$$P(A_1/B) = \frac{0,01 \cdot 0,01828}{0,907} = 0,0002$$

$$P(A_2/B) = \frac{0,2 \cdot 0,67031}{0,907} = 0,1478$$

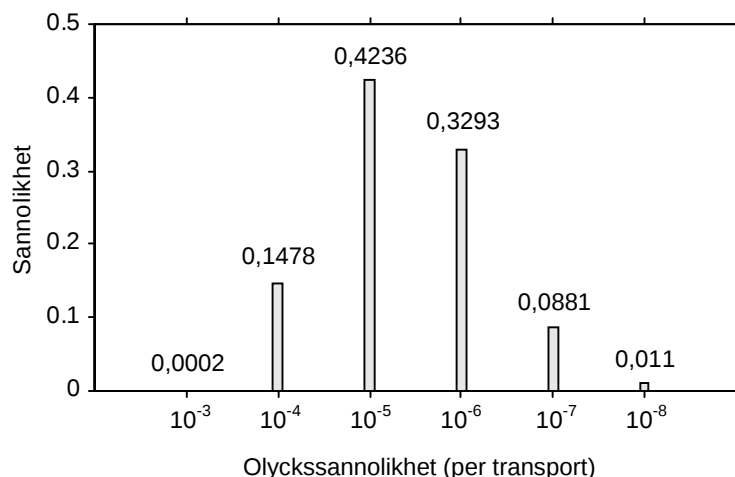
$$P(A_3/B) = \frac{0,4 \cdot 0,96079}{0,907} = 0,4236$$

$$P(A_4/B) = \frac{0,3 \cdot 0,99601}{0,907} = 0,3293$$

$$P(A_5/B) = \frac{0,08 \cdot 0,9996}{0,907} = 0,0881$$

$$P(A_6/B) = \frac{0,01 \cdot 0,99996}{0,907} = 0,0110$$

Dessa beräkningar ger posteriori-fördelningen, d.v.s. den resulterande fördelningen efter att den subjektivt skattade apriori-fördelningen förbättrats med hjälp av statistiken som visade på 4.000 olycksfria transporter. Fördelningen redovisas i Figur 5.

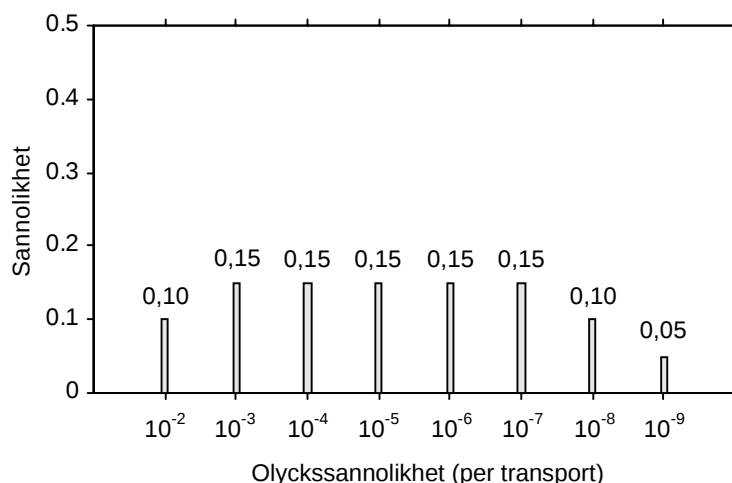


Figur 5 Posteriori-fördelningen för olyckssannolikheten.

Det som framgår av resultatet i Figur 5 är att höga olyckssannolikheter (10^{-3} per transport) är mycket osannolika, d.v.s. i praktiken är sannolikheten för en så hög olyckssannolikhet så låg att den kan bortses ifrån. I princip kan alltså olyckssannolikheter över 10^{-4} per transport uteslutas ur en riskanalys bara genom användning av ett förhållandevis magert statistiskt material i kombination med Bayes sats.

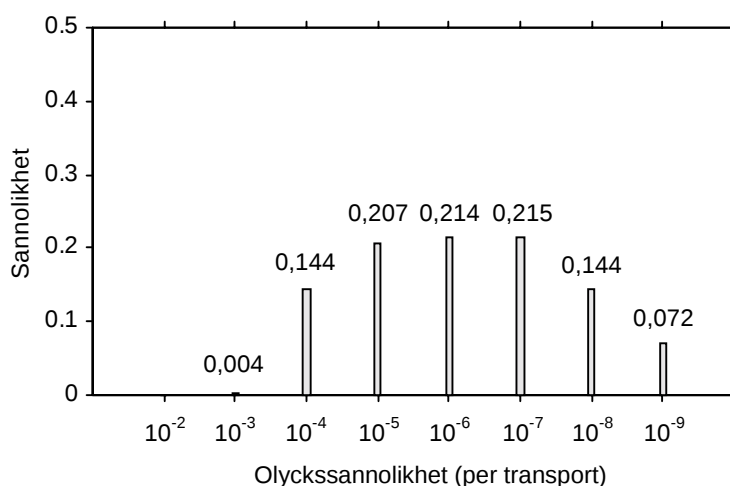
Apriori-fördelningen skattades subjektivt, vilket naturligtvis kan innebära att det finns personer som inte håller med om skattningen. Därför är det inte orimligt att ställa sig frågan hur en ändring av apriori-fördelningen påverkar slutresultatet.

Om man ändrar den subjektivt skattade apriori-fördelningen från att ha sett ut som i Figur 4 till att se ut som i Figur 6 ser posteriori-fördelningen ut som Figur 7.



Figur 6 Apriorifördelning för olyckssannolikheten.

Om man jämför Figur 7 med Figur 5 ser man att för de höga olyckssannolikheterna resultatet är ungefär detsamma, d.v.s. olyckssannolikheter högre än 10^{-4} per transport kan i praktiken bortses ifrån. Sannolikheten att olyckssannolikheten är 10^{-2} är mindre än 10^{-18} , varför denna siffra inte anges i Figur 7.



Figur 7 Posterior-fördelning för olyckssannolikheten.

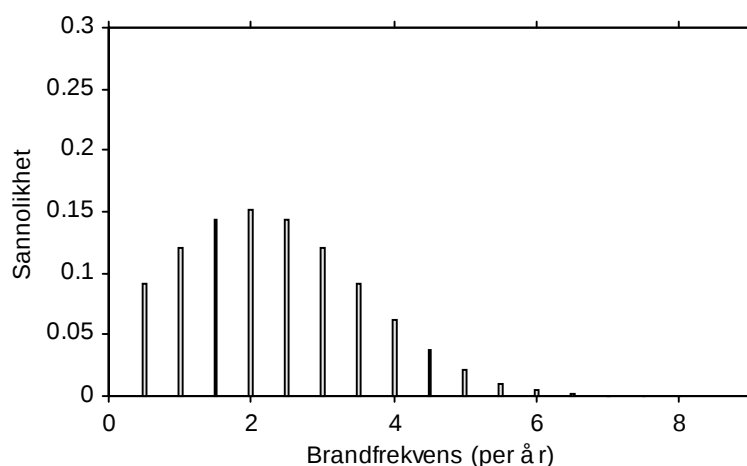
Resultatet ovan visar på en mycket värdefull egenskap hos den bayesianska uppdateringen; oavsett vilken apriori-fördelning som används kommer posteriori-fördelningen vara ungefär lika om bara mängden statistik information är tillräckligt stor. I fallet ovan var mängden statistisk information tillräcklig för att, oavsett apriori-fördelning, i princip utesluta olyckssannolikheter över 10^{-4} per transport, men inte tillräcklig för att ge liknande fördelningar för olyckssannolikheten under 10^{-4} per transport.

Varför är den bayesianska uppdateringen användbar för riskanalyser i industrier? Anledningen till detta är att den statistiska information som man kan få från en enskild industri i många fall inte är tillräcklig för att erhålla acceptabla skattningar av parametrar. I stället tvingas man använda information från andra industrier i kombination med subjektiva expertbedömningar. Den bayesianska uppdateringen gör att dessa expertbedömningar kan vägas samman med objektiv statistik från den enskilda byggnaden och på så sätt skapa en bättre skattning som i högre utsträckning representerar de förhållanden som råder i den specifika industrin.

Bayes sats är mycket värdefull vid riskhantering inom ett företag eftersom satsen ger företaget möjlighet att kontinuerligt mäta och förbättra sina skattningar av riskerna. Denna uppdatering kräver en mycket liten arbetsinsats eftersom processen med fördel kan skötas i ett beräkningsprogram som används om och om igen.

Ett exempel på när den bayesianska uppdateringen kan användas inom ett företag är då man vill studera brandfrekvensen, d.v.s. hur ofta en brand börjar i en specifik industri. Ett exempel på en sådan uppdatering kan gå till enligt följande:

En expert som skall skatta brandfrekvensen i en industri börjar med att ange en apriori-fördelning för brandfrekvensen. Apriori-fördelningen visar expertens bedömning av vilka brandfrekvenser som han/hon anser troliga. Denna bedömning åstadkommer han/hon genom att använda information från statistik i liknande byggnader, men också genom att göra en besiktning av den aktuella byggnaden. Apriori-fördelningen illustreras i Figur 8, där det framgår att experten bedömer att den troligaste brandfrekvensen i byggnaden är 2 bränder per år.



Figur 8 Apriori-fördelning för brandfrekvensen i en industri.

Genom att använda statistik som visar hur många gånger det har brunnit de senaste tre åren kan den ursprungliga apriori-fördelningen förbättras så att den blir mer representativ för den aktuella byggnaden. Statistiken ger information om att det under de tre senaste åren uppstått tio bränder i byggnaden.

För att genomföra uppdateringen av apriori-fördelningen behövs likelihood-funktionen ($P(\varepsilon/x_i)$ i Ekvation 8). I detta fall, då man är intresserad av att uppdatera en brandfrekvens med hjälp av antalet bränder under en tidsperiod, är likelihood-funktionen en Poisson-fördelning. Anledningen till detta är att sambandet mellan antalet bränder per tidsperiod och brandfrekvensen kan beskrivas av en Poisson-fördelning. Poisson-fördelningen ger sannolikheten att ett visst antal bränder uppstår under en tidsperiod, givet att brandfrekvensen är ett specifikt värde. Uttrycket för Poisson-fördelningen kan ses i Ekvation 10 där $p_X(k)$ är sannolikheten att k bränder inträffar under tidsperioden t (år) där brandfrekvensen är λ (bränder per år). Genom att använda Poisson-fördelningen kan man alltså få reda på sannolikheten att tio bränder inträffade under en period av tre år, givet en viss brandfrekvens.

Ekvation 10

$$p(k) = e^{-(\lambda t)} (\lambda t)^k / k! \quad (k = 0, 1, \dots)$$

Att använda Poisson-fördelningen innebär att man antar att bränder uppträder slumpmässigt och oberoende av varandra med en viss intensitet (λ).

Genom att använda Bayes sats (Ekvation 8) kan posteriori-sannolikheterna för alla brandfrekvenser beräknas. Som exempel visas endast beräkningen av posteriori-sannolikheten för brandfrekvensen två bränder per år, men metodiken är densamma för alla de andra brandfrekvenserna.

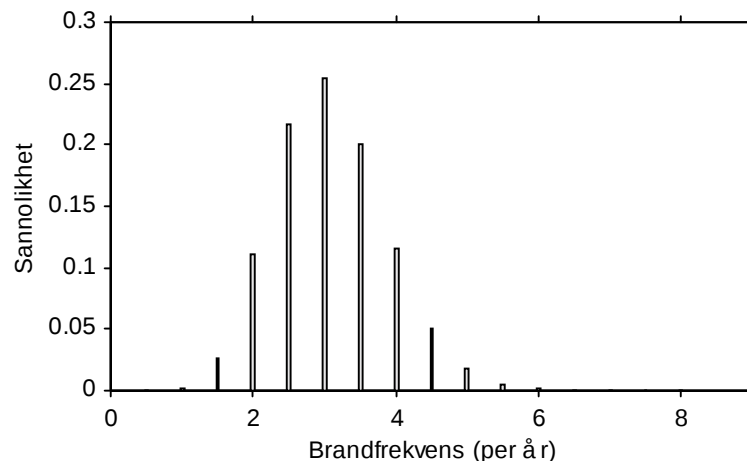
Apriori-sannolikheten att brandfrekvensen är två bränder per år är 0,15, d.v.s. $P(\lambda=2) = 0,15$. Sannolikheten att tio bränder uppstår på tre år givet att brandfrekvensen är 2 bränder per år är enligt Poisson-fördelningen i Ekvation 10 0,04, d.v.s. (om ε symboliserar statistiken med informationen att tio bränder uppstått under tre år) $P(\varepsilon|\lambda=2) = 0,041$. Nämnaren i Bayes sats

(Ekvation 8) blir 0,057, vilket innebär att posteriori-sannolikheten att brandfrekvensen är 2 bränder per år är 0,11 (Ekvation 11).

Ekvation 11

$$P''(\lambda = 2|\varepsilon) = \frac{0,15 \cdot 0,041}{0,057} \approx 0,11$$

Då denna beräkning genomförs för alla brandfrekvenser i apriori-fördelningen erhålls posteriori-fördelningen som visas i Figur 9. I figuren framgår att låga brandfrekvenser (<1 brand per år) kan betraktas som mycket osannolika.



Figur 9 Posteriori-fördelning för brandfrekvensen i en industri.

Det har tidigare påpekats att den bayesianska uppdateringen lämpar sig för förbättring av exempelvis brandfrekvensen under en period av år. Anledningen till detta är att den resulterande posteriori-fördelningen från ett år används som apriori-fördelning under kommande år. Nedan följer ett exempel på hur detta kan gå till.

Som utgångspunkt (apriori-fördelning) används fördelningen vid år 0 (se Figur 10). Fördelningen är likformig, d.v.s. alla angivna värden är lika sannolika. Detta innebär att personen som gjort skattningen av fördelningen troligtvis inte haft någon information alls angående brandfrekvensen i anläggningen (inget värde har bedömts som troligare än något annat). I de fall som apriori-fördelningen väljs som likformig beror brandfrekvensens fördelning efter användandet av Bayes sats till stor del på informationen i mätningarna. Det omvända gäller om informationen i apriori-fördelningen är väldigt säker, d.v.s. sannolikheten för ett specifikt värde är mycket stor. I det fallet får inte mätningarna speciellt stor inverkan på slutresultatet. I de riskanalyser som utförs av brandskydd på industrier torde det vara en fördel att inte ange alltför precisa apriori-skattningar av brandfrekvensen eftersom denna parameter inte är speciellt noga undersökt.

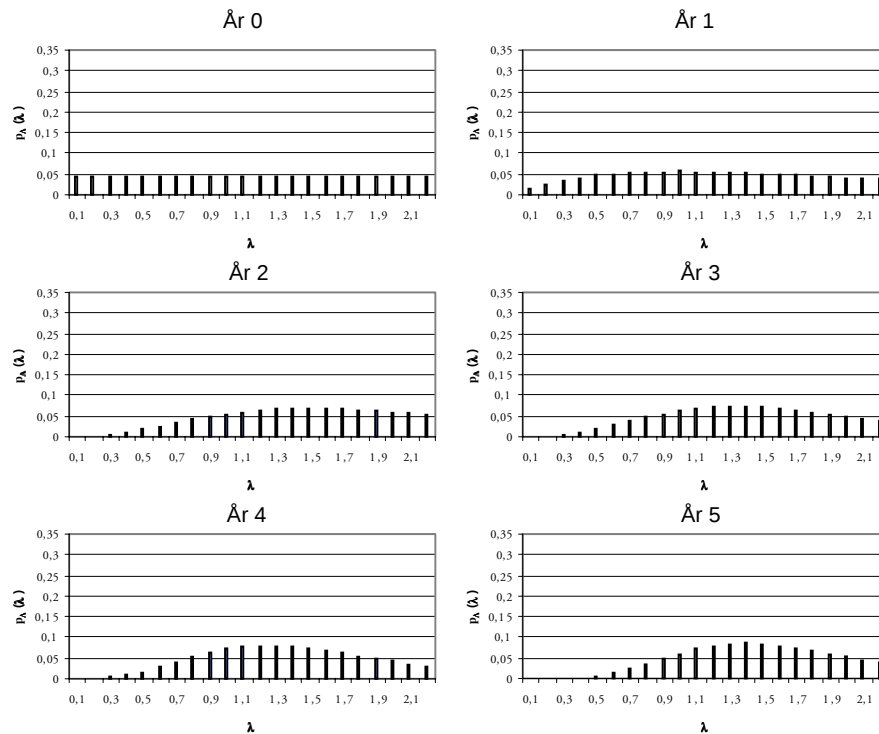
I exemplet (Figur 10) kan man se hur *fördelningen* för brandfrekvensen förbättras, men ibland är man inte intresserad av att beskriva brandfrekvensen (eller någon annan parameter) med hjälp av en fördelning, utan man vill använda ett enda värde. I dessa fall kan man använda den så kallade *bayesianska skattningen* av till exempel brandfrekvensen. Medelvärde av posteriorifördelningen för den aktuella parametern används ofta som bayesiansk skattning (se

till exempel Ang and Tang, 1975). I exemplet med den årliga uppdateringen av brandfrekvensen skulle den bayesianska skattningen av brandfrekvensen bli lika med raden som bedämns "Skattning av brandfrekvensen" i Tabell 1 eftersom dessa värden är medelvärdena av sannolikhetsfördelningarna i Figur 10. Till att börja med är skattningen 1,15 bränder per år, men allt eftersom statistik över antalet bränder samlats in förbättras skattningen. Antalet bränder under femårsperioden har antagits vara 1,2,1,1 respektive 2 (se även Tabell 1).

Tabell 1 Redovisning av den bayesianska skattningen av brandfrekvensen efter ett visst antal år och bränder. Den ursprungliga skattningen är 1,15 bränder per år (år 0).

År	0	1	2	3	4	5
Antal bränder		1	2	1	1	2
Skattning av brandfrekvensen	1,15	1,19	1,42	1,38	1,35	1,45

Att fördelningen för brandfrekvensen tenderar att koncentreras i den högra delen av intervallet som visas kan förklaras med hjälp av tillbudsstatistiken. Om det uppstår sju bränder på fem år är det ytterst osannolikt att brandfrekvensen i anläggningen är låg, till exempel 0,1 bränder per år, vilket också avspeglas i fördelningens utseende. Figuren visar också hur osäkerheten angående brandfrekvensen i byggnaden minskar ju längre tid som går. Detta är dock inte den enda fördelen med att använda Bayes sats, utan den klarar också av förändringar i byggnaden. Detta innebär att om brandfrekvensen skulle ändras på grund av någonting kommer den bayesianska skattningen att konvergera mot den nya brandfrekvensen. Detta är en önskvärd egenskap i en miljö som kontinuerligt förändras och utvecklas, eftersom det ger en möjlighet att förhållandevis snabbt reagera på förändringar som tar sig uttryck i en förhöjd risknivå. Förändringen i risknivå kan då förhoppningsvis uppmärksammas innan någon stor olycka inträffat.



Figur 10 Förbättring av brandfrekvensen i en anläggning.

2.2.2. Kontinuerlig apriori-fördelning

Det är inte nödvändigt att välja apriori-fördelningen som en diskret fördelning, utan den kan också väljas som en kontinuerlig. En kontinuerlig stokastisk variabel är inte begränsad till vissa bestämda värden som den diskreta utan kan anta vilka värden som helst i ett intervall. Som tidigare har påpekats (se avsnitt 2.1) beskrivs den kontinuerliga stokastiska variabeln av en frekvensfunktion $f_X(x)$ eller en fördelningsfunktion $F_X(x)$.

Beroende på vilken fördelning som väljs kan det matematiska arbetet med att beräkna posteriori-fördelningen bli betungande, men om fördelningar som utgör konjugerade fördelningar väljs kan stora förenklingar i det matematiska arbetet erhållas. I detta avsnitt kommer endast fyra konjugerade fördelningar att behandlas, Binomial-fördelningen och Beta-fördelningen samt Poisson-fördelningen och Gamma-fördelningen.

Att fördelningarna är konjugerade innebär att apriori-fördelning och posteriori-fördelning är av samma typ, till exempel en Gamma-fördelning. Dessutom är parametrarna i posteriori-fördelningen mycket lätta att beräkna (för de fördelningar som nämnts ovan).

Tabell 2 Beskrivning av konjugerade fördelningar.

Primär stokastisk variabel	Parameter	Apriori- och posteriori-fördelning för parametern	Posteriori-parametrar	Parametermedelvärde
Binomial $p_X(x) = \binom{n}{x} \theta^x (1-\theta)^{n-x}$	θ	Beta $f_{\Theta}(\theta) = \frac{\Gamma(q+r)}{\Gamma(q)\Gamma(r)} \theta^{q-1} (1-\theta)^{r-1}$	$q'' = q' + x$ $r'' = r' + n - x$	$E(\Theta) = \frac{q}{q+r}$
Poisson $p_X(x) = \frac{(\Lambda t)^x}{x!} e^{-\Lambda t}$	λ	Gamma $f_{\Lambda}(\lambda) = \frac{v(v\lambda)^{k-1} e^{-v\lambda}}{\Gamma(k)}$	$v'' = v' + t$ $k'' = k' + x$	$E(\Lambda) = \frac{k}{v}$

I Tabell 2 beskrivs de fördelningar som kan användas vid de tillämpningar som diskuteras i denna rapport. Den första kolumnen, "Primär stokastisk variabel", innehåller den fördelning som beskriver det stokastiska fenomen som är av intresse. Detta kan till exempel vara antalet bränder under ett år, vilket kan beskrivas med en Poisson-fördelning, eller antalet bränder som personalen släcker, vilket betraktas som Binomial-fördelat.

Till höger om den första kolumnen står den parameter som skall skattas. Detta kan till exempel vara brandfrekvensen i en byggnad eller sannolikheten att personalen släcker en brand.

Den tredje kolumnen, "Apriori och posteriorifördelning för parametern", innehåller de fördelningar som används för att beskriva parametern som redovisats i kolumnen innan. Detta betyder att både apriori- och posteriori-fördelningen för till exempel brandfrekvensen är Gamma-fördelningar, medan de för sannolikheten att personalen släcker branden är Beta-fördelningar.

I den fjärde kolumnen, "Posteriori parametrar", beskrivs hur posteriori-fördelningens parametrar beräknas beroende på om apriori-fördelningen var en Gamma- eller Beta-fördelning. Denna kolumn är mycket intressant eftersom den visar enkelheten vid beräkning av posteriori-fördelningen då konjugerade fördelningar används. I fallet då Poisson-fördelningen representerar antalet bränder under ett år är x antalet bränder som uppstått och t antalet år som mätningen pågått. Då antalet bränder där en viss händelse inträffat (till exempel personalen släckte branden) beskrivs med en Binomial-fördelning är n det totala antalet bränder där händelsen skulle ha kunnat inträffa och x det antalet bränder där händelsen inträffade.

I den sista kolumnen i Tabell 2, "Parametermedelvärde", visas medelvärdet av posteriori-fördelningarna, vilket är samma sak som den bayesianska skattningen av parametern. Det bör påpekas att det finns andra bayesianska skattningar, se till exempel Ang och Tang (1975), men den som används i denna rapport är alltså medelvärdet av posteriori-fördelningen.

För att visa hur enkelt en uppdatering av konjugerade fördelningar kan vara används ett exempel:

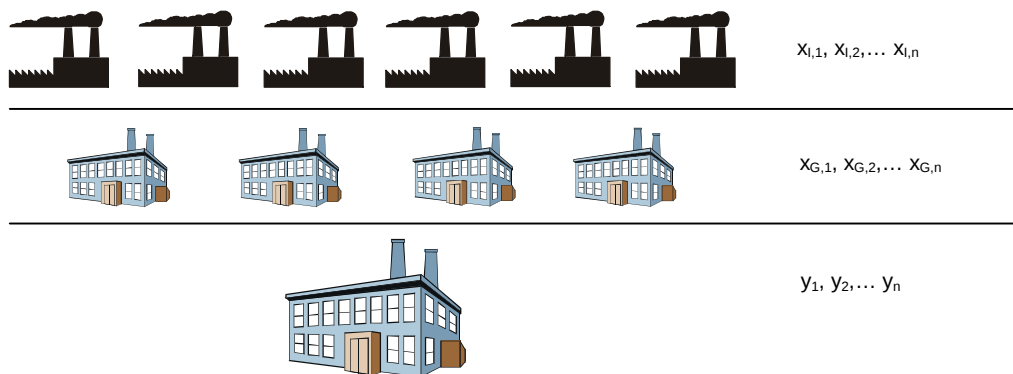
I en industribyggnad har brandfrekvensen skattats till 0,5 bränder per år och osäkerheten i denna skattning representeras av en Gamma-fördelning med parametrarna $k=1$ och $v=2$ (medelvärdet är då lika med $E(\Lambda) = k/v = 0,5$). Nu skall denna skattning uppdateras med

hjälp av information angående antalet bränder under tre år. På dessa två år har 1 brand uppstått och alltså blir den bayesianska skattningen av brandfrekvensen 0,4 bränder per år $((1+1)/(2+3))$.

2.2.3. Användning av bayesiansk uppdatering i riskanalyser

Bayes sats ger möjlighet att väga samman information från olika källor; den sammanvägda informationen kan sedan användas i till exempel en riskanalys. Det finns en stor mängd information som kan användas, men grovt sett kan man dela in informationen i tre grupper. Information från hela industrisektorn (eller andra byggnader), från industrigruppen som den aktuella anläggningen tillhör och från den aktuella anläggningen.

Den mest generella typ av information som används i denna rapport är hämtad från alla typer av industrigrupper, d.v.s. hela industrisektorn. Information kan i detta fall till exempel röra sannolikheten att sprinklersystemet i en byggnad släcker en brand. Denna typ av information är av mycket generell karaktär, men detta kan ibland vara nödvändigt för att man skall kunna erhålla volym i mätningarna. Information av denna typ betecknas med X_I där I står för industri, se Figur 11 nedan.



Figur 11 Beskrivning av den information som används vid skattning av en parameter (X) i en specifik industribyggnad.

Nästa nivå av information rör den grupp av industrier som den aktuella anläggningen bedöms tillhöra. På denna nivå finns inte lika mycket information som när alla industrigrupper studerades, men den information som finns är mer relevant för det aktuella objektet. Information från denna nivå betecknas X_G , där G står för en industrigrupp.

Den mest relevanta informationen som kan fås kommer från det aktuella objektet. Mängden av denna informationstyp är dock så begränsad att den inte räcker till för att man skall kunna utföra skattningar av parametrar med acceptabel precision, men däremot kan denna information användas för att justera informationen som erhållits från de två övriga nivåerna. Den parameter som är av intresse, (X), går normalt inte att mäta direkt i anläggningen utan måste skattas genom mätning av variabler som påverkas av den. Till exempel kan brandfrekvensen i en specifik anläggning vara av intresse. I så fall mäts antalet bränder under en tidsperiod, och dessa kan sedan användas vid skattning av brandfrekvensen. Detta är anledningen till att mätningar från det aktuella objektet betecknas y och inte x (se Figur 11).

Tillvägagångssättet då en parameter i en specifik anläggning skall skattas är alltså att först utnyttja generell statistik från hela industrisektorn samt den specifika industrigrupp som anläggningen tillhör. Denna information används tillsammans med expertbedömningar för att

skapa en så kallad *apriori-fördelning* för den aktuella parametern. En apriori-fördelning är en fördelning som representerar osäkerheten rörande en viss parameter *innan* mätningar utförts i, eller ny statistik erhållits från, det aktuella objektet. Denna apriori-fördelning kan sedan uppdateras med hjälp av den nya statistik som erhålls från det aktuella objektet. Hur denna uppdatering går till har beskrivits i de föregående två avsnitten.

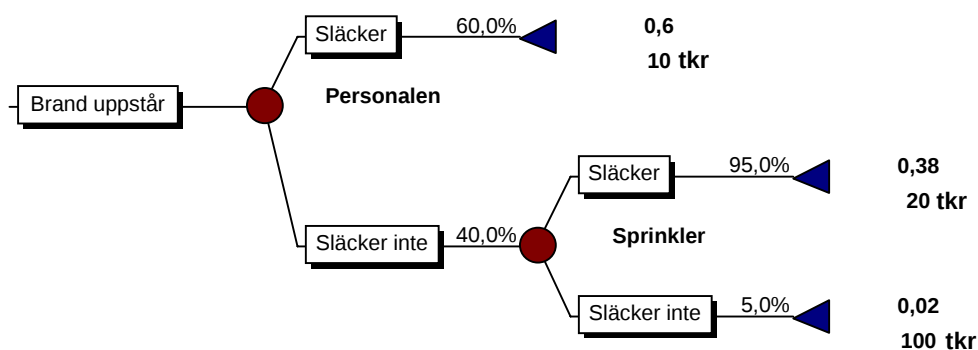
2.3. Monte Carlo-simulering

I den metod som använts för att modellera effekten av en brand ingår händelseträd som en väsentlig del. Händelseträdet består av ett antal noder som beskriver osäkerheten angående brandens utveckling. Osäkerheten kan till exempel vara huruvida sprinklersystemet i en byggnad fungerar eller ej. Exempel på händelseträd finns i bilagorna 4 och 5. Vid varje nod finns vanligtvis två möjliga utfall förknippade med varsin sannolikhet (summan av de två sannolikheterna uppgår till 1).

Förutom osäkerheten vad gäller utfallen vid noden finns också en kunskapsosäkerhet förknippad med sannolikheterna för utfallen, d.v.s. man är inte säker på vilket värde sannolikheten skall ha. Dessa sannolikheter kan representeras av en fördelning som beskriver vilka värden som är troligast, till exempel en posteriori-fördelning om sannolikheten har blivit förbättrad genom den bayesianska uppdateringstekniken. Detta innebär att modellen för vad som händer då det brinner består av ett händelseträd i vilket många av sannolikheterna är osäkra och representeras av sannolikhetsfördelningar. Resultatet, d.v.s. den förväntade skadekostnaden, kommer på grund av detta också att vara en sannolikhetsfördelning. Att beräkna denna resulterande fördelning kan vara mycket svårt vid stora problem, varför det är vanligt att problemet löses numeriskt med hjälp av Monte Carlo-simulering.

Monte Carlo-simulering innebär att analysen av problemet utförs ett stort antal gånger, och för varje gång tilldelas de osäkra parametrarna, till exempel sannolikheterna, värden på ett slumpmässigt vis i enlighet med de sannolikhetsfördelningar som representerar parametrarna.

En förenklad version av de händelseträd som tidigare använts vid denna typ av analyser visas i Figur 12. I figuren ses att om en brand uppstår har det bedömts att sannolikheten är 60% att personalen släcker branden, och om de inte gör det har 95% bedömts som funktions-sannolikheten för sprinklersystemet. I denna enkla modell finns stokastisk osäkerhet representerad i form av de sannolikhetsnoder som ingår i trädet. Vanligtvis råder osäkerhet angående dessa sannolikhetsvärden men också beträffande konsekvenserna. I detta fall kan de monetära konsekvenserna ses till höger om de tre delscenarierna. Branden bedöms alltså kosta antingen 10 tkr, 20 tkr eller 100 tkr beroende på vilket delscenario som inträffar.

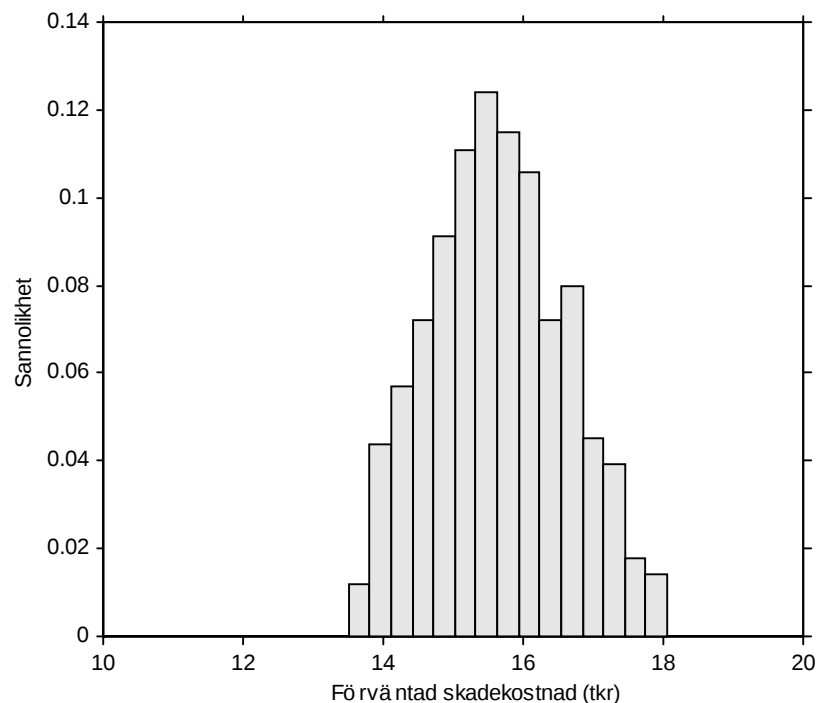


Figur 12 Enkel modell över möjliga delscenarier vid en brand.

Om de grensannolikheter som visas i Figur 12 betraktas som fasta (d.v.s. ingen osäkerhet råder angående vilket värde de skall anta) är den förväntade skadekostnaden vid en brand 15,6 tkr. Detta resultat erhåller man genom att summera sannolikheten multiplicerat med konsekvensen för samtliga möjliga utfall av branden.

Denna typ av beräkning genomfördes i Johansson (1999b och 1999c) för att beräkna den förväntade skadekostnaden i två byggnader tillhörande ABB och Avesta Sheffield. Dessa analyser tog alltså inte hänsyn till att det finns osäkerheter förknippade med både grensannolikheterna och konsekvenserna. Om hänsyn till dessa skall tas genom beräkning av osäkerheternas inverkan på den förväntade skadekostnaden blir en analytisk lösning mycket besvärlig. Detta beror på att de händelseträden som används är mycket stora och svåra att hantera analytiskt.

I stället för att beräkna den förväntade skadekostnaden analytiskt kan numeriska metoder användas för att ge en approximation av fördelningen för den förväntade skadekostnaden. Den vanligaste numeriska metoden för att göra detta kallas Monte Carlo-simulering och innebär att beräkningen av skadekostnaden utförs ett stort antal gånger. För varje gång antas de osäkra parametrarna på ett slumpmässigt sätt i enlighet med de fördelningar som valts. Resultatet blir ett stort antal beräkningar av den förväntade skadekostnaden, vilka brukar presenteras som ett histogram. Ett exempel på detta kan ses i Figur 13, där problemet som visades i Figur 12 har analyserats med Monte Carlo-simulering. I exemplet har sannolikheten att personalen släcker branden antagits vara likformigt fördelad mellan 0,5 och 0,7. Sannolikheten att sprinklersystemet skall släcka branden har valts som likformigt fördelad mellan 0,92 och 0,98. Som visas i stolpdigrammet (Figur 13) innebär detta att även den förväntade skadekostnaden blir en fördelning som varierar mellan 13,5 tkr och 18 tkr.

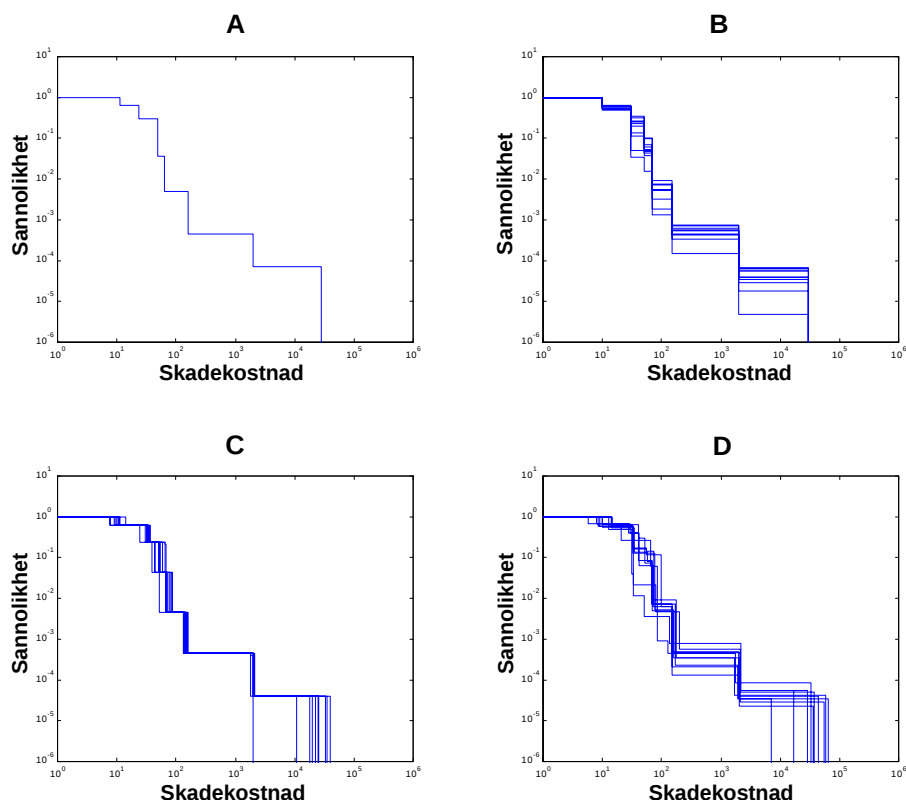


Figur 13 Histogram som visar den förväntade skadekostnaden vid en brand.

På samma sätt som osäkerheten vad gäller sannolikheterna för de olika händelserna i händelseträdet simulerades med Monte Carlo-simulering kan även konsekvenserna innefattas

i analysen. Detta betyder att även de monetära konsekvenserna (10, 20 och 100 tkr i Figur 12) betraktas som stokastiska variabler, vilket ger ytterligare variation i slutresultatet.

I tidigare analyser (Johansson, 1999b och 1999c) beskrivs den *stokastiska* variationen i slutresultatet med hjälp av en riskprofil. En riskprofil är en CCDF-fördelning (en kumulativ komplementär fördelningsfunktion) som beskriver skadekostnaden vid en brand, d.v.s. fördelningen svarar på frågan ”Vad är sannolikheten att skadekostnaden blir x eller mer vid en brand?” (se exempel i Figur 14A). Det är också möjligt att, i stället för *sannolikhet*, använda *frekvenser* som enhet på den vertikala axeln.



Figur 14 Exempel på riskprofil för skadekostnaden vid en brand.

Om en Monte Carlo-simulering av ett händelseträdproblem utförs med hänsyn tagen till osäkerheter i *värdet* av grens sannolikheterna kan riskprofilen till exempel se ut som i Figur 14B, d.v.s. profilen varierar vertikalt. Detta beror på att det är grens sannolikheterna som avgör storleken på trappstegen i riskprofilen. På samma sätt kan ett utseende liknande det som presenteras i Figur 14C erhållas om endast hänsyn till osäkerhet i konsekvenserna tas. Om båda dessa typer av osäkerheter skall behandlas kommer en mängd olika riskprofiler att erhållas som resultat, se Figur 14D.

Figur 14D ger uttryck dels för kunskapsosäkerhet, vilket är variationen mellan riskprofilerna, dels för stokastisk osäkerhet, vilket beskrivs av varje enskild riskprofil. Figuren skulle kunna förenklas genom att man endast ritade ut riskprofiler som visar inom vilket område 90% av samtliga riskprofiler är placerade. Detta kan vara bra då en expert skall meddela sina resultat till en beslutsfattare. Beslutsfattaren kan nämligen direkt se hur osäker experten är i sin analys, och han kan även se de stokastiska variationerna i slutresultatet. Detta sätt att utföra en

Monte Carlo-simulering, d.v.s. att skilja på stokastisk osäkerhet och kunskapsosäkerhet kallas för en *tvåfas* Monte Carlo-simulering.

2.4. Olika nivåer av osäkerhetshantering

Detta avsnitt avser belysa olika möjliga omfattningar för hanteringen av osäkerheter. Avsnittet bygger på idéer som presenterats av Paté-Cornell (1996).

Paté-Cornell delar in behandlingen av osäkerheter i sex nivåer, där nivå 0 är den enklaste och nivå 5 är den mest avancerade. Många av de klassiska riskanalysmetoderna (till exempel HAZOP, FMEA m.fl.) går att identifiera i någon av dessa sex nivåer. Det bör påpekas att alla beslut rörande risker inte nödvändigtvis blir bättre bara för att en osäkerhetshantering på hög nivå har använts, ofta räcker det med en analys på en av de lägre nivåerna. Det är dock inte alltid så lätt att veta när en analys på de lägre nivåerna räcker till för att hantera osäkerheten i komplexa problem. I vissa fall kan hanteringen av osäkerheterna på en för låg nivå till och med ge en felaktig bild av problemet, vilket kommer att visas i detta avsnitt.

Det finns andra fördelar med att utföra en högnivåbehandling av osäkerheterna än bara kvaliteten i resultatet. En omfattande analys av osäkerheterna i ett problem hjälper en beslutsfattare att strukturera och hitta nya infallsvinklar på problemet, vilket inte bara ökar förståelsen för osäkerheterna utan också för hela problemet.

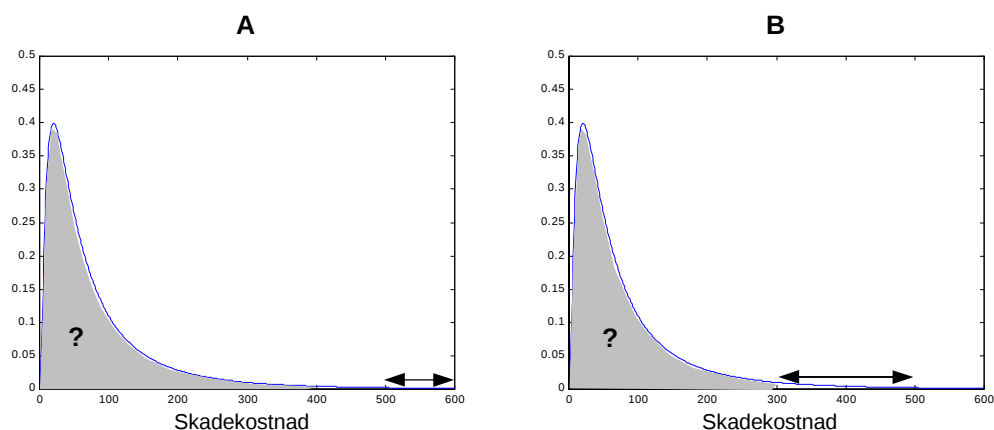
2.4.1. Nivå 0, riskkällor och felfunktioner

Nivå 0 innebär identifiering av möjliga riskkällor, eller möjliga sätt som ett system kan fela på. Exempel på denna typ av analys är Faliure Mode and Effect Analyses (FMEA), som bygger på felträd för identifiering av möjliga kombinationer av händelser som kan orsaka en olycka. Denna typ av analyser är användbara för att ge en första inblick i riskproblemet, d.v.s. identifieringen av vilka riskkällor som finns, och analysen kan användas som beslutsunderlag där en strikt noll risk-policy tillämpas.

En noll risk-policy är troligtvis inget realistiskt antagande när det gäller ett företag. Det kan dock vara så att en nivå 0-hantering av osäkerheterna är användbar så länge som de risk-reducerande åtgärderna är billiga att genomföra i förhållande till de möjliga konsekvenserna på grund av riskkällan.

2.4.2. Nivå 1, värsta tänkbara händelse

På nivå 1 hanteras fortfarande inga sannolikheter, utan riskbedömningen grundar sig på vad som är det värsta tänkbara skadescenariet i byggnaden. Detta skulle kunna jämföras med en EML-beräkning (Estimated Maximum Loss) för en anläggning, där den maximala skadan som kan uppkomma vid en och samma skadehändelse beräknas. Denna typ av bedömning kan visa sig vara svår, då det inte är självklart hur stora värden som verkligen kan förstöras vid en brand. Detta illustreras i Figur 15A där läget på den yttre delen av sannolikhetsfördelningen för skadekostnaden representeras med en dubbelriktad pil.



Figur 15 Sannolikhetsfördelning för skadekostnaden och skattning av den värsta tänkbara skadan (A), samt den sannolika värsta skadan (B).

2.4.3. Nivå 2, rimlig maximal skada

Nivå 2 av osäkerhetshantering innebär beräkning av konsekvenser för en så kallad rimligt maximal skada. Vad ordet rimlig innebär kan vara svårt att definiera, men denna typ av hantering kan vara aktuell då den maximala skadan (nivå 1) är så osannolik att den i praktiken saknar betydelse. Ett exempel på när nivå 2 hantering av osäkerheter används för att fatta beslut är då ett (eller flera) så kallade dimensionerande scenarier utvärderas med hänsyn till personsäkerhet. Detta innebär att konstruktören av byggnaden söker verifiera personers säkerhet genom att beräkna händelseutvecklingen vid ett rimligt allvarligt brandscenario. Det är viktigt att brandscenariet som utvärderas inte är alltför osannolikt eftersom detta troligtvis inte ger någon information om brandsäkerheten i den aktuella byggnaden. Det går alltid att finna scenarier som ger allvarliga konsekvenser. Det är i stället väsentligt att brandscenariet är ett av de allvarligare men inte osannolika scenarierna.

Då industrier utvärderas skulle denna nivå av osäkerhetshantering kunna motsvara beräkningen av konsekvensen för ett eller flera brandscenarier där skyddssystemen i byggnaden förutsätts fungera, eller där endast något system försätts ur funktion. Resultatet skulle bli en allvarlig brand men med begränsad utbredning, vilket skulle kunna presenteras som i Figur 15A där konsekvensen från beräkningen eller beräkningarna kommer att vara placerade någonstans i övre delen av fördelningen för skadekostnaden. Fördelningen för skadekostnaden som har ritats in i figuren är endast hypotetisk men avspeglar det som kan förväntas av en fördelning för skadekostnaden, d.v.s. stor sannolikhet för småskador men liten sannolikhet för storskador.

Det är viktigt att påpeka avsaknaden av kvantitativa sannolikhetsskattningar på denna nivå. Det förekommer alltså ingen kvantitativ bedömning av hur troliga dessa typer av brandscenarier är utan endast en redovisning av deras konsekvens. Denna brist kan ge felaktiga beslutsunderlag i vissa situationer (se diskussion i avsnitt 2.4.5).

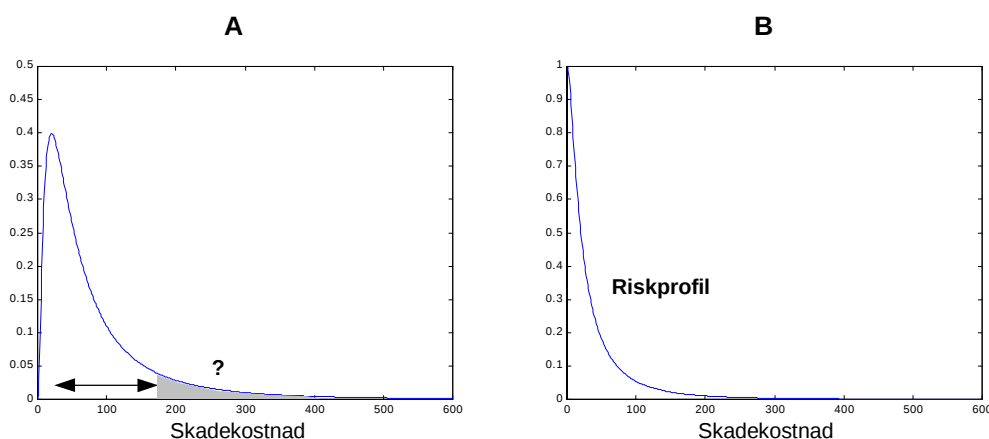
2.4.4. Nivå 3, centrala värden för sannolikheter och konsekvenser

På nivå 3 hanteras problemet genom att man försöker skatta de mest troliga värdena på parametrarna som ingår i modellen för problemet. I vårt fall skulle detta kunna innebära att den mest troliga händelseutvecklingen vid brand identifierades och skadekostnaden för detta scenariot användes som ett mått på risken. Detta tillvägagångssätt kan dock ge missvisande resultat vid brandtillämpningar eftersom den troligaste händelseutvecklingen givet att brand uppkommit torde vara att branden blir relativt begränsad och att inga större skador uppstår. Då kan det i stället vara klokt att försöka skatta medelvärdet i fördelningen för

skadekostnaden i byggnaden. Detta är dock svårt att göra för en enskild byggnad och kräver då vanligtvis en analys på högre nivåer för att man skall nå fram till en skattning av medelvärdet. Det skulle dock vara möjligt att med hjälp av en stor mängd statistik från skador i liknande anläggningar, som den som analyseras, göra en grov skattning av medelvärdet för skadekostnaden i den specifika byggnaden.

Denna nivå är inom brand- och personsäkerhet inte lika vanligt förekommande som nivå 2. En skattning av nivå 3 innebär att det skattade värdet i ca 50% av alla fall överskrids, och detta betraktas som en alltför stor del då problemet behandlar personsäkerhet. Däremot kan nivå 3-hantering av problem där det gäller att välja mellan olika alternativ vara aktuell, till exempel när valet står mellan två olika brandskyddsalternativ som båda är acceptabla. Tyvärr är det – som tidigare påpekats – svårt att skatta till exempel medelvärdet av en fördelning utan att använda metoder från nivå 4 och 5 (till exempel händelseträdsmetodik).

Oavsett vilken metod som används för att skatta centrala värden kommer resultatet att vara placerat någonstans i skadefördelningens mitt, men metoden kommer inte att ge någon kännedom om extremvärdena i fördelningen (se Figur 16A).



Figur 16 Skattning av centrala värden, samt exempel på riskprofil från nivå 4 behandling av osäkerheter. Riskprofilen fås som den komplementära fördelningsfunktionen för skadekostnaden.

2.4.5. Nivå 4, probabilistisk riskbedömning, en riskprofil

Vid användning av osäkerhetshantering på någon av nivåerna 1 till 3 baseras resultatet från analysen på ett enda värde (t.ex. skadekostnaden), medan den probabilistiska riskbedömningen på nivå 4 bygger på värdering av hur sannolika alla möjliga värden är.

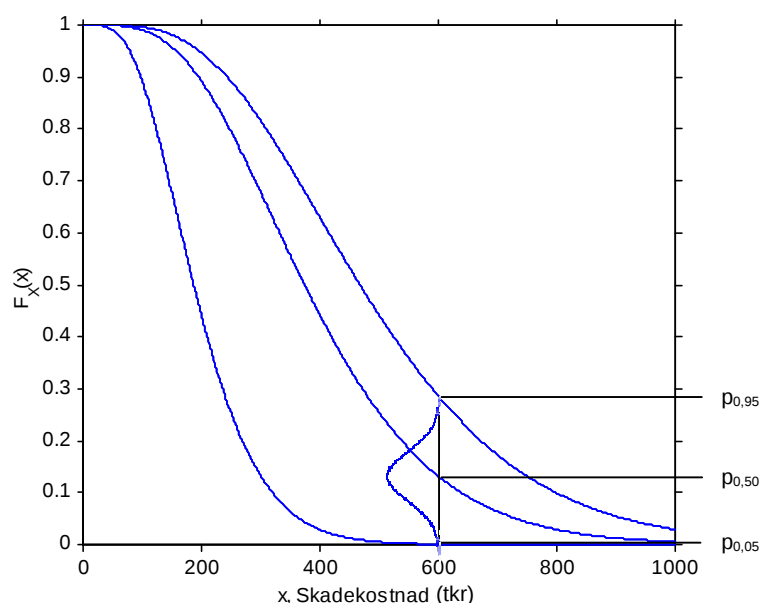
Nivå 4 innebär att en probabilistisk riskvärderingsmetod används för hantering av osäkerheterna. Hanteringen av osäkerheter på denna nivå brukar ske genom att man använder så kallad QRA-metodik (Quantitative Risk Analysis). Den metod som har använts i första fasen av detta projekt (Johansson 1999b och Johansson 1999c, samt Johansson och Rigberth 1999) är en QRA-metodik i sin enklaste form. Resultatet av en sådan analys blir en riskprofil ur vilken det förväntade värdet av den aktuella parametern kan beräknas (till exempel den förväntade skadekostnaden). Riskprofilen är ett annat namn för den kumulativa komplementära fördelningsfunktionen som beskriver skadekostnaden (se avsnitt 2.1). I Figur 16B illustreras ett exempel på en riskprofil. Denna riskprofil är den kumulativa komplementära fördelningsfunktionen för den frekvensfunktion som används som exempel i Figur 15 och Figur 16A.

Riskprofilen kan vara en kontinuerlig stokastisk variabel, som visas i Figur 16A, men den kan också vara diskret. Den diskreta riskprofilen är vanligare eftersom riskprofilen vanligtvis härrör från ett händelseträd där antalet möjliga utfall är begränsat, och det alltså är lämpligt att beskriva den med en diskret fördelning. Ett exempel på en diskret riskprofil illustreras i Figur 14A.

Det är viktigt att påpeka att en osäkerhetshantering på denna nivå innebär att alla sannolikheter och konsekvenser som ingår i modellen tilldelas exakta värden. Det finns alltså ingen möjlighet att ta hänsyn till eventuell osäkerhet vad gäller de exakta värdena hos sannolikheterna eller konsekvenserna.

2.4.6. Nivå 5, probabilistisk riskbedömning, flera riskprofiler

Behandling av osäkerheter på nivå 5 tillåter att kunskapsosäkerheter och stokastiska osäkerheter separeras, vilket gör att resultatet blir flera riskprofiler. Separeringen av osäkerheter kan till exempel ske genom tvåfas Monte Carlo-simulering, vilket beskrevs i avsnitt 2.3. För varje värde på parametern som är av intresse, till exempel skadekostnaden, kan en tänkt linje dras vinkelrätt mot den horisontella axeln. Denna linje kommer att skära de olika riskprofilerna på olika ställen, och om de positioner på den tänkta linjen där 5%, 50% respektive 95% av profilerna har skurit denna erhålls motsvarande percentiler för riskprofilernas fördelning vid det givna parametervärdet. Detta illustreras i Figur 17 där tre fiktiva percentiler markerats in. Dessutom visas en tänkt linje vid parametervärdet 600 tkr och en fiktiv fördelning för riskprofilerna vid detta värde.



Figur 17 Exempel på resultat från en osäkerhetsanalys utförd på nivå 5.

Med hjälp av all den information som genereras vid denna typ av analys kan en beslutsfattare få information om hur osäkra experterna som utfört analysen är angående sina antagnaden, men också hur denna osäkerhet förhåller sig till den osäkerhet som uppkommer på grund av stokastisk variation. Som illustreras i Figur 17 kan resultatet från denna typ av analys bli svårtolkat; om till exempel sannolikheten för att skadekostnaden överstiger 600 tkr är av intresse uttrycks detta som sannolikheten för en sannolikhet! Detta beror på att alla riskprofiler innebär en viss sannolikhet för att 600 tkr överskrids, men eftersom det råder

kunskapsosäkerhet rörande vilken av riskprofilerna som är den rätta uttrycks detta som en fördelning och alltså en sannolikhet för en viss riskprofil.

2.4.7. Att välja rätt nivå av osäkerhetshantering

Hur skall en person som får i uppdrag att utföra en analys av ett problem kunna välja den nivå som är rätt för just det aktuella problemet?

Denna fråga har definitivt inget lätt svar eftersom det ofta krävs en nivå 4- eller nivå 5-analys för att man över huvud taget skall kunna uttala sig om huruvida det hade räckt med en osäkerhetshantering på lägre nivå för att fatta beslut.

Det finns dock vissa situationer, av vilka några berörts tidigare, där en analys på låg nivå är fullt tillräcklig. Till att börja med innebär en så kallad noll risk-policy att endast nivå 0-analyser behöver utföras. Det enda som är viktigt är att man hittar riskkällorna för att sedan förebygga riskerna utan hänsyn till kostnader. Denna policy är troligtvis inte speciellt vanlig, men kan tänkas förekomma i anläggningar som betyder oerhört mycket för ett företag och där en brand skulle få så allvarliga konsekvenser att företagets överlevnad stod på spel. Ett annat tillfälle då en nivå 0-analys är tillräcklig är då åtgärderna för att förebygga vissa risker är förenade med låga kostnader. Detta kan till exempel vara inköp av en handbrandsläckare till något ställe i en fabrik där en brandrisk upptäckts.

De så kallade EML-skattningarna kan användas för att skatta den förväntade skadan i en byggnad vid en brand (se Ramachandran, 1979). Detta sätt att arbeta är dock generellt och förutsätter att det finns en stor kunskapsbank med information från bränder i en specifik industrigrupp inom vilken verksamheten och byggnadsutformningen bör vara likartad. Ett skäl till att den typen av analys är tillräcklig för försäkringsbolag kan vara att dessa har en stor portfölj med försäkringsobjekt, och följaktligen är de intresserade av den totala summan av skador i den egna portföljen. Variationen i denna summa är mycket mindre än i ett enskilt försäkringsobjekts skadekostnad (relativt sett). Detta innebär att om man har en ungefärlig kännedom om lämplig fördelning för skadekostnaden (till exempel Lognormal-fördelning) och dessutom har skattat de enskilda anläggningarnas medelvärden för skadekostnaden, kan en grov skattning av den totala skadekostnaden per år erhållas. Detta angreppssätt förutsätter dock en stor portfölj av objekt, och dessutom görs en hel del antaganden angående bland annat skadefördelningar och brandfrekvenser, vilket innebär att metoden är alltför generell för att kunna tillämpas på ett enskilt objekt. Vad som skall visas här är dock att en osäkerhetshantering på nivå 1 kan vara tillräckligt om grova uppskattningar av skadekostnaden från en portfölj av objekt är av intresse. Huruvida detta är praktiskt användbart eller inte kommer inte att undersökas närmare i denna rapport eftersom den är inriktad på risken i en *specifik* byggnad och inte en *portfölj*.

Osäkerhetshantering på nivå 2, d.v.s. skattningen av en rimligt maximal skada, är tillräcklig i byggärenden som involverar personsäkerhet. Bygglagstiftningen föreskriver visserligen att känslighetsanalyser skall utföras för beräkningarna, men dessa känslighetsanalyser speglar, i praktiken, endast den rimliga maximala skadans variation och inte den faktiska skadan. Detta innebär att osäkerheternas inverkan på samtliga möjliga skadefall inte studeras, utan endast deras inverkan på den rimliga maximala skadan.

Osäkerhetshantering på nivå 3 kan teoretiskt sett vara tillräckligt för beslut om optimalt brandskydd eller vid val mellan olika alternativ. I praktiken visar det sig dock att det inte går att nå fram till en meningsfull skattning av centrala värden utan att använda metoder från nivå

4, eller genom att utnyttja generell statistik. Att bara använda den generella statistiken för att dra slutsatser angående brandskyddet i en *specifik* industri innebär vanligtvis alltför stor osäkerhet för att kunna anses tillfredsställande. Däremot kan generell statistik användas för slutsatser inom *grupper* av industrier.

En analys utförd på nivå 4 ger en bra representation av osäkerheterna i en riskanalys och kan användas för att fatta beslut. Innan beslut fattas bör dock en känslighetsanalys av de parametrar som anses påverka slutresultatet mest utföras. Denna känslighetsanalys skall påvisa om det är möjligt att osäkerheter kan medföra att det mest optimala beslutet ändras. Om så inte är fallet är en analys på nivå 4 tillräcklig. Om däremot känslighetsanalysen indikerar att det optimala alternativet kan ändras då hänsyn till kunskapsosäkerheter tas, måste en analys på nivå 5 utföras för att samtliga osäkerheters effekt på resultatet och det optimala beslutet skall klargöras.

2.5. Hantering av osäkerheter vid jämförelse mellan olika alternativ

Det finns en speciell situation som gör separering av kunskapsosäkerheter respektive stokastiska osäkerheter extra betydelsefull. Denna situation uppträder då två eller flera alternativ skall jämföras (differensanalys), och det mest optimala, d.v.s. minsta summan av kostnader för brandskydd och kostnader på grund av brand, skall identifieras. Denna situation kan uppträda vid nybyggnation av en anläggning, då flera olika utformningsalternativ är möjliga, eller då frågor av typen "Är det värt att investera i ett sprinklersystem för denna anläggning, vi skall ju ändå lägga ner den om fem år?" skall besvaras. Det första fallet, då det finns ett antal väl definierade alternativ, innebär att den förväntade skadekostnaden *plus* kostnader för brandskydd i de olika alternativen skall jämföras. I det andra fallet, då byggnaden existerar, skall den merkostnad som en brandskyddsinvestering innebär jämföras med den förväntade sänkningen i brandskadekostnader som installationen kommer att medföra.

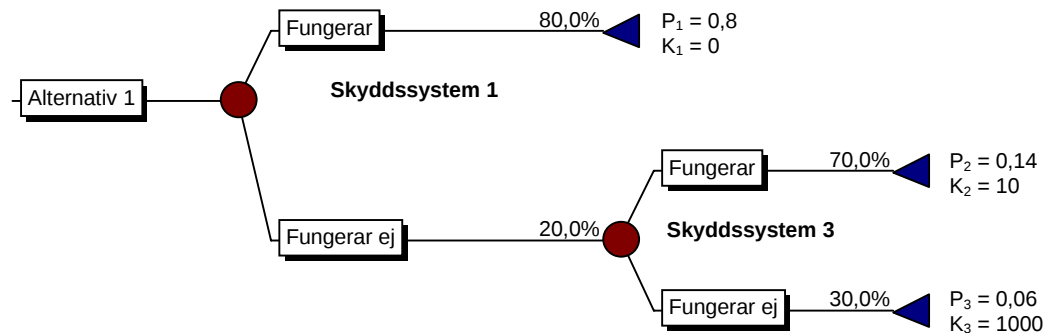
Vid dessa typer av jämförelser är det vanligt att det finns parametrar som är förenade med kunskapsosäkerheter och som ingår i båda alternativen. Då kan osäkerheten i *skillnaden* mellan alternativen, d.v.s. vilket alternativ som är bäst, minskas betydligt. En parameter som till exempel stämmer väl överens med dessa egenskaper är sannolikheten att personalen släcker en brand. Om två alternativ, till exempel installation av rökluckor eller installation av en extra brandcellsgräns, skall jämföras anses det vara rimligt att anta att sannolikheten för att personalen släcker branden i de båda alternativen är lika. Detta anses rimligt eftersom ingen av de två åtgärderna har någon större effekt på brandens utveckling då den är liten (och personalen fortfarande har en möjlighet att kontrollera den). Även om det föreligger stor kunskapsosäkerhet vad gäller sannolikheten att personalen släcker branden innebär resonemanget ovan att denna osäkerhetspåverkan på resultatet försvinner. Effekten av detta angreppssätt illustreras bäst genom ett exempel.

Exemplet innebär att två olika brandskyddsutformningar skall jämföras med avseende på den förväntade skadekostnaden. Det alternativ som innebär den lägsta förväntade skadekostnaden är det bästa alternativet; kostnader för brandskyddssystemen tas alltså inte med i exemplet.

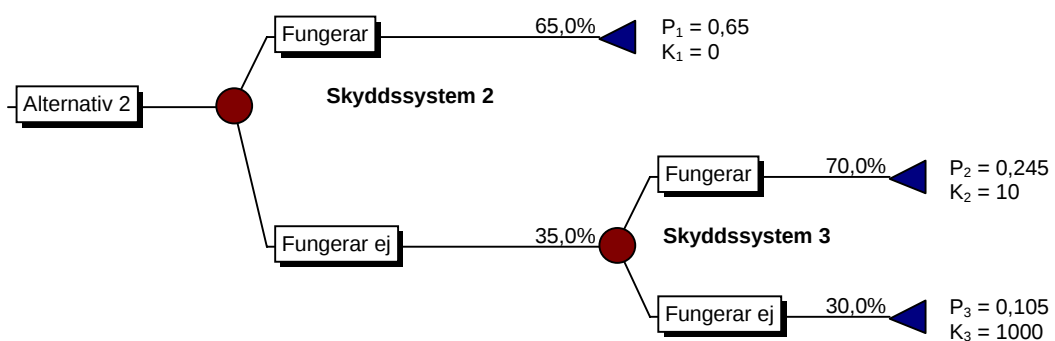
I Figur 18 och Figur 19 finns de händelsesträd som beskriver olika utfall av en brand i byggnaden då något av de två brandskyddsalternativen finns installerat. Som illustrerats i figurerna är skyddssystem 3 lika i de båda exemplen, d.v.s. skyddssystemet finns med i båda lösningarna, och det bedöms ha samma effekt på branden. Detta system skulle till exempel kunna vara personalens släckinsats. Personalen, utrustningen för manuell brandsläckning och

de övriga förhållandena för en manuell insats kan vara samma mellan alternativen. Det enda som skiljer dem åt är alltså skyddssystem 1 och skyddssystem 2.

I händelseträden kan man se att sannolikheter för olika efterföljande händelser (händelser som inträffar efter att branden har startat) har bedömts. Med hjälp av dessa bedömningar kan sannolikheten för de tre utfallen av branden beräknas. Sannolikheten för ett visst utfall av en brand symboliseras med bokstaven P . Konsekvensen för de olika utfallen symboliseras med bokstaven K och mäts i tusental kronor (tkr).



Figur 18 Händelseträd som beskriver de olika utfallen av en brand i den fiktiva byggnaden med brandskyddsalternativ 1.



Figur 19 Händelseträd som beskriver de olika utfallen av en brand i den fiktiva byggnaden med brandskyddsalternativ 2.

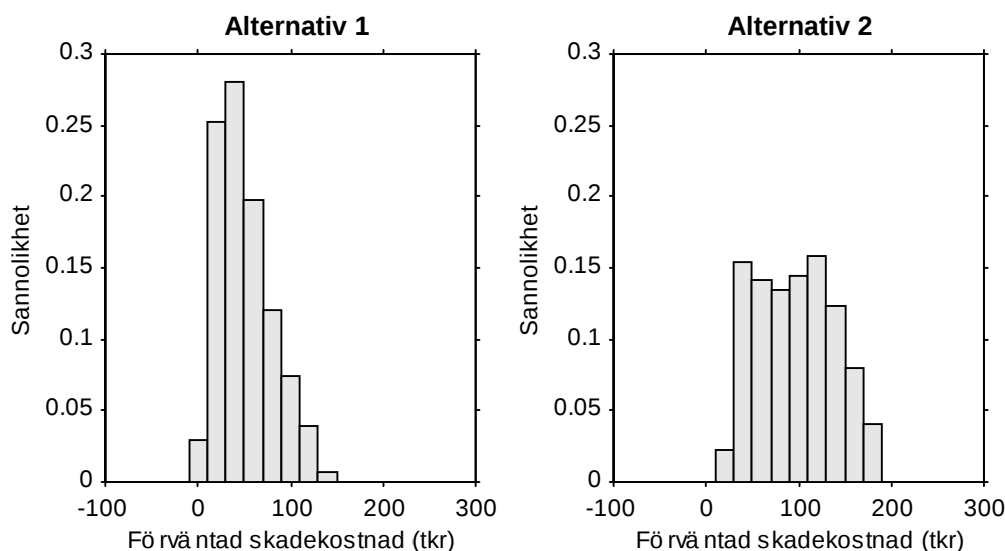
Detta sätt att representera de olika möjliga brandförloppen har använts i första fasen av projektet (se till exempel Johansson 1999b och Johansson 1999c) och innebär en osäkerhets-hantering på nivå 4 enligt definition i avsnitt 2.4.

Eftersom det även är önskvärt att behandla kunskapsosäkerheterna i ovanstående modell betraktas inte de olika sannolikheterna som ett fast värde utan som stokastiska variabler. Anledningen till detta är att det är svårt att skatta till exempel sannolikheten för att personalen släcker branden, men det går ofta att ange ett intervall inom vilket variabeln med stor sannolikhet är placerad. Då det går att ange ett intervall går det ofta att resonera sig fram till en lämplig statistisk fördelning som kan representera osäkerheten i intervallet.

I exemplet som behandlas antas att sannolikheten för lyckosam funktion vad gäller skyddssystem 1 ligger någonstans mellan 0,7 och 0,9, för skyddssystem 2 någonstans mellan 0,6 och 0,7 och för skyddssystem 3 någonstans mellan 0,5 och 0,9.

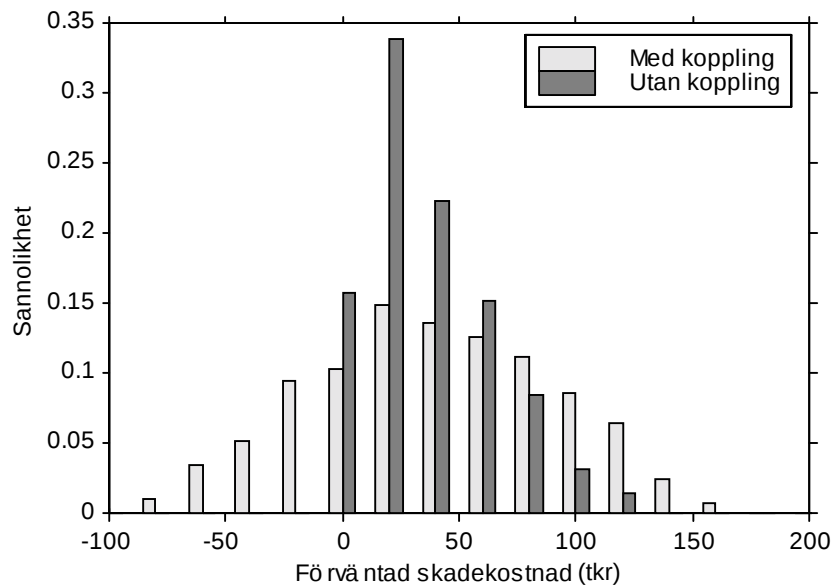
Vid bedömning av fördelningar mellan dessa gränser antas för enkelhetens skull att alla parametrar är likformigt fördelade inom respektive intervall, d.v.s. det är lika sannolikt att sannolikheten för lyckosam funktion hos skyddssystem 1 ligger mellan 0,7 och 0,8 som det är att den ligger mellan 0,8 och 0,9. Observera att denna fördelning skulle kunna formas helt efter den som utför analysen; det är inget krav att den skall vara likformig, men i detta exempel passar denna fördelning bra.

På grund av att sannolikheterna i modellen antogs vara stokastiska variabler blir inte längre den förväntade skadekostnaden ett specifikt värde utan beskrivs bäst genom till exempel ett histogram. Den förväntade skadekostnaden beräknas, för båda alternativen, genom Monte Carlo-simulering, och resultatet kan ses i Figur 20. I figuren framgår att alternativ 2 i många fall har en högre förväntad skadekostnad än alternativ 1.



Figur 20 Histogram som visar fördelningen för den förväntade skadekostnaden i de två alternativen.

Det har i detta avsnitt konstaterats att då man skall välja mellan olika brandskyddsalternativ är det ofta skillnaden mellan den förväntade skadekostnaden i två alternativ som är intressant. Om skillnaden är 0 innebär det att alternativen enligt modellen kan betraktas som likvärdiga, men om skillnaden är negativ eller positiv föreligger en skillnad. Om även skillnaden mellan den förväntade skadekostnaden för de båda alternativen beräknas genom Monte Carlo-simulering erhålls resultatet som benämns "Utan koppling" i Figur 21. I figuren kan ses att fördelningen har sin tyngdpunkt till höger om värdet 0; detta innebär att alternativ 1 är det bästa alternativet. Skillnaden räknas ut genom att man drar bort den förväntade skadekostnaden i alternativ 1 från den förväntade skadekostnaden i alternativ 2. Observera att resultatet sedan avrundats i steg om 20 tkr.

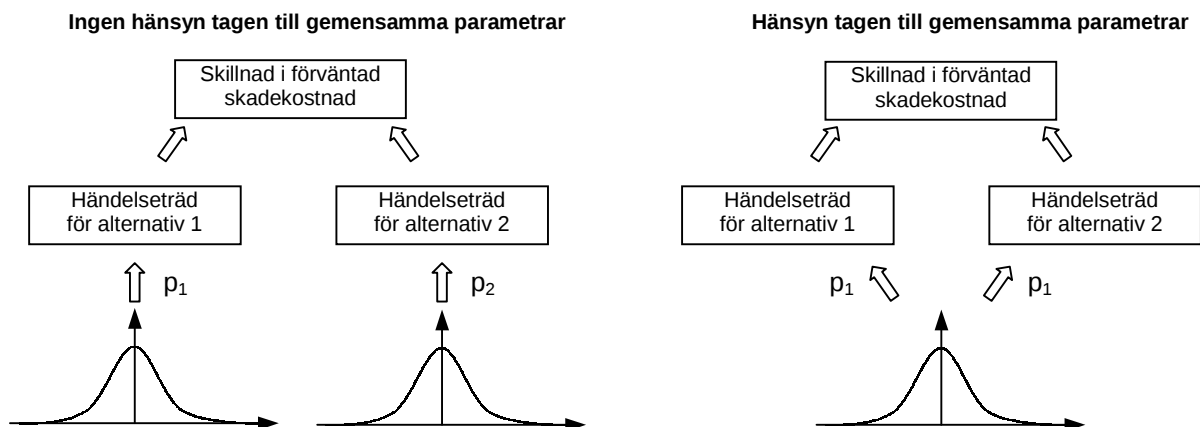


Figur 21 Skillnad i förväntad skadekostnad (alternativ 2 – alternativ 1).

2.5.1. Reducering av total osäkerhet

Om den totala osäkerheten i resultatet ovan betraktas som variationen i fördelningen "Utan koppling" (Figur 21) kan denna osäkerhet reduceras genom att man drar nytta av att ett och samma skyddssystem ingår i båda brandskyddsalternativen (skyddssystem 3). Detta är ingen ovanlig situation, exempelvis kan ofta personalens möjlighet att släcka en brand betraktas som lika oberoende av om rökluckor finns installerade som om en extra brandcellsgräns har installerats.

Sannolikheten att ett skyddssystem som finns i två alternativ skall begränsa branden är fortfarande osäker, men eftersom det kan antas att sannolikheten att systemet fungerar är lika i de båda alternativen kommer osäkerheten i *skillnaden* mellan den förväntade skadekostnaden i de båda alternativen att minska. Anledningen till detta framgår av den förenklade bilden av Monte Carlo-simuleringsprocessen som visas i Figur 22. Då man tar hänsyn till att osäkerheten i vissa brandtekniska systems funktionssannolikhet är samma i två olika utformningsalternativ, ser man att *en och samma* fördelning används för att generera sannolikheten som används i båda utformningsalternativens händelsetråd. Då ingen hänsyn till detta tas används *två identiska* fördelningar för att generera systemets funktionssannolikhet i de båda händelseträden.



Figur 22 Principiell beskrivning av beräkningsgången vid Monte Carlo-simulering av skillnaden i förväntad skadekostnad mellan två byggnadsalternativ, med respektive utan hänsyn till gemensamma parametrar.

Genom att utnyttja att vissa parametrar som är förknippade med kunskapsosäkerhet är samma i två alternativ kan man alltså erhålla mindre osäkerhet, mindre varians, i slutresultatet. Detta illustreras i Figur 21, där fördelningen som är märkt "Med koppling" symboliserar osäkerheten i den förväntade skadekostnaden då hänsyn togs till den gemensamma parametern (skyddssystem 3). Då ingen hänsyn togs till att parametern är samma i de två alternativen erhöles standardavvikelsen 52 tkr för den förväntade skadekostnaden. I beräkningen där hänsyn tagits erhöles standardavvikelsen 46 tkr, alltså en minskning av osäkerheten i resultatet.

Då problem som involverar val mellan olika brandskyddsalternativ behandlas är det ovan beskrivna sättet att hantera kunskapsosäkerheter bra för att minska den totala osäkerheten i slutresultatet. Speciellt användbar är metoden då de skyddssystem som normalt är förknippade med stora kunskapsosäkerheter är de samma i två alternativ (till exempel sannolikheten att personalen släcker branden).

3. Osäkerheter i brandförlopp

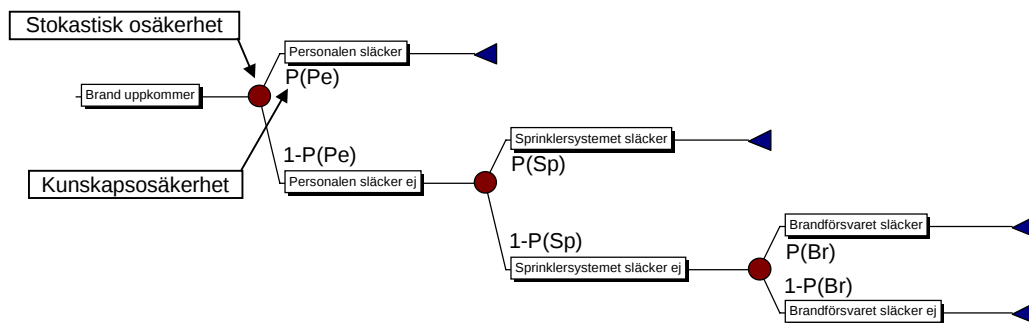
Ett brandförlopp är ett fenomen som är förknippat med många osäkra händelser. Före en brand kan det till exempel inte vara känt i vilket utrymme branden uppstår, i vilken maskin eller annat objekt som den uppkommer, o.s.v. Det finns också osäkerheter förknippade med funktionen hos diverse aktiva och passiva skyddssystem som är avsedda att släcka, kontrollera eller begränsa branden.

Ett sätt att förbättra skattningarna av vissa sannolikheter i en specifik industri är att använda information om den aktuella sannolikhets värde i den *grupp* av industrier som den aktuella industrin tillhör. Avsikten med detta avsnitt är att skatta vissa sannolikheter, som är användbara i riskanalyser, för en grupp industrier. Skattningarna åstadkoms genom att använd statistik från bränder där omfattningen av bränderna framgår.

3.1. Skattning av sannolikheter

I de riskanalyser som utförts hos ABB (Johansson, 1999b), Avesta Sheffield (Johansson, 1999c) och MODO (Johansson, Rigberth, 1999) har händelseträdsmetodik använts för att representera osäkerheter i ett brandförlopp. Detta innebär att osäkerheten när det gäller typen av brandförlopp, givet att brand uppstått i byggnaden, representeras med ett händelseträd. Med hjälp av händelseträdet kan sannolikheten för olika brandscenarier räknas ut.

I händelseträdet betraktas de olika grenarna som stokastiska osäkerheter, d.v.s. oavsett hur mycket kunskap som inhämtas om en viss anläggning kommer osäkerheten huruvida till exempel sprinklersystemet fungerar vid en brand eller ej aldrig att försvinna helt. Man kan dock minska osäkerheten i skattningen av sannolikheten huruvida sprinklersystemet fungerar vid brand, vilket betyder att denna parameter betraktas som en kunskapsosäkerhet (se Figur 23).



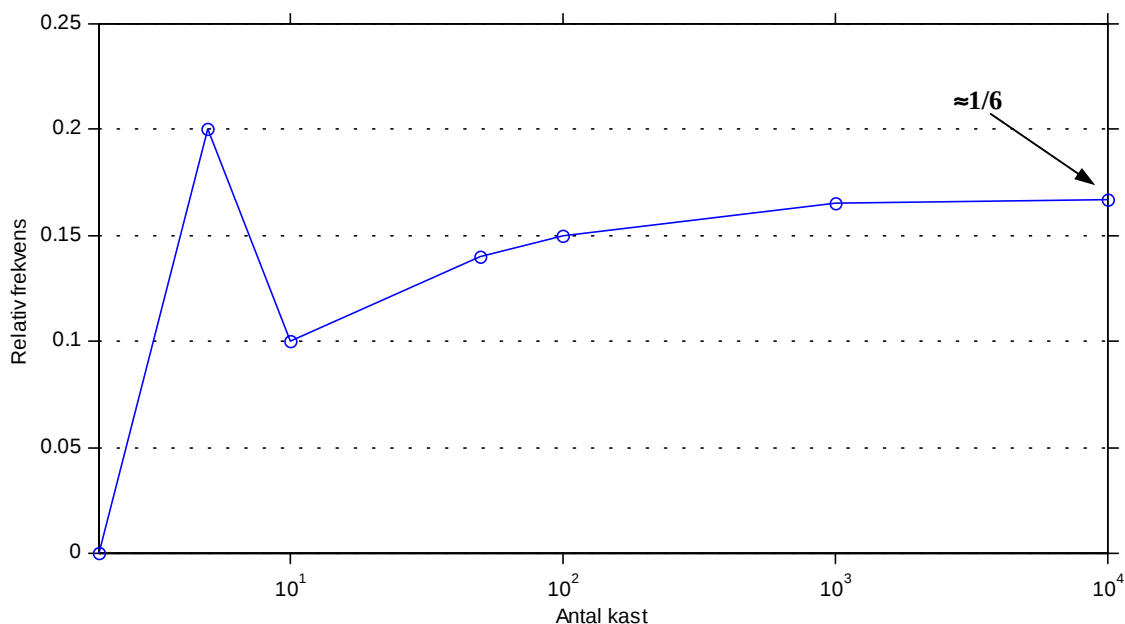
Figur 23 Stokastisk osäkerhet och kunskapsosäkerhet i händelseträdet.

En händelse under ett brandförlopp (till exempel att sprinklersystemet släcker branden) betraktas alltså som en stokastisk osäkerhet, vilket innebär att om en brand upprepas ett stort antal gånger och sprinklersystemets funktion registreras vid samtliga tillfällen, så kommer den relativa frekvensen av bränder där sprinklersystemet fungerar att vara lika med sannolikheten att systemet fungerar (frekvenstolkningen av sannolikhetsbegreppet). Det finns dock ett problem vid skattningar av sannolikheter i en specifik industri: eftersom antalet bränder är ganska få blir skattningarna osäkra. Detta fenomen illustreras enklast med en klassisk jämförelse.

Sannolikheten att få en etta vid ett slag med en välgjord sexsidig tärning är $1/6$. Detta räknar man enkelt ut genom att ta antalet gynnsamma utfall (1 st) och dela detta antal med antalet

sidor på tärningen (6 st). Detta är den så kallade klassiska sannolikhetsdefinitionen, och den fungerar bra så länge tärningens alla sidor med lika stor sannolikhet landar uppåt efter ett kast. Om däremot tärningen är felgjord (eller en fusk-tärning) kommer en av sidorna med större sannolikhet att landa uppåt än de övriga. Detta går inte att upptäcka bara genom att studera tärningen – om fusk-tärningen är välgjord – utan tärningen måste provkastas ett större antal gånger innan man kan uttala sig om sannolikheten att få till exempel en etta vid ett kast. I detta fall används den så kallade frekvenstolkningen av sannolikhetsbegreppet. Frekvenstolkningen innebär att om sannolikheten för att en etta landar uppåt vid kast med en tärning är $1/6$ blir den *relativa frekvensen* av antalet kast där ettan landat uppåt ungefär lika med $1/6$.

I Figur 24 illustreras att då endast ett fåtal kast med en tärning gjorts kan den relativa frekvensen ettas variera mycket, men när antalet kast blir stort minskar variationerna och den relativa frekvensen närmar sig $1/6$.



Figur 24 Relativ frekvens ettas vid ett större antal kast med en sexsidig tärning.

Likheten mellan ett sprinklersystems funktionssannolikhet och ett tärningskast blir tydligare om man tänker sig en brand i en byggnad som ett tärningskast. Utfallen från detta tärningskast blir antingen "Sprinkler fungerade" eller "Sprinkler fungerade inte", förutsatt att branden blev så stor att sprinklersystemet behövdes. På samma sätt som sannolikheten att få en etta vid ett tärningskast beräknades till $1/6$ på grund av att den relativa frekvensen vid ett större antal kast blev $1/6$, kan sannolikheten för att ett sprinklersystem fungerar vid brand skattas genom att man noterar funktionen vid ett större antal bränder och räknar ut den relativa frekvensen lyckade funktioner.

Ett problem med detta tillvägagångssätt är att antalet bränder som behövs för att man skall kunna bestämma sannolikheten med någorlunda god precision är stort. Detta innebär att det är praktiskt omöjligt att använda denna teknik för bestämning av ett sprinklersystems tillförlitlighet i en *specifik* byggnad. Om däremot sannolikheten för att ett sprinklersystem skall fungera inom en större *grupp* av industrier undersöks kan ovanstående metod användas eftersom det tillgängliga antalet bränder ökar.

I detta kapitel kommer sannolikheten för olika händelser under ett brandförlopp att skattas för olika grupper av industrier. Sannolikheten för huruvida sprinklersystemet fungerar kommer inte att beräknas eftersom resultatet från ett flertal undersökningar redan redovisats i detta projekt (Johansson, 1998). I detta kapitel kommer istället skattningar av sannolikheten för tre andra händelser under ett brandförlopp för ett antal industrikategorier att göras. Beräkningarna kommer att göras för samtliga industrikategorier *med och utan* sprinklersystem eftersom sprinklersystemet anses påverka sannolikheten för att vissa av händelserna skall inträffa.

Med hjälp av statistik som erhållits från Räddningsverket (1999) angående bränder går det att urskilja ungefärliga omfattningar på de bränder som inträffat under tiden 1996 till och med 1998.

Tyvärr går det inte direkt att urskilja de olika händelserna som är av intresse (till exempel sannolikheten för olika brandförlopp) utan en modell för att översätta insatsstatistiken till önskat format måste först användas.

Insatsstatistiken analyseras för att kunna fungera som ett komplement till expertbedömningar och fysikaliska beräkningsmodeller. Exempelvis används sannolikheten att personalen släcker branden i beräkningarna av den förväntade skadekostnaden. Detta är en sannolikhet som är mycket svår att skatta, och i Johansson (1999b och 1999c) används en enkel modell som bygger på expertbedömningar för dessa skattningar. Genom att undersöka insatsstatistik och skatta sannolikheten för olika brandutbredningar erhåller man information om bränder i *industrigruppen*, vilken kan användas som utgångspunkt då modellen för den enskilda industrin skall skapas.

Tyvärr går det i statistikmaterialet inte att avgöra om det var personalen eller till exempel brandförsvaret som släckte branden. Detta betyder att i stället för att skatta sannolikheten att personalen släcker branden, skattas sannolikheten för olika brandutbredningar från vilka personalens insats kan bedömas indirekt. De uppgifter som kommer att användas för att skatta sannolikheten för olika brandutbredningar är två uppgifter från blanketten för insatsrapportering (Räddningsverket, 1995). Den första uppgiften som kommer att användas är "Brandens omfattning vid framkomst". I insatsrapporten anges ett av sex alternativ för denna uppgift:

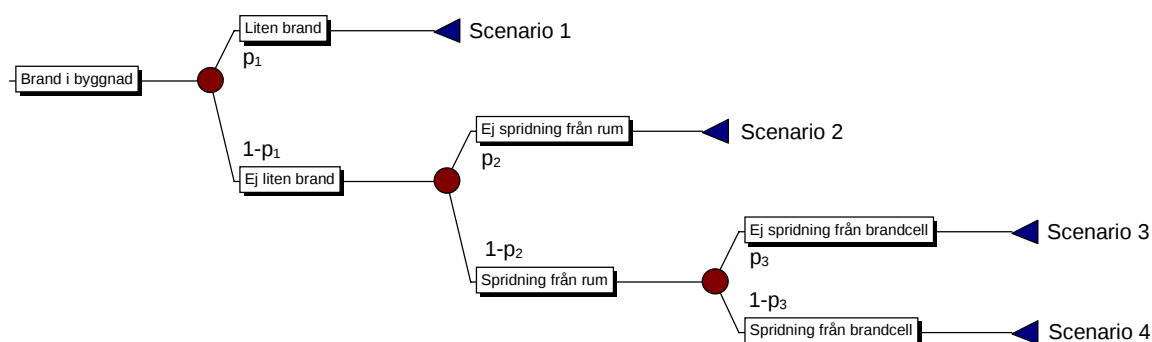
- ☐ Branden släckt/slocknad (1)
- ☐ Endast rökutveckling (2)
- ☐ Brand i startföremålet (3)
- ☐ Brand i ett rum (4)
- ☐ Brand i flera rum (samma brandcell) (5)
- ☐ Brand i flera brandceller (6)

Denna uppgift beskriver alltså hur stor branden var när räddningstjänsten kom till platsen, vilket innebär att den slutliga brandutbredningen kan vara större men inte mindre än det som angivits.

Tillsammans med uppgiften ”Var släcktes branden” är det möjligt att få en uppfattning om hur stor brandutbredningen varit i de olika bränderna. Fem alternativ finns att ange för var branden släcktes:

- ☐ Inget angivet (0)
- ☐ I startföremålet (1)
- ☐ I startrummet (2)
- ☐ I startbrandcellen (3)
- ☐ I startbyggnaden (4)
- ☐ Branden spred sig till andra byggnader (5)

För att beskriva ett brandförlopp används en enkel modell som baseras på ett händelseträd. Denna modell har tidigare använts för att skatta liknande parametrar i andra byggnader, undantaget industrier (Johansson, 1999a). Skillnaden mellan modellen i Johansson (1999a) och den modell som visas i Figur 25 är att grenarna heter ”Liten brand”, ”Spridning från rum” respektive ”Spridning från brandcell” i stället för ”Personalen släcker”, ”Övertändning” respektive ”Spridning”.



Figur 25 Beskrivning av modell för brandförlopp.

Modellen i Figur 25 kommer att användas tillsammans med insatsstatistik från de olika industrigrupperna för att skatta sannolikheterna p_1 , p_2 och p_3 . I figuren kan man se att dessa parametrar motsvarar sannolikheter för hur branden kommer att utvecklas. På den första grenen i händelseträdets som beskriver brandförloppet står det ”Liten brand”. Detta innebär att branden blivit begränsad, på grund av att personalen släckt den, att den slocknat av bränslebrist eller att sprinklersystemet släckt branden eller liknande. Det är viktigt att påpeka att sannolikheterna p_1 , p_2 och p_3 är viktade medelvärden inom en specifik industrigrupp. Detta innebär att till exempel sannolikhet p_1 i en specifik industri kan vara allt ifrån 0 till 1. Meningen med att skatta medelvärden inom grupperna är att ge en utgångspunkt när liknande sannolikheter skall skattas för en specifik industri.

För att översätta informationen från insatsrapporterna till scenarier i Figur 25 används Tabell 3. Tabellen visar till vilka scenarier de olika bränderna räknas beroende på vad som angetts under rubrikerna ”Brandens omfattning vid ankomst” och ”Var släcktes branden” på insatsrapporterna.

Scenario 1

Om brandens omfattning vid ankomst angivits som ”Släckt/slocknad” eller ”Endast rökutveckling” 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 betraktas personalens och släcksystemets släckinsats som misslyckad. Detta är dock inte det samma som att till exempel sprinklersystemet misslyckats med att *begränsa* branden. 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".

Tabell 3 Indelning av bränder i scenarier beroende på omfattning vid räddningstjänstens ankomst och plats för släckning. För sifferförklaringar, se sida 34.

Brandens omfattning vid ankomst	Var släcktes branden?					
	0	1	2	3	4	5
1	Scenario 1	Scenario 1	Scenario 1	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 4
2	Scenario 1	Scenario 1	Scenario 1	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 4
3	Scenario 2	Scenario 2	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 4
4	Scenario 2	Scenario 2	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 4
5	Scenario 3	Scenario 3	Scenario 3	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 4
6	Scenario 4	Scenario 4	Scenario 4	Scenario 4	Scenario 4	Scenario 4

Med hjälp av den modell som skapats (Figur 25 och Tabell 3) kan bränderna i statistikmaterialet delas in i de olika brandscenarierna. Detta kommer att göras för de olika industri-kategorier som redovisas i Räddningsverket (1999), men även för sprinklad respektive osprinklad byggnad. Skillnad mellan sprinklad¹ och osprinklad byggnad görs eftersom detta troligtvis kommer att inverka på skattningen av den första parametern (sannolikheten att branden blir liten) då ett sprinklersystem troligtvis hindrar många bränder från att växa sig stora.

¹ Vattensprinkler eller liknande (Räddningsverket, 1995).

Modellen för indelning i scenarier gör att antalet bränder som utvecklats enligt Scenario 1, 2, 3 respektive 4 kan beräknas med hjälp av insatsstatistiken, men för att göra skattningar och konfidensintervall för sannolikheterna p_1 , p_2 och p_3 måste två vanliga statistiska fördelningar användas. Fördelningarna är Normal-fördelningen och Binomial-fördelningen.

Normal-fördelningen är en av de vanligast förekommande fördelningarna inom statistiken, och stora delar av statistikteorin bygger just på denna fördelning. Fördelningen brukar användas då variationen hos olika företeelser skall beskrivas, men den används också som approximation till andra fördelningar eftersom den är relativt lätt att hantera matematiskt. Normalfördelningen beskrivs med ett medelvärde och en standardavvikelse. Medelvärdet beskriver fördelningens "tyngdpunkt" och standardavvikelsen dess spridning. Beteckningen om X är en normalfördelad stokastisk variabel är: $X \in N(m, \sigma)$, där m är medelvärdet och σ standardavvikelsen. Normal-fördelningen har en täthetsfunktion som skrivs enligt Ekvation 12, där m är medelvärdet och σ är standardavvikelsen.

Ekvation 12

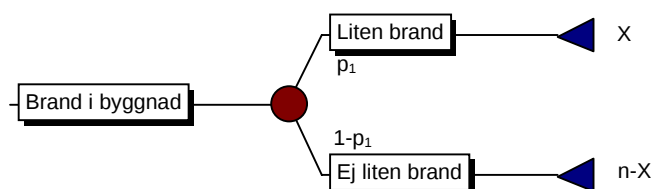
$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-m)^2 / 2\sigma^2}$$

Binomial-fördelningen förekommer vid slumpmässiga försök då en händelse A (vilken typ av händelse som helst) kan inträffa med sannolikheten p . A kan exempelvis vara "Sprinkler fungerade", och i så fall är komplementhändelsen till A "Sprinkler fungerade inte". Vid n stycken oberoende försök, till exempel att undersöka huruvida sprinklersystemet fungerade i n bränder, registreras antalet gånger då händelsen A inträffade och detta antal kallas X . X är då Binomial-fördelad, vilket skrivs som $X \in \text{Bin}(n, p)$, där n är antalet försök och p är sannolikheten att händelsen A skall inträffa. Binomial-fördelningens sannolikhetsfunktion skrivs som Ekvation 13, där $q = 1-p$ och n är antalet försök, k är antalet gynnsamma försök och p är sannolikheten för ett gynnsamt utfall vid ett försök.

Ekvation 13

$$p_X(k) = \binom{n}{k} p^k q^{n-k} \quad (k=0, 1, \dots, n)$$

Om varje sannolikhetsnod i händelseträdet (se Figur 25) för varje brand betraktas som ett slumpmässigt försök kan antalet bränder där det gynnsamma utfallet inträffade (utfallet vars sannolikhet är p_1 , p_2 eller p_3) antas vara binomial-fördelat.



Figur 26 Figur som exemplifierar hur modellen för skattning av p_1 ser ut.

Då exempelvis p_1 skall skattas är antalet gynnsamma utfall antalet bränder där branden varit liten (enligt definition i detta kapitel). Antalet bränder som utvecklats enligt Scenario 2, 3 och 4 är antalet icke gynnsamma utfall. Antalet gynnsamma utfall betraktas som en stokastisk

variabel som betecknas X (se Figur 26), och det totala antalet bränder betecknas n . I fallet som visas i Figur 26 gäller att $X \in \text{Bin}(n, p_1)$. I fortsättningen används p för att symbolisera sannolikheten för ett gynnsamt utfall, men detta p kan ersättas av p_1 , p_2 eller p_3 beroende på vilken situation som studeras.

Då antalet bränder är stort kan binomialfördelningen approximeras med en normalfördelning (se till exempel Blom, 1989). Approximationen är att $X \in N(np, \sqrt{np(1-p)})$. Villkoret för att denna approximation skall gälla är att olikheten i Ekvation 14 är uppfylld.

Ekvation 14

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

Man måste kontrollera att olikheten i Ekvation 14 är uppfylld varje gång som någon sannolikhet skall skattas. Om inte olikheten är uppfylld finns det för litet underlag för att approximationen skall kunna göras.

Då en parameter skall skattas kan olika metoder användas. Det visar sig att två av de vanligaste metoderna, Maximum Likelihood-skattning och Minsta kvadrat-skattning, skattar p på samma sätt vid denna typ av problem. Med båda två metoderna blir skattningen $p^* = x/n$ (p^* betyder en skattning av p), d.v.s. antalet gynnsamma utfall delat med antalet bränder. Det är viktigt att påpeka att antalet bränder n , är olika beroende på vilken av parametrarna p_1 , p_2 eller p_3 som skall skattas. Detta beror på att i modellen är p_2 och p_3 betingade sannolikheter, vilket exempelvis innebär att alla bränder som utvecklats enligt Scenario 1 (små bränder) måste räknas bort från det totala antalet bränder då p_2 skall beräknas. För p_3 gäller att alla bränder som utvecklats enligt Scenario 1 och 2 måste räknas bort från det totala antalet bränder.

Förutom en skattning av sannolikhetsvärdet skall också ett konfidensintervall med konfidensgraden 0,95 beräknas för sannolikheten. Ett konfidensintervall med konfidensgraden 0,95 är ett intervall som med 95% säkerhet täcker det "sanna" sannolikhetsvärdet.

Den *relativa* frekvensen gynnsamma utfall kan uttryckas som X/n och eftersom X kan approximeras som $X \in N(np, \sqrt{np(1-p)})$ då n är stort innebär det att X/n kan uttryckas som $X/n \in N(p, \sqrt{p(1-p)/n})$ (se till exempel Blom, 1989). p^* (skattningen av p) är en observation av X/n , d.v.s. $p^* = x/n$ (litet x används för att beteckna argumentet i fördelningen för X) och $p = X/n$. Eftersom även ett konfidensintervall för p skall skapas behövs standardavvikelsen för skattningen p^* . I detta fallet ingår dock den parameter som skall skattas i uttrycket för standardavvikelsen (standardavvikelsen $D = \sqrt{np(1-p)}$). Detta löses genom att använda det så kallade medelfelet d , vilket är en skattning av D . Som medelfel för X/n används $d = \sqrt{p^*(1-p^*)/n}$, konfidensintervallet för p blir då:

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

Det är viktigt att vara medveten om att de olika sannolikheterna p_1 , p_2 och p_3 skiljer sig mellan olika *specifika* industrier, d.v.s. sannolikheten för en liten brand i industri 1 ($p_{1,1}$) är inte lika med sannolikheten för en liten brand i industri 2 ($p_{1,2}$). En effekt av detta blir att skattningarna av p_2 och p_3 är *viktade* medelvärden av $p_{2,1}, p_{2,2}, \dots, p_{2,n}$ respektive $p_{3,1},$

$p_{3,2}, \dots, p_{3,n}$. Skattningen av p_1 är viktad med hänsyn till brandfrekvensen i byggnaderna. Viktningen sker alltså med hänsyn till brandfrekvensen, $p_{1,i}$, och vid skattning av p_3 även med hänsyn till $p_{2,i}$. Anledningen till att viktningen uppkommer är att en brand i en industri där $p_{1,i}$ är väldigt hög med stor sannolikhet inte finns med i materialet som utgör grunden för skattningen av p_2 och p_3 . Anledningen till viktningen behöver tydliggöras med ett exempel:

I modellen antas att alla *specifika* industrier har ett *specifikt* värde för de olika sannolikheterna som används i modellen (se Figur 25). Detta betyder att i industri nummer i beskriver sannolikheterna $p_{1,i}$, $p_{2,i}$ och $p_{3,i}$ hur troligt det är att en brand utvecklas enligt ett visst scenario. Vad som genomförs i den analys av statistikmaterialet som presenteras är att p_1 , p_2 och p_3 skattas, d.v.s. medelvärdet av sannolikheterna i *alla* industrier i en specifik grupp. För att exemplifiera viktningen antas att det i en industrigrupp finns 1000 byggnader, och i 500 av dessa är värdet $p_{1,n}$ lika med 1; i de resterande 500 är värdet 0. Medelvärdet i gruppen, d.v.s. p_1 , skulle i så fall vara 0,5. Värdet för $p_{2,n}$ är också 1 i de 500 första byggnaderna och 0 i de andra, vilket innebär att skattningen av medelvärdet i gruppen (p_2) kommer att bli 0 när det i själva verket är 0,5. Anledningen till denna felaktiga skattning är att ingen av bränderna som uppstår i den första gruppen industrier, där $p_1 = 1$ och $p_2 = 1$, någonsin kommer att finnas med i den statistik som skattningen av p_2 bygger på; dessa bränder har blivit släckta tidigt och tillhör alltså scenario 1 eftersom sannolikheten för detta ($p_{1,n}$) var 1! På detta sätt blir alltså skattningen av p_2 viktad med avseende på $p_{1,n}$. Med anledning av detta kan det vara klokt att fråga sig vad skattningarna av p_1 , p_2 och p_3 kan användas till. Trots viktningen kan skattningen av p_2 användas för att svara på frågan "Givet att en brand inte utvecklats enligt scenario 1, vad är sannolikheten att den utvecklas enligt scenario 2?". Skattningen av p_3 kan användas för att svara på frågan "Givet att en brand inte utvecklats enligt scenario 1 eller 2, vad är sannolikheten att den utvecklas enligt scenario 3?". Detta är precis den typ av frågor som man behöver svar på när man vill ha generell information om brandförlopp i en industrigrupp, så informationen i detta kapitel är på intet sätt mindre värd bara för att medelvärdena är viktade.

Det är också viktigt att påpeka att konfidensintervallen som skattas inte har något att göra med de enskilda industriernas sannolikheter ($p_{1,i}$, $p_{2,i}$ och $p_{3,i}$) utan dessa kan ligga långt utanför konfidensintervallens gränser. Konfidensintervallet ger endast en uppfattning om hur säker skattningen av p_1 , p_2 och p_3 är, d.v.s. medelvärdena av sannolikheterna i de enskilda industrierna.

Skattning av parametrarna p_1 , p_2 och p_3 kommer att ske för alla industrikategorier samt för både sprinklade och osprinklade byggnader. Anledningen till att grupperna delas upp i sprinklad respektive osprinklad byggnad är att sprinklersystem bedöms ha en betydande inverkan på parametrarna p_1 , d.v.s. sannolikheten för en liten brand. Tyvärr är materialet för de flesta sprinklade byggnadskategorier tunt, vilket resulterar i osäkra skattningar. Under kommande år bör dock detta datamaterial kunna kompletteras så att även skattningar med förhållandevis litet medelfel kan åstadkommas för sprinklade industrier.

Det antal bränder som redovisas under varje industrigrupp i avsnitt 3.2 är det totala antalet bränder som har använts för skattningar i den gruppen. Förutom dessa finns det även bränder där uppgifter angående brandens omfattning vid räddningstjänstens framkomst och släckningsplats saknats. Dessa bränder har inte tagits med i analysen.

Då parameterskattningarna redovisas i avsnitt 3.2 kan det ibland förekomma att det inte redovisas någon skattning. Detta betyder att datamaterialet varit för tunt för att man skall

kunna ge en skattning av den aktuella parametern (<10 bränder). Det kan också vara fallet att det inte redovisas något konfidensintervall. Detta beror på att olikheten i Ekvation 14 inte varit uppfylld och då går det alltså inte att beräkna något konfidensintervall för skattningen.

3.2. Icke sprinklade byggnader

3.2.1. Metall-/Maskinindustri

Antal bränder: 852

Tabell 4 Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst, samt platsen för släckning. Tabellen gäller för industrikategorin Metall-/Maskinindustri (icke sprinklade byggnader). *Förklaring till siffrorna finns på sid 38.

Brandens omfattning vid ankomst		Var släcktes branden?*					
		0	1	2	3	4	5
Branden slocknad/släckt (1)	188	16	150	18	3	1	0
Endast rökutvecklig (2)	246	9	219	13	2	3	0
Brand i startföremålet (3)	331	0	250	62	4	13	2
Brand i ett rum (4)	55	0	4	41	9	1	0
Brand i flera rum (samma brandcell) (5)	20	0	2	0	11	6	1
Brand i flera brandceller (6)	12	0	0	0	1	9	2

Tabell 5 Skattning av sannolikheter och konfidensintervall med konfidensgraden 0,95.

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p1	0,50	0,47	0,53
p2	0,84	0,80	0,87
p3	0,44	0,33	0,56

3.2.2. Kemisk industri

Antal bränder: 251

Tabell 6 Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst, samt platsen för släckning. Tabellen gäller för industrikategorin Kemisk industri (icke sprinklade byggnader). *Förklaring till siffrorna finns på sid 38.

Brandens omfattning vid ankomst		Var släcktes branden?*					
		0	1	2	3	4	5
Branden slocknad/släckt (1)	49	1	44	4	0	0	0
Endast rökutvecklig (2)	75	5	68	2	0	0	0
Brand i startföremålet (3)	97	0	81	13	1	2	0
Brand i ett rum (4)	18	0	1	11	1	5	0
Brand i flera rum (samma brandcell) (5)	7	0	0	1	0	6	0
Brand i flera brandceller (6)	5	0	0	1	0	3	1

Tabell 7 Skattning av sannolikheter och konfidensintervall med konfidensgraden 0,95.

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p1	0,49	0,43	0,56
p2	0,83	0,77	0,90
p3	0,14	-	-

3.2.3. Livsmedelsindustri

Antal bränder: 188

Tabell 8 Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst, samt platsen för släckning. Tabellen gäller för industrikategorin Livsmedelsindustri (icke sprinklade byggnader). *Förklaring till siffrorna finns på sid 38.

Brandens omfattning vid ankomst		Var släcktes branden?*					
		0	1	2	3	4	5
Branden slocknad/släckt (1)	30	2	28	0	0	0	0
Endast rökutvecklig (2)	63	2	56	3	1	1	0
Brand i startföremålet (3)	75	0	58	14	1	2	0
Brand i ett rum (4)	12	0	3	6	1	2	0
Brand i flera rum (samma brandcell) (5)	4	0	0	0	1	3	0
Brand i flera brandceller (6)	4	0	0	0	0	3	1

Tabell 9 Skattning av sannolikheter och konfidensintervall med konfidensgraden 0,95.

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p1	0,48	0,41	0,56
p2	0,84	0,76	0,91
p3	0,25	-	-

3.2.4. Textil-/Beklädnadsindustri

Antal bränder: 54

Tabell 10 Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst, samt platsen för släckning. Tabellen gäller för industrikategorin Textil-/Beklädnadsindustri (icke sprinklade byggnader). *Förklaring till siffrorna finns på sid 38.

Brandens omfattning vid ankomst		Var släcktes branden?*					
		0	1	2	3	4	5
Branden slocknad/släckt (1)	12	0	12	0	0	0	0
Endast rökutvecklig (2)	14	0	14	0	0	0	0
Brand i startföremålet (3)	17	0	15	1	0	1	0
Brand i ett rum (4)	5	0	2	2	1	0	0
Brand i flera rum (samma brandcell) (5)	5	0	0	0	1	3	1
Brand i flera brandceller (6)	1	0	0	0	0	1	0

Tabell 11 Skattning av sannolikheter och konfidensintervall med konfidensgraden 0,95.

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p1	0,48	0,35	0,61
p2	0,71	-	-
p3	-	-	-

3.2.5. Lager

Antal bränder: 158

Tabell 12 Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst, samt platsen för släckning. Tabellen gäller för industrikategorin Lager (icke sprinklade byggnader). *Förklaring till siffrorna finns på sid 38.

Brandens omfattning vid ankomst		Var släcktes branden?*					
		0	1	2	3	4	5
Branden slocknad/släckt (1)	16	2	14	0	0	0	0
Endast rökutvecklig (2)	25	1	21	1	0	2	0
Brand i startföremålet (3)	73	0	44	19	1	7	2
Brand i ett rum (4)	22	0	2	14	1	4	1
Brand i flera rum (samma brandcell) (5)	15	0	1	0	2	10	2
Brand i flera brandceller (6)	7	0	0	0	0	4	3

Tabell 13 Skattning av sannolikheter och konfidensintervall med konfidensgraden 0,95.

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p1	0,25	0,18	0,31
p2	0,66	0,58	0,75
p3	0,13	-	-

3.2.6. Trävaruindustri

Antal bränder: 605

Tabell 14 Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst, samt platsen för släckning. Tabellen gäller för industrikategorin Trävaruindustri (icke sprinklade byggnader). *Förklaring till siffrorna finns på sid 38.

Brandens omfattning vid ankomst		Var släcktes branden?*					
		0	1	2	3	4	5
Branden slocknad/släckt (1)	78	7	64	7	0	0	0
Endast rökutvecklig (2)	149	1	116	25	2	4	1
Brand i startföremålet (3)	264	1	186	56	6	15	0
Brand i ett rum (4)	54	0	1	39	4	9	1
Brand i flera rum (samma brandcell) (5)	37	1	1	3	7	21	4
Brand i flera brandceller (6)	23	0	3	1	1	12	6

Tabell 15 Skattning av sannolikheter och konfidensintervall med konfidensgraden 0,95.

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p1	0,36	0,33	0,40
p2	0,74	0,69	0,78
p3	0,24	0,15	0,32

3.2.7. Annan tillverkningsindustri

Antal bränder: 561

Tabell 16 Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst, samt platsen för släckning. Tabellen gäller för industrikategorin Annan tillverkningsindustri (icke sprinklade byggnader). *Förklaring till siffrorna finns på sid 38.

Brandens omfattning vid ankomst		Var släcktes branden?*					
		0	1	2	3	4	5
Branden slocknad/släckt (1)	141	10	124	6	1	0	0
Endast rökutvecklig (2)	141	0	127	9	3	2	0
Brand i startföremålet (3)	216	0	185	23	0	8	0
Brand i ett rum (4)	40	0	8	25	2	5	0
Brand i flera rum (samma brandcell) (5)	8	0	0	2	0	5	1
Brand i flera brandceller (6)	15	0	0	0	2	7	6

Tabell 17 Skattning av sannolikheter och konfidensintervall med konfidensgraden 0,95.

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p1	0,49	0,45	0,53
p2	0,85	0,80	0,89
p3	0,18	-	-

3.2.8. Reparationsverkstad

Antal bränder: 247

Tabell 18 Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst, samt platsen för släckning. Tabellen gäller för industrikategorin Reparationsverkstad (icke sprinklade byggnader). *Förklaring till siffrorna finns på sid 38.

Brandens omfattning vid ankomst		Var släcktes branden?*					
		0	1	2	3	4	5
Branden slocknad/släckt (1)	25	0	19	4	0	2	0
Endast rökutvecklig (2)	29	1	20	6	0	2	0
Brand i startföremålet (3)	87	0	55	19	1	11	1
Brand i ett rum (4)	61	0	1	38	9	13	0
Brand i flera rum (samma brandcell) (5)	31	0	2	3	2	24	0
Brand i flera brandceller (6)	14	1	1	0	0	10	2

Tabell 19 Skattning av sannolikheter och konfidensintervall med konfidensgraden 0,95.

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p1	0,20	0,15	0,25
p2	0,57	0,50	0,64
p3	0,20	0,12	0,29

3.2.9. Industrihotell

Antal bränder: 102

Tabell 20 Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst, samt platsen för släckning. Tabellen gäller för industrikategorin Industrihotell (icke sprinklade byggnader). *Förklaring till siffrorna finns på sid 38.

Brandens omfattning vid ankomst		Var släcktes branden?*					
		0	1	2	3	4	5
Branden slocknad/släckt (1)	10	1	8	1	0	0	0
Endast rökutvecklig (2)	15	0	13	2	0	0	0
Brand i startföremålet (3)	39	0	24	12	1	2	0
Brand i ett rum (4)	17	0	5	4	4	4	0
Brand i flera rum (samma brandcell) (5)	14	0	1	1	4	7	1
Brand i flera brandceller (6)	7	0	0	0	1	4	2

Tabell 21 Skattning av sannolikheter och konfidensintervall med konfidensgraden 0,95.

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p1	0,25	0,16	0,33
p2	0,58	0,47	0,69
p3	0,34	-	-

3.3. Sprinklade byggnader

3.3.1. Metall-/Maskinindustri

Antal bränder: 139

Tabell 22 Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst, samt platsen för släckning. Tabellen gäller för industrikategorin Metall-/Maskinindustri (sprinklade byggnader). *Förklaring till siffrorna finns på sid 38.

Brandens omfattning vid ankomst		Var släcktes branden?*					
		0	1	2	3	4	5
Branden slocknad/släckt (1)	64	4	54	5	0	1	0
Endast rökutvecklig (2)	31	0	28	3	0	0	0
Brand i startföremålet (3)	40	0	37	2	1	0	0
Brand i ett rum (4)	3	0	1	0	2	0	0
Brand i flera rum (samma brandcell) (5)	0	0	0	0	0	0	0
Brand i flera brandceller (6)	1	0	0	0	0	1	0

Tabell 23 Skattning av sannolikheter och konfidensintervall med konfidensgraden 0,95.

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p1	0,68	0,60	0,75
p2	0,89	-	-
p3	-	-	-

3.3.2. Kemisk industri

Antal bränder: 52

Tabell 24 Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst, samt platsen för släckning. Tabellen gäller för industrikategorin Kemisk industri (sprinklade byggnader). *Förklaring till siffrorna finns på sid 38.

Brandens omfattning vid ankomst		Var släcktes branden?*					
		0	1	2	3	4	5
Branden slocknad/släckt (1)	14	0	10	3	0	1	0
Endast rökutvecklig (2)	12	0	11	0	0	1	0
Brand i startföremålet (3)	21	0	19	1	0	0	1
Brand i ett rum (4)	3	0	0	2	1	0	0
Brand i flera rum (samma brandcell) (5)	1	0	0	0	0	1	0
Brand i flera brandceller (6)	1	0	0	0	0	1	0

Tabell 25 Skattning av sannolikheter och konfidensintervall med konfidensgraden 0,95.

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p1	0,46	0,33	0,60
p2	0,79	-	-
p3	-	-	-

3.3.3. Livsmedelsindustri

Antal bränder: 40

Tabell 26 Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst, samt platsen för släckning. Tabellen gäller för industrikategorin Livsmedelsindustri (sprinklade byggnader). *Förklaring till siffrorna finns på sid 38.

Brandens omfattning vid ankomst		Var släcktes branden?*					
		0	1	2	3	4	5
Branden slocknad/släckt (1)	9	1	8	0	0	0	0
Endast rökutvecklig (2)	9	0	9	0	0	0	0
Brand i startföremålet (3)	18	0	17	1	0	0	0
Brand i ett rum (4)	3	0	1	1	1	0	0
Brand i flera rum (samma brandcell) (5)	1	0	0	0	0	0	1
Brand i flera brandceller (6)	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 27 Skattning av sannolikheter och konfidensintervall med konfidensgraden 0,95.

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p1	0,45	-	-
p2	0,91	-	-
p3	-	-	-

3.3.4. Trävaruindustri

Antal bränder: 210

Tabell 28 Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst, samt platsen för släckning. Tabellen gäller för industrikategorin Trävaruindustri (sprinklade byggnader). *Förklaring till siffrorna finns på sid 38.

Brandens omfattning vid ankomst		Var släcktes branden?*					
		0	1	2	3	4	5
Branden slocknad/släckt (1)	47	0	37	10	0	0	0
Endast rökutvecklig (2)	48	2	38	7	0	1	0
Brand i startföremålet (3)	88	0	58	19	2	8	1
Brand i ett rum (4)	11	0	0	5	4	2	0
Brand i flera rum (samma brandcell) (5)	12	0	0	0	1	10	1
Brand i flera brandceller (6)	4	0	0	1	1	1	1

Tabell 29 Skattning av sannolikheter och konfidensintervall med konfidensgraden 0,95.

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p1	0,45	0,38	0,51
p2	0,71	0,62	0,79
p3	0,21	-	-

3.3.5. Annan tillverkningsindustri

Antal bränder: 193

Tabell 30 Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst, samt platsen för släckning. Tabellen gäller för industrikategorin Annan tillverkningsindustri (sprinklade byggnader). *Förklaring till siffrorna finns på sid 38.

Brandens omfattning vid ankomst		Var släcktes branden?*					
		0	1	2	3	4	5
Branden slocknad/släckt (1)	81	6	65	7	3	0	0
Endast rökutvecklig (2)	39	0	32	5	0	2	0
Brand i startföremålet (3)	62	0	51	5	3	2	1
Brand i ett rum (4)	4	0	0	3	1	0	0
Brand i flera rum (samma brandcell) (5)	6	0	0	1	4	0	1
Brand i flera brandceller (6)	1	0	1	0	0	0	0

Tabell 31 Skattning av sannolikheter och konfidensintervall med konfidensgraden 0,95.

Parameter	Skattning	Konfidensintervall	
p1	0,60	0,53	0,67
p2	0,76	0,66	0,85
p3	0,63	-	-

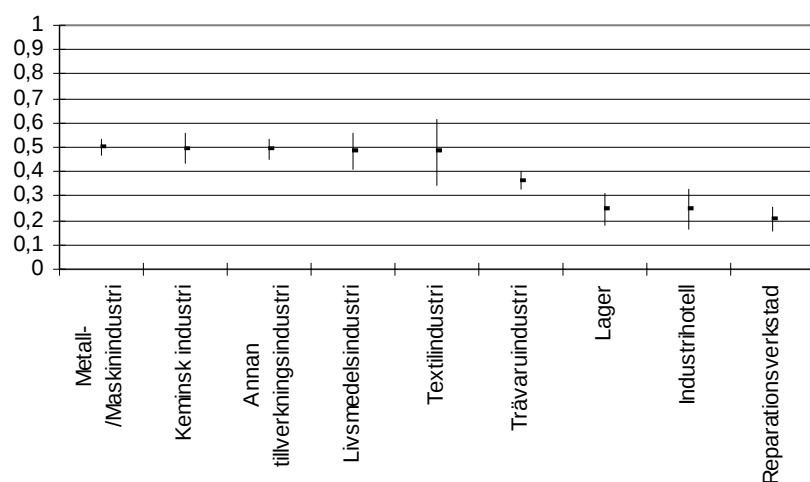
3.4. Sammanfattning och diskussion

I detta kapitel har en enkel modell för ett brandförlopp i en industri skapats. Med hjälp av brandstatistik från 1996 till och med 1998 har skattningar av tre parametrar som styr sannolikheten för olika allvarliga brandförlopp gjorts. Parametern som benämns p_1 beskriver sannolikheten att branden blir begränsad till ett mindre område omkring startföremålet (se scenariebeskrivning i början av detta kapitel). Parametern p_2 beskriver sannolikheten att branden begränsas till rummet där den börjat, givet att branden inte släckts i startföremålet. Parametern p_3 beskriver sannolikheten att branden inte bryter igenom en brandcellsgräns givet att den omfattar hela initialbrandcellen. Observera att dessa sannolikheter är viktade medelvärden inom de olika industrigrupperna. I Tabell 32 sammanfattas skattningarna av sannolikheterna för de olika industrigrupperna, med respektive utan sprinkler. En kursiv siffra i ett gråmarkerat fält innebär att olikheten i Ekvation 14 inte är uppfylld och därför redovisas inte något konfidensintervall.

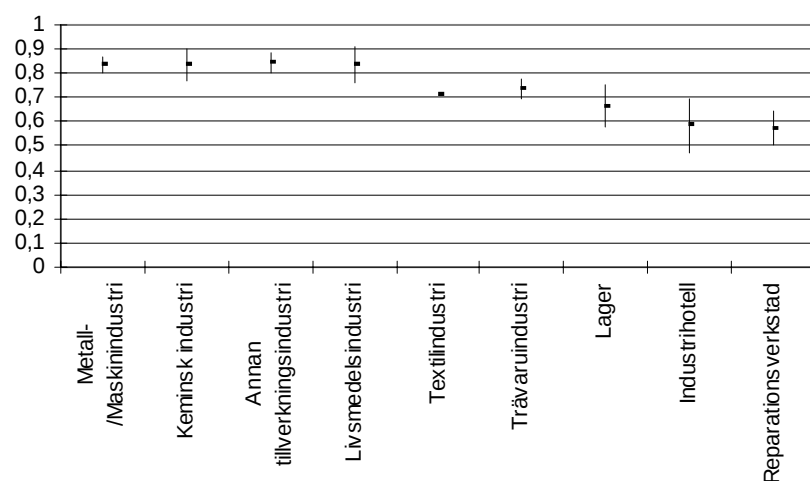
Tabell 32 Sammanfattning av sannolikhetskattningar för de olika industrigrupperna.

	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	-

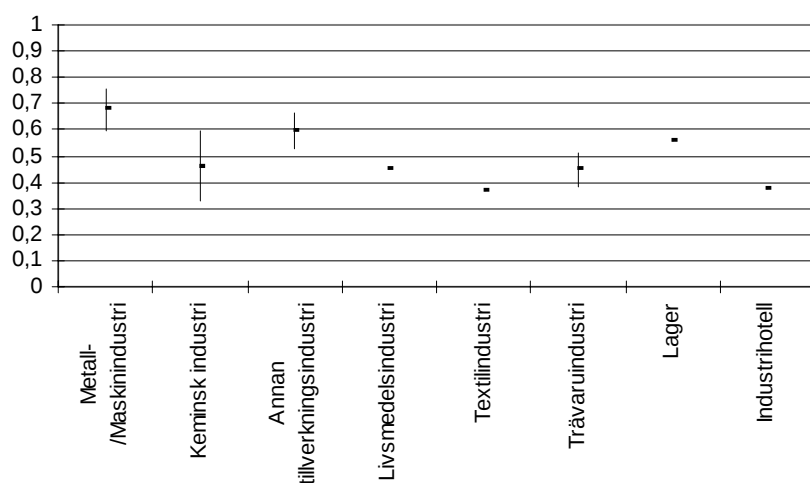
Informationen presenteras också grafiskt i Figur 27, Figur 28 och Figur 29.



Figur 27 Skattning av sannolikheten p_1 inklusive konfidensintervall (osprinklade industrier).



Figur 28 Skattning av sannolikheten p_2 inklusivet konfidensintervall (osprinklade industrier).



Figur 29 Skattningar av sannolikheten p_1 inklusive konfidensintervall (sprinklade industrier).

Figur 27, Figur 28 och Figur 29 visar grafiskt var skattningarna och konfidensintervallen för de olika parametrarna är placerade. I figurerna framgår att de första fyra industrigruppernas (Metall-/Maskinindustri, Kemisk industri, Annan tillverkningsindustri och Livsmedelsindustri) parametrar är väldigt lika. Dessutom ser man också ett mönster för de övriga tre redovisade grupperna; Trävaruindustri och Textilindustri har de högsta p_1 - och p_2 -värdena av grupperna, Lager har de näst högsta och Reparationsverkstad och Industrihotell de lägsta.

Resultaten som presenteras kan användas för skattning av sannolikheten för en större brand i de olika grupperna av industrier och också användas som grund när sannolikheten för en större brand i en specifik industri skall skattas. Om det med större brand avses en brand som tidigare definierats som Scenario 3 eller Scenario 4, d.v.s. en brand som spridit sig utanför rummet där den uppstått, kan sannolikheten för detta skattas genom Ekvation 15.

Ekvation 15

$$P(\text{Storbrand}|\text{Brand}) = (1 - p_1) \cdot (1 - p_2)$$

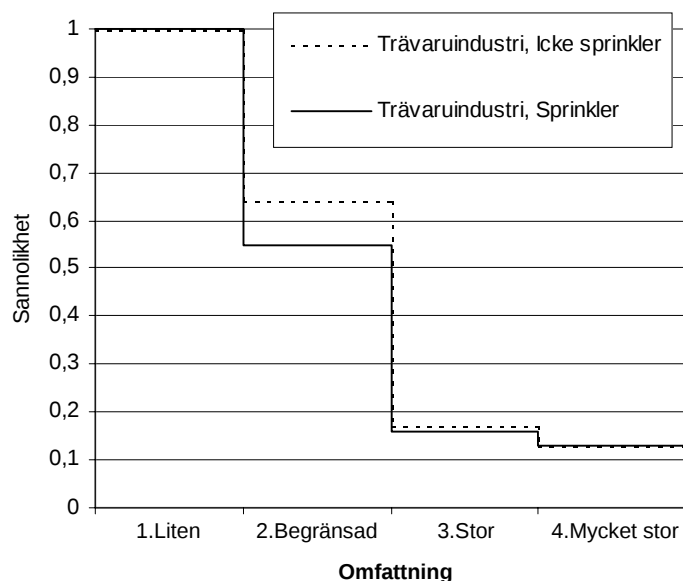
Om Ekvation 15 används med de skattade parametrarna i Tabell 32 resulterar detta i Tabell 33. Endast de industrigrupper där tillförlitliga skattningar (där konfidensintervall finns) erhållits redovisas i tabellen.

Tabell 33 Skattningar av sannolikheten för en stor brand (givet brand) i de olika industrigrupperna (icke sprinklade).

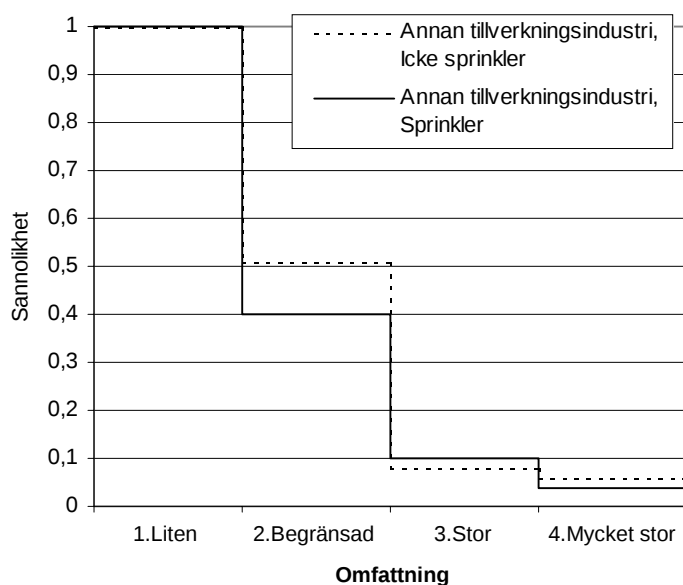
Industrigrupp	P(Stor brand Brand)
Annan tillverkningsindustri	0,08
Metall-/Maskinindustri	0,08
Kemisk industri	0,08
Livsmedelsindustri	0,09
Trävaruindustri	0,17
Lager	0,25
Industrihotell	0,31
Reparationsverkstad	0,34

Resultaten från undersökningen av statistiken kan även användas vid jämförelse mellan sprinklade och osprinklade byggnader. Tyvärr är antalet rapporterade bränder från de sprinklade byggnaderna litet i många industrigrupper. Detta gör att det endast är några industrigrupper där det går att jämföra sprinklade och osprinklade byggnader.

Då sprinklade respektive osprinklade byggnader jämförs i industrigrupperna Trävaruindustri och Annan tillverkningsindustri kan man med ett diagram visa sannolikheten att en brand når en viss omfattning *eller mer*. Brandens omfattning har benämnts 1.Liten, 2.Begränsad, 3.Stor och 4.Mycket stor och följer de scenariodefinitioner som presenterats på sidan 35 och 36. Diagrammen presenteras i Figur 30 och Figur 31 och skall användas för att svara på frågan "Vilken är sannolikheten att en brand når en viss omfattning *eller mer*?" exempelvis så ger Figur 30 att sannolikheten att en brand i en osprinklad trävaruindustri sprider sig utanför utrymmet där den uppstått (2.Begränsad) är ungefär 0,65, medan samma sannolikhet i en sprinklad industri är ungefär 0,55. Det bör dock observeras att vissa av skattningarna av sannolikheterna i sprinklerfallet är osäkra (olikheten i Ekvation 14 har inte varit uppfylld).



Figur 30 Visuell beskrivning av sannolikheten att en brand når en viss omfattning eller mer. Diagrammet gäller gruppen Trävaruindustri, med respektive utan sprinkler.



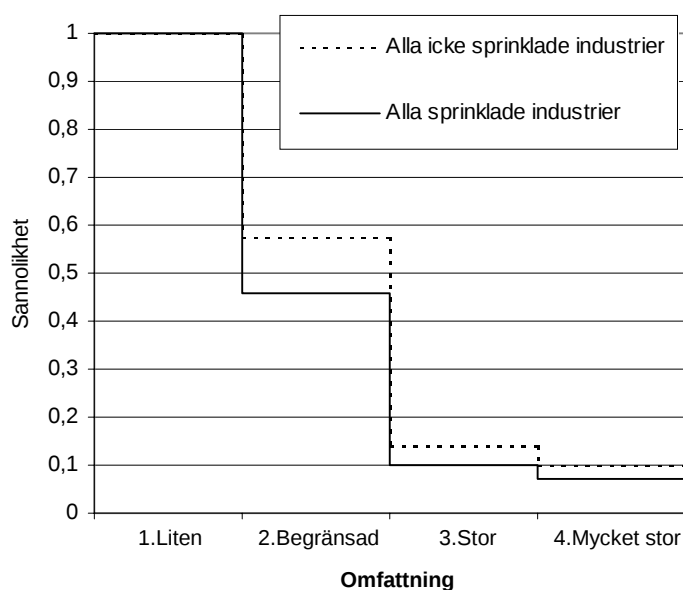
Figur 31 Visuell beskrivning av sannolikheten att en brand når en viss omfattning eller mer. Diagrammet gäller gruppen Annan tillverkningsindustri, med respektive utan sprinkler.

För att man skall få mer tillförlitliga skattningar av vissa av sannolikheterna i sprinklerfallen måste mer observationer finnas tillgängliga. Ett sätt att öka antalet observationer är att utvidga undersökningen från att gälla olika industrigrupper till att gälla alla bränder i industribyggnader. Samma teknik som presenterats tidigare i kapitlet kan då användas för att skatta de olika sannolikheterna, och eftersom antalet tillgängliga bränder då ökar blir också skattningarna av framför allt sannolikheterna i sprinklerfallet bättre. Resultatet då byggnader med eller utan sprinklersystem studeras presenteras i Tabell 34, där man kan se att konfidensintervallen är betydligt smalare då alla industrier beaktas än då enskilda grupper analyseras.

Tabell 34 Skattningar av parametrarna p_1 , p_2 , p_3 då sprinklade och osprinklade industrier jämförs.

Parameter	Sprinklade			Icke sprinklade		
	Skattning	Konfidensintervall		Skattning	Konfidensintervall	
p_1	0,54	0,50	0,58	0,42	0,41	0,44
p_2	0,77	0,73	0,82	0,76	0,74	0,78
p_3	0,34	0,23	0,45	0,25	0,21	0,29

Om informationen i Tabell 34 används för att skapa en visuell bild av sannolikheten att en brand i en sprinklad respektive osprinklad industri får en viss omfattning *eller mer* erhålls Figur 32. I figuren framgår tydligare än tidigare i rapporten att bränder i byggnader försedda med sprinklersystem med större sannolikhet blir begränsade till ett mindre område.



Figur 32 Visuell beskrivning av sannolikheten att en brand når en viss omfattning *eller mer*. Diagrammet gäller för alla typer av industrier, med respektive utan sprinkler.

I gruppen Annan tillverkningsindustri fanns ett resultat som var oväntat; det är mer sannolikt att en brand sprider sig utanför rummet där den uppkommit i en sprinklad industri än i en osprinklad. Detta resultat verkar vid första anblicken något konstigt, men det kan finnas förklaringar till varför dessa resultat erhållits.

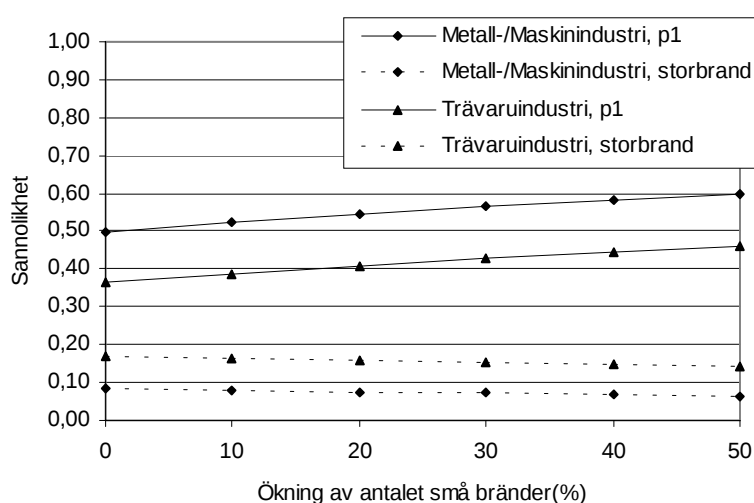
Resultatet skulle kunna bero på att underlaget vid undersökningen av gruppen Annan tillverkningsindustri är betydligt mindre än då alla byggnader undersöktes. Detta ger osäkrare skattningar, och om man studerar Tabell 32 ser man att skattningen för parameter p_3 i gruppen inte har kunnat beräknas med konfidensintervall. Detta kan göra att jämförelsen mellan sprinklade och osprinklade byggnader är felvisande och det främst vad gäller sannolikheterna för stor respektive mycket stor brand (i Figur 30). Det finns dock också en annan trolig förklaringar till resultaten i gruppen Annan tillverkningsindustri: andelen orapporterade bränder kan öka då sprinklersystem installerats.

Att andelen orapporterade bränder ökar då sprinklersystem finns installerat i industrier, kan förklaras av att det är mer sannolikt att mindre bränder inte rapporteras till brandförsvaret. Sprinklersystemets effekt är att begränsa eller släcka branden i ett tidigt stadium, och alltså

bör andelen bränder som är små öka då sprinklersystemet installeras (detta kan också ses i resultatet, till exempel i Figur 30, Figur 31 och Figur 32). Eftersom det just är denna kategori bränder som vanligen inte rapporteras till brandförsvaret innebär detta att sannolikheten för små bränder kan ha underskattats, och sannolikheten för stora bränder överskattats.

3.5. Slutsatser och begränsningar

När slutsatser från det insamlade materialet skall dras är det viktigt att man är medveten om att alla bränder troligtvis inte finns redovisade i materialet. Exempelvis redovisas inte de bränder där räddningstjänsten inte varit inblandad vid släckningen, d.v.s. mindre bränder som personalen hanterat själv och underlåtit att rapportera till räddningstjänsten. Detta kan göra att skattningarna av parametern p_1 är för låga och att alltså sannolikheten för en storbrand är för hög. I Figur 33 illustreras effekterna av en känslighetsanalys av mängden småbränder. Diagrammet visar alltså vad som händer med skattningen av p_1 om antalet småbränder ökas med en andel.



Figur 33 Diagrammet visar effekterna av en ökning av antalet små bränder (Scenario 1). På den horisontella axeln visas den procentuella ökningen av småbränder, och på den vertikala axeln visas effekterna av ökningen på parametern p_1 och sannolikheten för en storbrand.

Eftersom det inte är känt hur många bränder som inte rapporteras till räddningstjänsten visas effekterna på parametern p_1 och sannolikheten för en storbrand som en funktion av den procentuella ökningen av småbränder som finns rapporterade i statistikmaterialet. Detta innebär att om antalet småbränder i Metall-/Maskinindustri ökas med 50 procent så kommer (enligt Figur 33) skattningen av p_1 att öka från 0,51 till 0,61, och skattningen av sannolikheten för en storbrand givet brand minskar från 0,08 till 0,07. Effekterna av en ökning med 50 procent av antalet småbränder innebär alltså ingen drastisk ändring av skattningen av de båda sannolikheterna.

När de skattningar som presenterats i detta kapitel används i riskanalyser är det viktigt att man är medveten om att inte alla småbränder är med i statistikmaterialet, och det är också viktigt att man jämför den modell som har använts i detta kapitel med den modell som används för den specifika industrin. Det går till exempel inte att använda skattningen för parametern p_1 som sannolikheten att *personalen* släcker branden i en specifik industri eftersom p_1 är sannolikheten att branden blir liten (enligt definition i detta kapitel), och det finns troligtvis andra anledningar till att en brand blir liten än personalens ingripande. Därför måste försiktighet iakttagas då dessa värden används och det är mycket viktigt att notera

skillnaderna mellan modellen för den specifika industrin och den modell som presenterats i detta kapitel. Om modellerna är exakt lika går naturligtvis skattningarna att använda, men om det finns skillnader kan det tänkas att värdena måste justeras för att passa in i den specifika modellen. Justeringen kan utföras genom att man använder expertbedömningar, vilket har diskuterats i kapitel 2.

4. Osäkerhetshantering i två ekonomiska riskanalyser

I tidigare rapporter (Johansson, 1999b och Johansson 1999c) har ekonomiska riskanalyser med avseende på brandskydd i två stycken industrier utförts. I detta kapitel presenteras osäkerhetsanalyser av resultaten från dessa rapporter. Detta innebär att först utförs en så kallad deterministisk beräkning av den förväntade skadekostnaden i industrierna. I den deterministiska beräkningen bortser man från alla kunskapsosäkerheter och använder endast ett specifikt värde, det mest sannolika, för de olika parametrarna som påverkar resultatet. Därefter genomförs en känslighetsanalys där en parameter i taget varieras från det värde som bedömts som det minsta sannolika värdet till det värde som bedömts som det största. Effekten på den förväntade skadekostnaden på grund av denna variation registreras och sedan kan de parametrar som kan påverka den förväntade skadekostnaden mest identifieras. Dessa parametrar analyseras vidare i en osäkerhetsanalys. Målet med osäkerhetsanalysen är att få fram en fördelning som visar variationen, på grund av kunskapsosäkerheter, i den förväntade skadekostnaden. Med hjälp av denna fördelning kan en skattning av den förväntade skadekostnaden åstadkommas, men det går också att uttala sig om osäkerheten i skattningen genom att även konstruera ett approximativt konfidensintervall med konfidensgraden 0,9.

4.1. Generell metodik vid osäkerhetsanalys

Då osäkerhetsanalyserna som presenteras i denna rapport utförs kommer en generell metodik som bedöms passa bra för denna typ av problem att användas. Analyserna kommer att utföras i tre steg; Deterministisk analys, Känslighetsanalys och Osäkerhetsanalys.

Deterministisk analys

Först gör man en deterministisk beräkning av skadekostnaden i anläggningen. Med deterministisk beräkning menas en beräkning där ingen hänsyn tas till osäkerheter i de olika parametrarna. Detta är den typ av beräkning som utförts under fas 1 av projektet och innebär att de mest troliga parametervärdena används. Resultatet från denna typ av beräkning är *en* förväntad skadekostnad och *en* riskprofil.

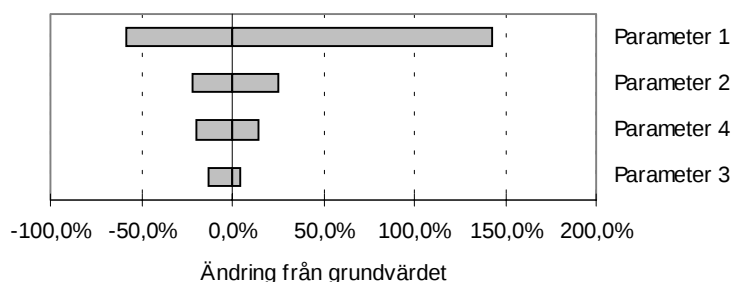
Känslighetsanalys

I en analys som är så omfattande som de två som utförts på ABB Automation Products och Avesta Sheffield när det gäller antalet delscenarier, går det inte att praktiskt hantera en osäkerhetsanalys av *alla* parametrar. Detta beror framför allt på att beräkningstiden för Monte Carlo simuleringen blir mycket lång. För att undvika detta är det nödvändigt att reducera antalet parametrar som behandlas i osäkerhetsanalysen.

För att identifiera de parametrar som skall tas med till en osäkerhetsanalys utförs en *känslighetsanalys*. Känslighetsanalysen inleds med att de parametrar som med säkerhet endast har marginell effekt på slutresultatet tas bort ur osäkerhetsanalysen. Därefter skattas ett intervall inom vilket de resterande parametrarna är placerade, d.v.s. ett maximalt och ett minimalt värde.

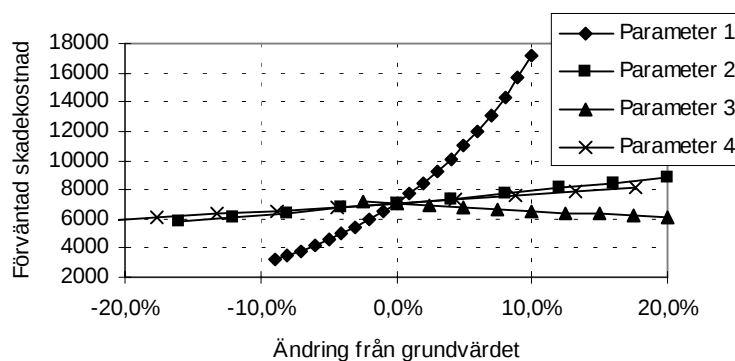
Genom att man låter alla parametrar utom en anta det mest sannolika värdet, eller grundvärdet, i intervallet kan effekten på den förväntade skadekostnaden på grund av variation i den undersökta parameter avläsas. Dessa variationer brukar presenteras i ett så kallat spindeldiagram, där den horisontella axeln representerar parametrarnas avvikelse från grundvärdet uttryckt i procent, och den vertikala axeln visar den procentuella förändringen av den förväntade skadekostnaden (se Figur 35). Den procentuella förändringen av den förväntade skadekostnaden utgår ifrån det mest sannolika värdet, d.v.s. det värde som beräknades med hjälp av grundvärdena för alla parametrar. Ett annat presentationsalternativ är

det så kallade tornadodiagrammet (se Figur 34), där en stapel för varje parameter visar parameterns inverkan på den förväntade skadekostnaden. Den parameter som har störst inverkan placeras alltid högst upp, och därefter ordnas parametrarna efter minskande påverkansgrad, vilket gör att diagrammet får utseendet av en tornado.



Figur 34 Exempel på ett tornadodiagram som illustrerar parameterändringarnas effekt på den förväntade skadekostnaden.

Tornadodiagrammet och spindeldiagrammet visar samma information, men spindeldiagrammet är något mer detaljerat och beskriver även hur variationen i den förväntade skadekostnaden ser ut mellan parametrarnas maximala och minimala värde.



Figur 35 Exempel på spindeldiagram som illustrerar parameterändringarnas effekt på den förväntade skadekostnaden.

Spindeldiagram och tornadodiagram kan användas vid identifiering av de parametrar som inte behöver studeras i en osäkerhetsanalys. Om variation mellan en parameters maximala värde och dess minimala endast ger en marginell effekt på den förväntade skadekostnaden behöver inte denna parameter tas med i osäkerhetsanalysen. På detta sätt minskas arbetsbelastningen vid osäkerhetsanalysen, och sättet gör också den totala analysen lättare att förstå eftersom antalet parametrar som representeras med fördelningar minskar, något som i sin tur gör osäkerhetsanalysen mer överskådlig.

Stokastisk osäkerhet respektive kunskapsosäkerhet

Då de parametrar som skall vara med i osäkerhetsanalysen har identifierats via känslighetsanalysen skall man skatta fördelningar för parametrarna. I detta skede kan man göra skillnad mellan kunskapsosäkerhet och stokastisk osäkerhet. Vilken typ av osäkerhet som föreligger beror på vilken parameter som är aktuell och vilken modell som används. Exempelvis antas i den modell som använts i detta projekt att den stokastiska osäkerheten i ett brandförlopp representeras av de olika grenarna i händelseträdet, medan kunskapsosäkerheten representeras genom sannolikhetsfördelningar för de parametrar (sannolikheter och konsekvenser) som påverkar händelseträdet.

Separering av stokastisk osäkerhet respektive kunskapsosäkerhet blir extra viktig då då man jämför olika brandskyddsalternativ. Genom att vissa parametrar som är förknippade med kunskapsosäkerhet antar samma värde i modellerna för de olika brandtekniska alternativen kan osäkerheten i *skillnaden* mellan alternativen minskas betydligt. I samband med att denna osäkerhet minskas minskar också osäkerheten vad gäller det optimala beslutet för brandskydd. Hur modellering av relativ osäkerhet mellan olika utformningsalternativ kan behandlas beskrivs utförligare i avsnitt 2.5.

Separering av stokastisk osäkerhet och kunskapsosäkerhet i analyser av den *absoluta* risken, d.v.s. då man vill uttrycka risken för ett enda alternativ och inte som en skillnad mellan två eller flera alternativ, görs om det är intressant att redovisa de olika osäkerhetstypernas effekt på slutresultatet. Detta kan vara av intresse för beslutsfattaren eftersom han/hon vid beslutet kan se hur stor del av osäkerheten som beror på stokastiska fenomen och hur stor del som beror av att experterna har olika uppfattning eller bristande kunskap. Separation av stokastisk osäkerhet respektive kunskapsosäkerhet innebär en osäkerhetshantering på den högsta nivån, enligt definitionerna i avsnitt 2.4.

Presentation av resultat

Resultatet från analysen skall presenteras som den förväntade skadekostnaden för olika alternativa utformningar och också som den förväntade skillnaden i skadekostnad mellan olika alternativ då detta är aktuellt. I dessa förväntade värden är både kunskapsosäkerheter och stokastiska osäkerheter medtagna.

Det slutresultat som bör presenteras för personer i beslutsfattande ställning utan specialistkunskaper inom området anses vara skattningen av den förväntade skadekostnaden samt ett mått på hur osäker skattningen är. Detta innebär att resultatet kan presenteras som en skattning av den förväntade skadekostnaden och ett område vilket med 90 procent sannolikhet täcker det sanna värdet. Även om det enbart är detta som presenteras bör den totala representationen av risken, d.v.s. den fullständiga uppsättningen av scenarier, sannolikheter och konsekvenser, finnas tillgänglig för beslutsfattaren om denne önskar en mer komplett beskrivning av riskerna.

4.2. ABB Automation Products

Tidigare (Johansson 1999b) i det aktuella projektet har en analys av ABB:s förväntade skadekostnaden på grund av brand i byggnad 358 utförts. Då denna analys utfördes bedrev bland annat ABB Automation Products verksamhet i byggnaden och analysen inriktades på att beräkna detta företags förväntade skadekostnad i byggnaden. I dag har ABB Automation Products sålt hela kretskortstillverkningen, vilken var en av de större verksamheterna i byggnad 358 till företaget Flextronics. Detta innebär att analysen (för ABB:s del) skulle se annorlunda ut idag. Främst beror detta på att de olika konsekvenserna måste undersökas igen. ABB Automation Products köper fortfarande komponenter från anläggningen, men eftersom de inte äger den kommer till exempel egendomskostnaderna vid en skada att skilja sig från dem som beräknades under fas 1.

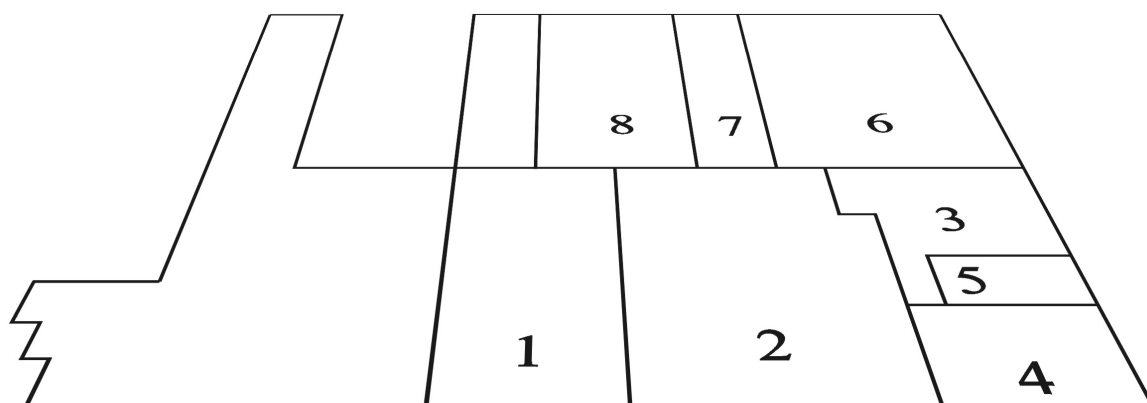
Då syftet med denna analys är att undersöka osäkerheters inverkan på slutresultatet i en riskanalys kommer det att antas att verksamheten är densamma som under 1998 (d.v.s. då den första analysen utfördes). I osäkerhetsanalysen antas det alltså att ABB Automation Products fortfarande bedriver sin verksamhet i byggnad 358 och att de avbrotts- och egendomskostnader som var aktuella då, fortfarande gäller.

4.2.1. Deterministisk analys

Sedan den första analysen av ABB Automation Products gjordes har det alltså skett en del förändringar, vilka i och för sig skulle kunna återspeglas i en analys om syftet var att kontinuerligt värdera riskerna för ABB Automation Products. Syftet med denna rapport är dock att undersöka osäkerheterna i den första analysen.

Även om förhållandena antas vara samma har det dock skett en del saker som gör att analysen kommer att få ett någorlunda annat utseende och resultat. Anledningen till detta är att i den förra analysen beräknades förväntad skadekostnad för ABB Automation Products med hjälp av skattade värden för dolda kostnader (kostnader som drabbar ABB vid en brand). I denna rapport är det meningen att endast avbrotts- och egendomskostnader skall beaktas. Denna förändring gör att det är lättare att erhålla säkrare skattningar av kostnader.

Byggnad 358 upptar en area av ungefär 55000 m² och innehåller ett antal större områden som avskiljs med brandcellsgränser. En principiell skiss över byggnaden och de olika områdena kan ses i Figur 36, där de numrerade områdenas inbördes lägen kan ses. Förklaringar till siffrorna ges i Tabell 35. De områden som inte är numrerade tillhör inte ABB Automation Products.



Figur 36 Schematisk beskrivning av de olika områdena i byggnad 358.

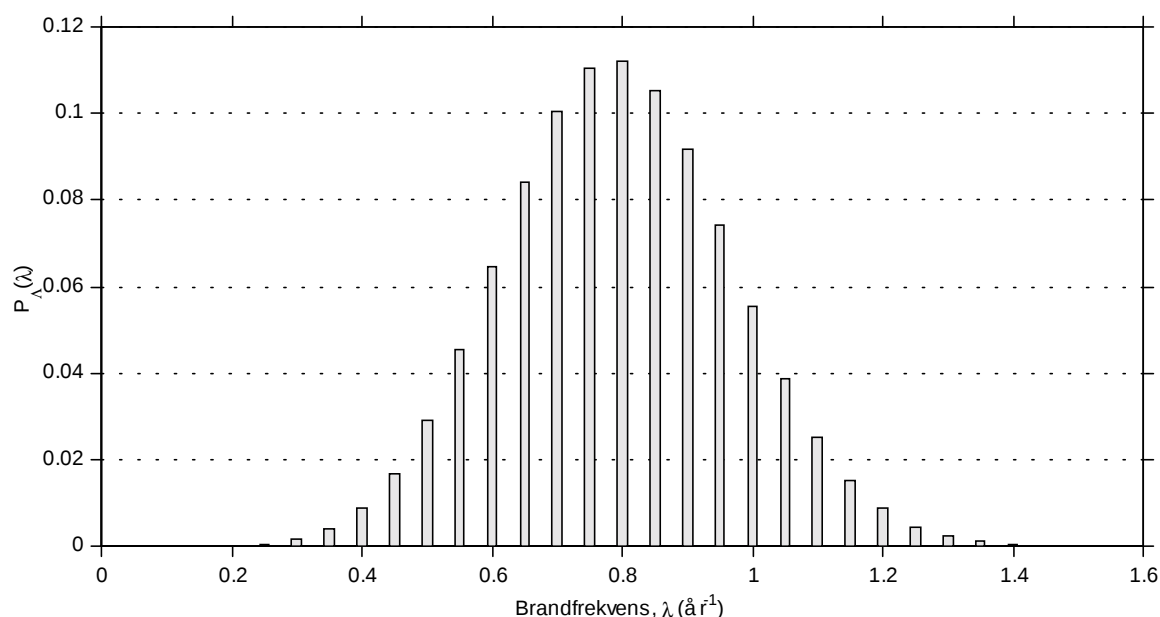
Den deterministiska delen av analysen utförs på samma sätt som i projektets första fas, d.v.s. genom ett händelseträd i kombination med en skattning av brandfrekvensen. Händelseträdet är det samma som under första fasen, men vissa av sannolikheterna har justerats beroende på ny information. Dessutom är, som påpekats tidigare, inte de olika kostnaderna de samma eftersom det nu enbart rör sig om egendoms- och avbrottskostnader. En annan skillnad gentemot den första rapporten är att analysen av brandspridning inom byggnaden har utvecklats och omfattar nu flera möjliga spridningvägar. Att detta är praktiskt möjligt beror på att analysen av spridning inom byggnaden utförs med hjälp av en algoritm skriven i beräkningsprogrammet Matlab v5.2.1. (se bilaga 3). Algoritmen beräknar den förväntade skadekostnaden givet en fullt utvecklad brand i ett område. Indata till algoritmen är brandcellsgränsernas funktionssannolikheter samt de avbrotts- respektive egendoms-kostnader som är förknippade med förstörelsen av de olika områdena.

Tabell 35 Beskrivning av de olika områdena i byggnad 358.

Områdesnummer	Namn	Beskrivning
1	Nya PK Verkstaden	Området utgörs till största delen av en produktionsanläggning för kretskort. Kretskorten tillverkas i 7 olika produktionslinjer.
2	A Verkstaden	I verkstaden sker tillverkning av kraftmätningssutrustning.
3	Förråd, Norra Delen	I förrådet förvaras diverse materiel.
4	ABB Training Center	Område består av undervisningslokaler där ABB:s kunder får lära sig att hantera automationssystemen.
5	EMC	Område innehåller en testanläggning för elektromagnetisk strålning.
6	PS Verkstaden	I verkstaden monteras de slutliga automationsprodukterna ihop.
7	P Kontoret	Området är ett kontor
8	PK Verkstaden	I området sker tillverkning av kretskort i 4 olika produktionslinjer.

Förutom ny information angående kostnader för brandskador m.m. har det tillkommit ny information om antalet bränder i byggnaden. Tidigare har hänsyn tagits till bränder under 1996 och 1997, men nu finns även information om 1998. 1998 var ett lyckosamt år för ABB Automation Products eftersom inga bränder uppstod. Denna information används för att

uppdatera brandfrekvensen som skattades för byggnaden i den förra analysen. Uppdateringen utförs på samma sätt som i den förra rapporten, d.v.s. med hjälp av Bayes sats. I Figur 37 illustreras osäkerheten i brandfrekvensen efter att uppdateringen med 1998 års brandstatistik utförts.



Figur 37 Osäkerheten i brandfrekvensen (λ) efter hänsyn till tillbudsstatistik från 1996, 1997 samt 1998.

Brandfrekvensen ändras inte speciellt mycket efter 1998 års statistik, vilket tyder på att informationen i tillbudsstatistiken från 1998 var ungefär vad som kunde väntas med den skattning av brandfrekvensen som gällde 1997. Inte heller medelvärdet av fördelningen för brandfrekvensen skiljer sig speciellt mycket efter att hänsyn till tillbudsstatistiken från 1998 tagits. Skattningarna av brandfrekvensen och standardavvikelsens storlek för brandfrekvensen redovisas i Tabell 36. Där framgår att standardavvikelsen minskar (osäkerheten minskar) allt eftersom mer information angående bränderna i byggnaden erhålls.

Tabell 36 Skattning av brandfrekvens och standardavvikelse.

Skattningstillfälle	Brandfrekvens (per år)	Standardavvikelse (per år)
Innan hänsyn till tillbudsstatistik	0,7	0,2
Efter 1997	0,82	0,178
Efter 1998	0,79	0,176

Den deterministiska analysen utförs genom att alla variabler tilldelas det mest sannolika värdet, d.v.s. man tar ingen hänsyn till osäkerheter i variablerna. Detta tillvägagångssätt resulterar i en analys som påminner väldigt mycket om den som tidigare utförts i byggnad 358. Ingen större genomgång av metoden kommer att ges i denna rapport eftersom detta redan beskrivits i Johansson (1999b).

Analysens huvuddel består av ett händelsetråd, i vilket en beskrivning presenteras av olika möjliga brandscenarier, givet brand. Sannolikheten för att ett visst brandscenario skall inträffa, givet brand, kan beräknas genom att man multiplicerar sannolikheterna för de olika händelserna som beskriver brandscenariet. Exempelvis kan man beräkna sannolikheten för ett brandförlopp där sprinklersystemet inte fungerar och personalen inte släcker men där räddningstjänsten släcker genom att man multiplicerar sannolikheten för att sprinklern inte

fungerar med sannolikheten att personalen inte släcker (givet att sprinklersystemet inte släckt) och sannolikheten att räddningstjänsten släcker (givet de övriga förutsättningarna).

Tabell 37 Skattningar av parametrar som påverkar skadekostnaderna samt skadekostnader beroende på brand. Gråmarkerade områden (med kursiv text) visar parametrar som används vid beräkningen av avbrottskostnaden. Enheten är tkr förutom i de gråmarkerade områdena.

		Min	Grund	Max	Kod
Egendomskostnad vid liten brand		5	20	50	K1 _{ABB}
Egendomskostnad vid medelstor/stor brand som släcks av personalen eller sprinklersystemet		50	100	150	K2 _{ABB}
Område 1 Nya PK Verkstaden	<i>Avbrottstid vid medelstor brand</i>	<i>0,25 mån</i>	<i>0,5 mån</i>	<i>1 mån</i>	
	<i>Avbrottstid vid en stor brand</i>	<i>9,6 mån</i>	<i>12 mån</i>	<i>14,4 mån</i>	
	<i>Täckningsbidragsförlust</i>	<i>144000 tkr/år</i>	<i>160000 tkr/år</i>	<i>176000 tkr/år</i>	
	Avbrottskostnad, medelstor brand	3333	6667	13333	K3 _{ABB}
	Egendomskostnad, medelstor brand	2000	4000	6000	
	Avbrottskostnad, stor brand	115200	160000	211200	K4 _{ABB}
	Egendomskostnad, stor brand	144000	160000	176000	
Område 2 A Verkstaden	<i>Avbrottstid, medelstor brand</i>	<i>0,1 mån</i>	<i>0,3 mån</i>	<i>0,5 mån</i>	
	<i>Avbrottstid, en stor brand</i>	<i>8,4 mån</i>	<i>12 mån</i>	<i>15,6 mån</i>	
	<i>Täckningsbidragsförlust</i>	<i>171000 tkr/år</i>	<i>190000 tkr/år</i>	<i>209000 tkr/år</i>	
	Avbrottskostnad, medelstor brand	1425	4750	8708	K5 _{ABB}
	Egendomskostnad, medelstor brand	5000	10240	12000	
	Avbrottskostnad, stor brand	119700	190000	271700	K6 _{ABB}
	Egendomskostnad, stor brand	108000	120000	132000	
Område 3 Förråd	Egendomskostnad, medelstor brand	50	100	200	K7 _{ABB}
	Egendomskostnad, stor brand	4000	5000	6000	K8 _{ABB}
Område 4 Training Center	Egendomskostnad, medelstor brand	100	200	500	K9 _{ABB}
	Egendomskostnad, stor brand	10400	13000	15600	K10 _{ABB}
Område 5 EMC	Egendomskostnad, medelstor brand	200	400	600	K11 _{ABB}
	Egendomskostnad, stor brand	16200	18000	19800	K12 _{ABB}
Område 6 PS Verkstaden	<i>Avbrottstid, medelstor brand</i>	<i>0,1 mån</i>	<i>0,3 mån</i>	<i>0,5 mån</i>	
	<i>Avbrottstid, en stor brand</i>	<i>4,8 mån</i>	<i>6 mån</i>	<i>7,2 mån</i>	
	<i>Täckningsbidragsförlust</i>	<i>148500 tkr/år</i>	<i>165000 tkr/år</i>	<i>181500 tkr/år</i>	
	Avbrottskostnad, medelstor brand	1238	4125	7562	K13 _{ABB}
	Egendomskostnad, medelstor brand	500	1000	10000	
	Avbrottskostnad, stor brand	59400	82500	108900	K14 _{ABB}
	Egendomskostnad, stor brand	120000	150000	180000	
Område 7 P Kontoret	Egendomskostnad, medelstor brand	200	400	600	K15 _{ABB}
	Egendomskostnad, stor brand	36000	40000	44000	K16 _{ABB}
Område 8 PK Verkstaden	<i>Avbrottstid, medelstor brand</i>	<i>0,3 mån</i>	<i>0,6 mån</i>	<i>1 mån</i>	
	<i>Avbrottstid, en stor brand</i>	<i>9,6 mån</i>	<i>12 mån</i>	<i>14,4 mån</i>	
	<i>Täckningsbidragsförlust</i>	<i>225000 tkr/år</i>	<i>250000 tkr/år</i>	<i>275000 tkr/år</i>	
	Avbrottskostnad, medelstor brand	5625	12500	22916	K17 _{ABB}
	Egendomskostnad, medelstor brand	2500	5800	15000	
	Avbrottskostnad, stor brand	180000	250000	330000	K18 _{ABB}
	Egendomskostnad, stor brand	225000	250000	275000	

Det händelsetråd som använts är mycket stort och presenteras uppdelat på de olika områdena i bilaga 4. De värden som har använts för de olika parametrarna presenteras i händelseträdet, men också i nästa avsnitt (känslighetsanalys) och i bilaga 1. I tabeller som innehåller värden som är beskrivna som "Min", "Grund" och "Max" innebär "Grund" den skattning som används i den deterministiska analysen (mest sannolika värdet). "Min" och "Max" är de värden som parametern justeras till då känslighetsanalysen utförs.

Hur skattningen av de olika parametrarna har gått till framgår i många fall i den föregående rapporten om Byggnad 358, och då dessa skattningar har justerats har detta gjorts subjektivt av författaren i samband med ny information. Som vägledning vid subjektiva skattningar har bland annat undersökningen som presenterats i kapitel 3 använts.

Då det gäller kostnaderna vid totalskador (helt förstörda brandceller) har informationen väsentligt förbättrats sedan förra rapporten genom mer detaljerad information om egendoms-kostnader och avbrottskostnader (täckningsbidragsförluster) för de olika områdena. Dessa nya uppgifter sammanfattas tillsammans med de bedömda osäkerheterna i Tabell 37.

Tillsammans ger händelseträdet, algoritmen för spridning av brand (bilaga 3), samt den mest sannolika brandfrekvensen en förväntad årlig skadekostnad för byggnad 358 som är ca **290 tkr/år**. Det bör återigen påpekas att detta värde är den förväntade *summan* av egendoms- och avbrottskostnader per år med hänsyn tagen till självrisk. Den faktiska skadan under ett år kan uppgå till allt från 0 tkr till en maximal skada, men under en *längre tidsperiod* skattas *medelvärde*t av skadekostnaden per år till 290 tkr.

En stor anledning till varför resultatet skiljer sig mycket från beräkningen som gjordes under fas 1 av projektet (då skattades den förväntade skadekostnaden för försäkringsbolaget till 98 tkr/år) är de förbättrade skattningarna av skadekostnaderna. I många fall innebär detta att kostnaderna i den första rapporten är upp till tre gånger så små som de som redovisas i denna rapport (till exempel i Nya PK Verkstaden). Den undersökning som nu genomförts bör betraktas som mer representativ för byggnaden än den första och denna skattning är dessutom kompletterad med ett osäkerhetsintervall som beskriver hur osäker skattningen bedöms vara. Hur dessa osäkerheter påverkar resultatet (den förväntade skadekostnaden) kommer att undersökas noggrannare i följande avsnitt.

4.2.2. Känslighetsanalys

Vid känslighetsanalysen skall de osäkra parametrar vars variation endast har liten effekt på slutresultatet identifieras. Då identifieringen av dessa parametrar har skett kan dessa tas bort ur den fortsatta osäkerhetsanalysen, vilket medför att analysen blir praktiskt enklare att genomföra.

De parametrar som bedömts som osäkra i analysen av ABB Automation Products redovisas i detta avsnitt (Tabell 38 och Tabell 39), men det största antalet parametrar redovisas i bilaga 1. I tabellerna redovisas uppskattade största och minsta värden som parametrarna kan anta, samt det mest sannolika värdet. Den kod som varje parameter är försedd med är till för att man lättare skall kunna tolka resultatet i tornadodiagrammen.

Generella osäkra parametrar

I analysen finns en del parametrar som påverkar alla områden i byggnaden, och därför redovisas dessa separat i detta avsnittet. De parametrar som avses är brandfrekvensen i byggnaden, brandfördelningen mellan de olika områdena, sprinklersystemets funktions-sannolikhet och brandlarmets funktionssannolikhet. Både sprinklersystemets funktions-sannolikhet och brandlarmets funktionssannolikhet är parametrar som undersökts i ett större antal generella undersökningar (se till exempel redovisning i Johansson, 1998). Dessa undersökningar i kombination med besiktningen av de aktuella systemen gör att funktions-sannolikheten för systemen bedöms vara större än 90%.

Brandfrekvensen har undersökts noggrant i tidigare rapporter (Johansson, 1999b) och dessutom har parametern skattats som en sannolikhetsfördelning. Intervallet inom vilket parametern varierar i känslighetsanalysen är detsamma som sannolikhetsfördelningens approximativa konfidensintervall med konfidensgraden 0,95 (se Figur 37).

En sammanfattning av skattningen av osäkerhetsintervallet för brandfrekvensen, sprinkler-systemets funktionssannolikhet samt brandlarmets funktionssannolikhet redovisas i Tabell 38.

Tabell 38 Redovisning av osäkra parametrar i analysen av ABB Automation Products.

	Min	Grund	Max	Kod
Brandfrekvensen i byggnaden	0,45	0,79	1,15	P1 _{ABB}
Sprinklersystemets funktionssannolikhet	0,94	0,96	0,98	P2 _{ABB}
Brandlarmets funktionssannolikhet	0,9	0,98	0,99	P3 _{ABB}

Dessa tre parametrar ger vid variation mellan grundvärdet och de två gränserna upphov till variation i den förväntade skadekostnaden. I detta avsnitt redovisas endast resultatet (variationen i förväntad skadekostnad) för de parametrar som kan orsaka en variation som är större än 10% i slutresultatet. Denna redovisning sker i Figur 38. I bilaga 1 finns en fullständig redovisning av samtliga parametrar, deras skattade grundvärden samt osäkerhetsintervall. Dessutom finns tornadodiagram som visar resterande parametrar (som kan påverka slutresultatet mer än 1%) redovisade i bilaga 1.

Brandfördelning

Känslighetsanalysen av brandfördelningen skiljer sig något åt från analysen av de andra parametrarna. Detta beror på att brandfördelningen har fler utfall än två, d.v.s. branden kan uppstå i fler än två områden. De övriga sannolikheterna har i regel bara två utfall (till exempel "Sprinkler fungerar" eller "Sprinkler fungerar inte"), vilket gör att man inte behöver vidta några speciella åtgärder då sannolikheten skall varieras. Då flera olika utfall är möjliga kan en känslighetsanalys av sannolikheten att branden börjar i A Verkstaden till exempel innebära att sannolikheten att branden börjar i PK Verkstaden justeras för att kompensera (summan av sannolikheterna måste vara 1) förändringen, eller att någon annan sannolikhet justeras. Man måste alltså välja ett sätt att justera de övriga sannolikheterna då känslighetsanalys utförs på en specifik sannolikhet. Det mest logiska sättet att justera anses vara att låta de övriga parametrarna behålla sina inbördes förhållanden och enbart justera deras absoluta värden. Detta är också det sätt som använts vid känslighetsanalysen av dessa parametrar. De uppskattade största och minsta värdena för dessa parametrar presenteras i Tabell 39.

Tabell 39 Osäkerheter i fördelningen av bränder i byggnaden.

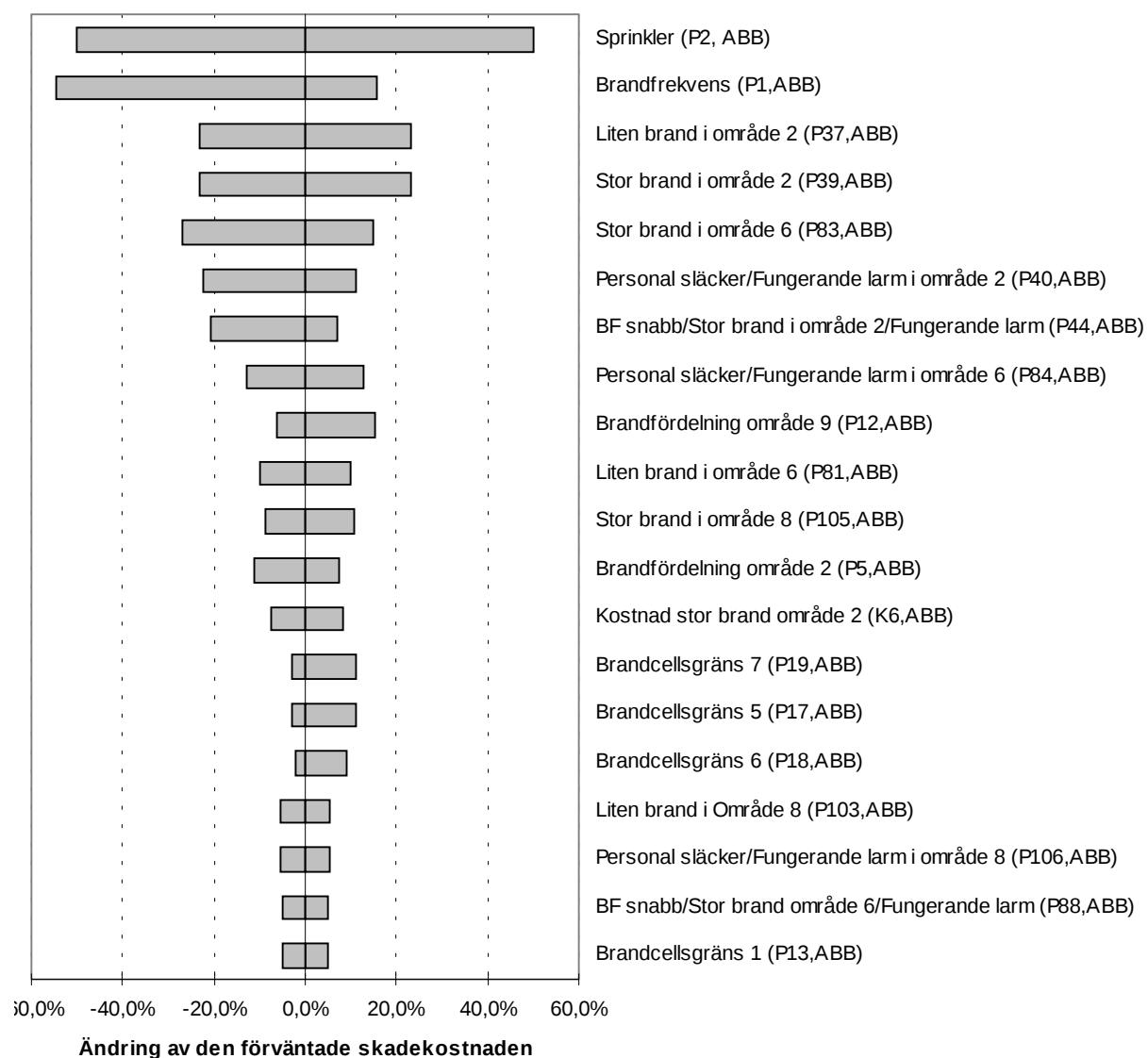
Område	Min	Medel	Max	Kod
Nya PK Verkstaden	0,04	0,061	0,08	P4 _{ABB}
A Verkstaden	0,15	0,24	0,30	P5 _{ABB}
Förråd, Norra Delen	0,01	0,017	0,03	P6 _{ABB}
ABB Training Center	0,001	0,005	0,01	P7 _{ABB}
EMC	0,001	0,009	0,02	P8 _{ABB}
PS Verkstaden	0,15	0,197	0,25	P9 _{ABB}
P Kontoret	0,002	0,004	0,008	P10 _{ABB}
PK Verkstaden	0,10	0,161	0,20	P11 _{ABB}
Övriga Delar	0,20	0,306	0,35	P12 _{ABB}

Resultatet från variationen av alla de i detta avsnittet och bilaga 1 redovisade parametrarna presenteras som tornadodiagram, vilka visar de olika parametrarnas inverkan på osäkerheten i slutresultatet. I detta avsnitt presenteras endast tornadodiagrammet som visar de parametrar som påverkar slutresultatet med mer än 10%. Resterande resultat finns redovisade i bilaga 1.

Resultat

De parametrar som har potential att påverka den förväntade skadekostnaden med mer än 10% redovisas i Figur 38. I figuren är samtliga parametrar sannolikheter, förutom då det står kostnad (till exempel Kostnad stor brand område 6). Varje parameter åtföljs av en parentes där parametrarnas kod står skriven. Koden finns redovisad för att det skall vara lättare att identifiera parametrarna i bilaga 1, där deras osäkerhetsintervall finns redovisade.

I figuren ser man att funktionssannolikheten för sprinklersystemet är den parameter som kan påverka den förväntade skadekostnaden mest. Denna parameter kan ändra den förväntade skadekostnaden med ca 50% både uppåt och nedåt.



Figur 38 Tornadodiagram som visar effekten av de parametrar som påverkar den förväntade skadekostnaden med mer än 10% (totalt).

Värt att notera i figuren är också att osäkerheterna i skadekostnaderna inte påverkar resultatet speciellt mycket. Först på trettonde plats kommer den första kostnadsparametern, och denna påverkar endast den förväntade skadekostnaden med ca 16% (i jämförelse med sprinkler-systemets funktionssannolikhet som påverkar nästan 100%).

4.2.3. Osäkerhetsanalys

Efter den genomförda känslighetsanalysen framgår vilka parametrar som har en dominerande effekt på resultatet (den förväntade skadekostnaden). De parametrar som kan påverka resultatet med mer än 10% redovisas i Figur 38. Av dessa är det endast ett tiotal som kan påverka resultatet med mer än 10% i en riktning (uppåt eller nedåt).

En rimlig gräns för vilka parametrar som skall vara med i osäkerhetsanalysen anses vara de parametrar som kan påverka resultatet mer än 20% (totalt); detta kriterium ger att följande parametrar tas med i osäkerhetsanalysen:

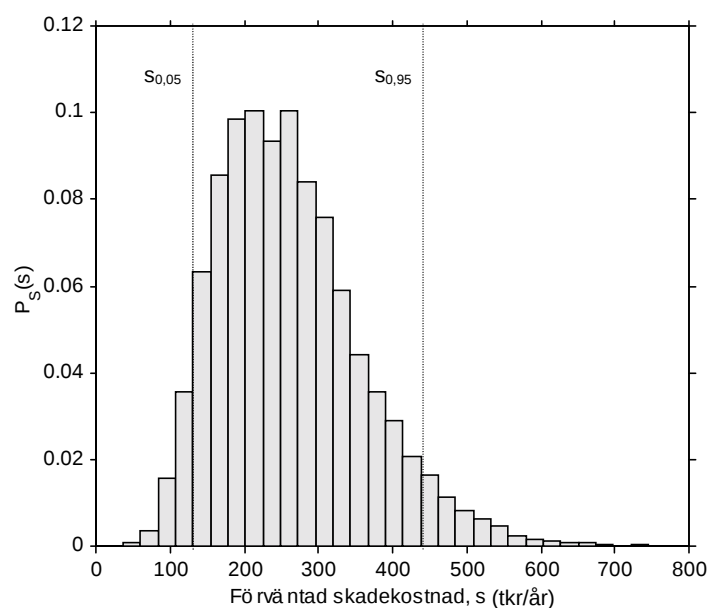
- ❑ Funktionssannolikheten för sprinklersystemet ($P2_{ABB}$)
- ❑ Brandfrekvensen ($P1_{ABB}$)
- ❑ Brandfördelningen i område 6 ($P81_{ABB}$, $P82_{ABB}$, $P83_{ABB}$)
- ❑ Brandfördelningen i område 2 ($P37_{ABB}$, $P38_{ABB}$, $P39_{ABB}$)
- ❑ Sannolikheten att personalen släcker branden givet brand i område 6 och fungerande larm ($P84_{ABB}$)
- ❑ Sannolikheten att personalen släcker branden givet brand i område 2 och fungerande larm ($P40_{ABB}$)
- ❑ Sannolikheten att räddningstjänsten gör en snabb insats givet stor brand i område 2, samt fungerande brandlarm ($P44_{ABB}$)
- ❑ Sannolikheten för brand i område 9 givet brand i byggnaden ($P105_{ABB}$)

Då brandfördelningen i område 2 och 6 behandlas varierar endast sannolikheten för stor brand. De övriga två sannolikheterna (för liten brand och medelstor brand) antas ha samma inbördes förhållande som i den deterministiska analysen. Deras absoluta värden justeras så att summan av de tre sannolikheterna blir 1. Anledningen till att inte även dessa sannolikheter varierar i analysen är dels att analysen blir svårare att praktiskt genomföra, Dels att det är sannolikheten för en stor brand som påverkar resultatet mest. I den inledande känslighetsanalysen konstaterades dock att sannolikheten för liten brand i område 2 och 6 hade stor betydelse för resultatet ($P37_{ABB}$ och $P81_{ABB}$), men detta berodde på att sannolikheten för stor brand påverkades indirekt av ändringen i sannolikheten för den lilla branden.

Osäkerhetsanalysen utfördes genom simulering av de osäkra parametrarnas påverkan på den förväntade skadekostnaden. Tekniken som användes var Monte Carlo-simulering (se avsnitt 2.3), och antalet simuleringar var 10000. Resultatet från simuleringen blev en fördelning för den förväntade skadekostnaden, som illustreras i Figur 39.

I Figur 39 finns 5%- respektive 95%-kvantilerna markerade. Dessa två gränser markerar i vilket område den förväntade skadekostnaden beräknats till i 90% av Monte Carlo-simuleringarna. 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 som är **260 tkr/år**.

Att osäkerheterna i de olika parametrarna som ingår i modellen har så stor påverkan på slutresultatet att den förväntade skadekostnaden enligt skattningarna med ungefär 90% sannolikhet bedöms vara mellan 130 tkr/år och 440 tkr/år innebär naturligtvis svårigheter då man vill skapa *absoluta* kriterier för risker i en industri.



Figur 39 Resultatet från Monte Carlo simuleringen. Fördelningen beskriver variationen i den förväntade skadekostnaden orsakad av osäkerheter i de ingående parametrarna. I figuren visas också 5%-, respektive 95%-kvantilerna.

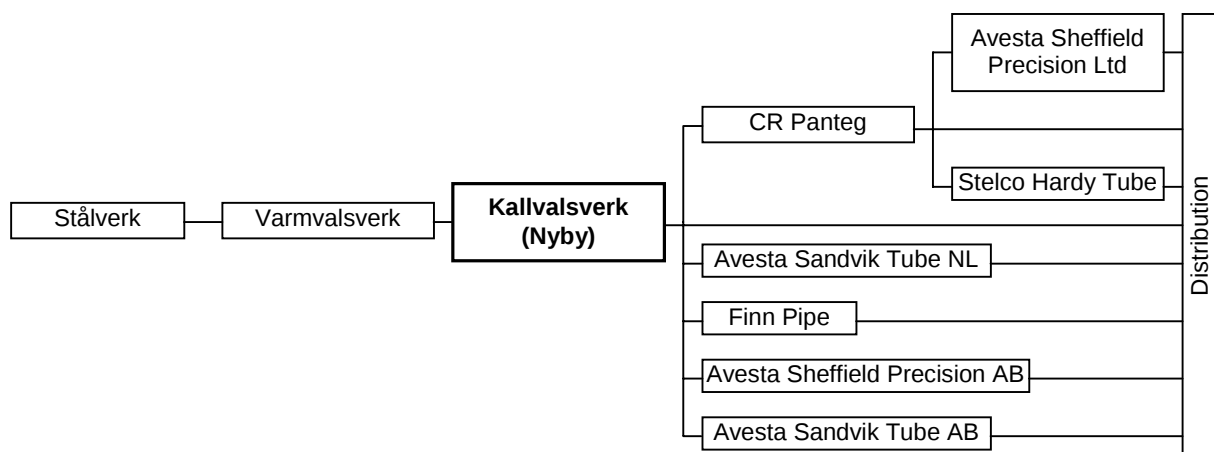
Även om det förmodligen kommer att bli svårt att skapa *absoluta* riskkriterier, innebär inte detta att metoden inte kan användas för jämförande ändamål. Med detta avses till exempel att jämföra riskernas utveckling över ett antal år (då jämförs åren sinsemellan) eller riskerna i olika brandtekniska utformningsalternativ. Vid denna typ av analyser kommer en stor del av osäkerheterna att kunna reduceras, men detta ligger utanför ramarna för denna rapport och kommer att behandlas i nästa rapport som handlar om beslutsfattande angående brandskydd.

4.3. Avesta Sheffield

Avesta Sheffield's kallvalsverk i Nyby analyserades liksom ABB Automation Products verksamhet i byggnad 358 under fas 1 av projektet. I denna rapport presenteras en förnyad analys samt osäkerhetsanalys av kallvalsverket. Inga verksamhetsförändringar med stora inverkningar på resultatet har skett sedan förra analysen, men däremot har en bättre undersökning av de egendoms- och avbrottskostnader som kan uppstå vid en brand genomförts.

Kallvalsverket erhåller varmvalsad plåt från ett steckelverk inom koncernen. I kallvalsverket valsas och skärs plåten för att passa till olika ändamål, vilket innebär att den tilldelas olika egenskaper och kvaliteter. Efter bearbetning i kallvalsverket levereras den behandlade plåten till andra enheter inom koncernen eller säljs direkt. Den största delen av verkets produkter levereras till distribution medan cirka en tredjedel förädlas vidare. Under både 1998 och 1999 har kallvalsverkets årsproduktion av bearbetat stål varit ungefär 160.000 ton. Detta värde har använts vid beräkning av avbrottskostnader vid produktionsstopp i verket. Genom att använda täckningsbidraget per ton producerad produkt kan man beräkna täckningsbidragsförlusten för ett års avbrott. Eftersom även vissa andra anläggningar inom Avesta Sheffield-koncernen berörs av ett avbrott i kallvalsverket måste också deras täckningsbidragsförluster adderas till avbrottskostnaden. De anläggningar (och företag) som påverkas av ett avbrott i kallvalsverket kan ses i Figur 40.

Kallvalsverket levererar inte lika mycket till de olika enheterna (mest går till försäljning), och med hänsyn taget till detta och det förväntade spillet kommer täckningsbidragsförlusten för Avesta Sheffield-koncernen att vara cirka 1.120.000 tkr/år då kallvalsverket drabbas av avbrott. Beräkningen av denna täckningsbidragsförlust utförs med hjälp av information angående de olika enheternas täckningsbidrag *per ton*. Genom att man tar reda på hur stor mängd av de årliga 160.000 ton från kallvalsverket som används i de övriga enheterna kan man också beräkna täckningsbidragsförlusten per enhet p.g.a. ett produktionsavbrott i kallvalsverket. Observera att även stålverk och varmvalsverket påverkas av avbrott, och alltså räknas även deras täckningsbidragsförluster in.



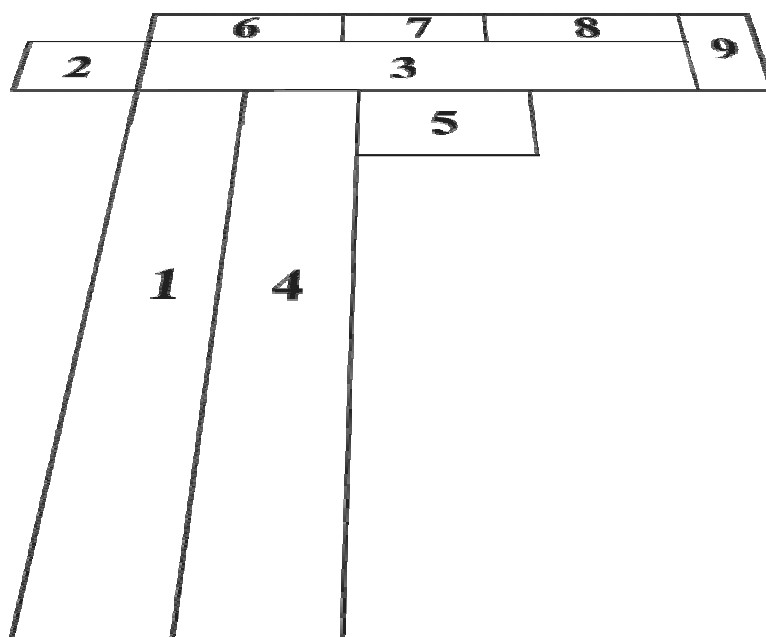
Figur 40 Materialflöde inom Avesta Sheffield-koncernen som påverkas av ett produktionsstopp i kallvalsverket.

Osäkerhetsanalysen som berör Avesta Sheffield's kallvalsverk i Nyby utfördes på samma sätt som analysen av ABB Automation Products verksamhet. Detta innebar att man först identifierade de parametrar som påverkar slutresultatet (förväntad skadekostnad) och därefter bedömde deras osäkerhetsintervall. Med hjälp av en känslighetsanalys identifieras sedan de

parametrar som har störst inverkan på resultatet, och dessa parametrar används sedan i den avslutande osäkerhetsanalysen.

4.3.1. Deterministisk analys

Målet med den deterministiska analysen är att skatta en förväntad skadekostnad på samma sätt som under fas 1 av detta projekt. Skillnaden mellan den förra analysen och denna är att bättre underlag för kostnadsskattningar och sannolikhetsskattningar finns att tillgå; i övrigt är metoden densamma.



Figur 41 Skiss över de olika områdena i kallvalsverket.

I inledningen till detta avsnitt (4.3) förklarades hur täckningsbidragsförlusten vid produktionsavbrott i kallvalsverket beräknades. Denna beräkning grundade sig på att hela kallvalsverket förstördes, men om bara vissa delar förstörs kommer täckningsbidragsförlusten att vara annorlunda. För att göra denna beräkning för de olika enheterna i verket måste en modell över byggnaden och även materialflödet användas. En skiss över byggnaden (indelat i områden efter brandteknisk konstruktion) visas i Figur 41, och materialflödet visas i Figur 42. I Tabell 40 finns också en kort beskrivning av verksamheten i de olika områdena i kallvalsverket.

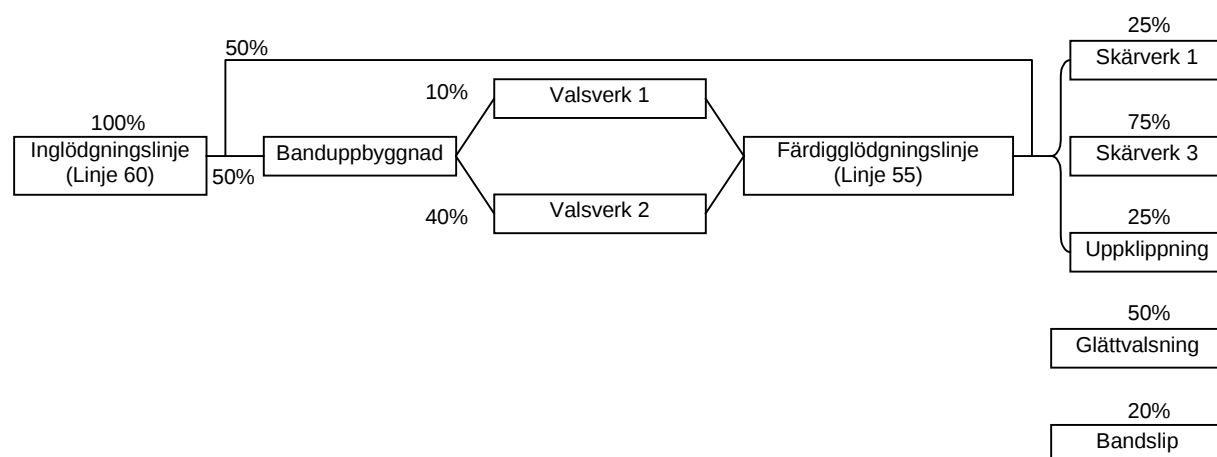
Tabell 40 Kort beskrivning av verksamheten i de olika områdena i kallvalsverket.

Område	Verksamhet
1, Uppklippning	Materialet skärs och klipps till rätta dimensioner. Dessutom sker viss ytbehandling i glättvalsens.
2, Skärverk 3	Skärverk 3 skär materialet i önskade dimensioner. Detta skärverk är modernare och mer automatiserat än skärverk 1 i område 1.
3, Valsverk 1 och 2	Materialet valsas i två stycken reversibla kallvalsverk. Valsverk 2 är mycket modernt, medan valsverk 1 är något äldre.
4, Linje 55 och 60	I denna del av verket sker värmebehandling av varmvalsade band så att bearbetningen i kallvalsarna blir lättare (linje 60). Dessutom sker färdigglödning av materialet som kommer från kallvalsarna (linje 55).
5, Bandslipen	I bandslipen sker slipning av materialets yta. Endast material med speciella krav på ytan genomgår bandslipen.
6, Motorrum 1	Motorer och kontrollsystem.
7, Valsslip 1	Här servas valsarna som används i valsverken. Detta är en mindre verkstad.
8, Motorrum 2	Motorer och kontrollsystem.
9, Valsslip 2	Här servas valsarna som används i valsverken. Detta är en mindre verkstad.

När varmbanden (utgångsmaterialet för produktionen) kommer till kallvalsverket genomgår de först linje 60 i vilket materialet bland annat värmebehandlas och kallstickvalsas. Efter att materialet genomgått linje 60 är det färdigbehandlat för att ingå i vissa produkter, och en del av materialet skickas då för uppklippning och skärning. I skärverken skärs de stora banden upp i mindre bredder enligt kundens önskemål. Därefter förpackas och levereras de. I uppklippningen kantskärs, planas och klipps det material som skall levereras som plåtar.

Det material som skall förädlas vidare efter linje 60 skickas till banduppbyggnaden för att göras färdigt för valsning i antingen valsverk 1 eller 2. Valsverk 2 har störst kapacitet och valsar cirka 40% av allt material som behandlas i verket. Efter valsningen skickas materialet till färdigglödninglinjen (linje 55) där det bearbetas ytterligare.

Glättvalsning och bandslipning av materialet sker då speciella önskemål angående ytan på materialet finns. Som illustreras i Figur 42 påverkar inte dessa två enheter något specifikt materialflöde i verket utan där bearbetas ca 50 respektive 20 procent av allt material i verket.



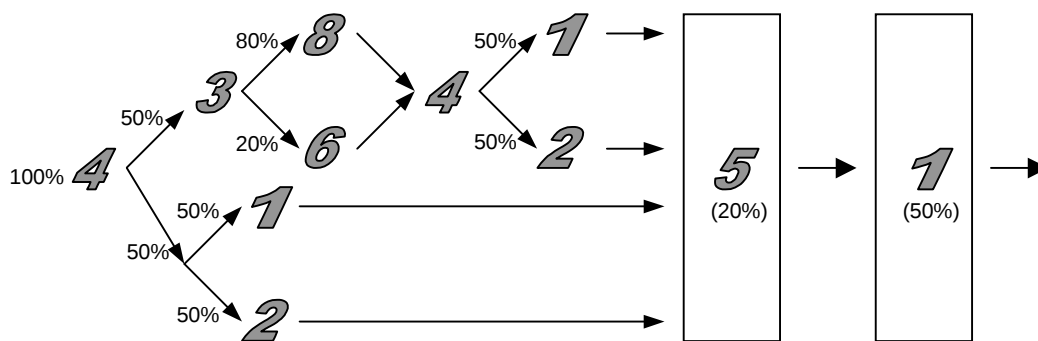
Figur 42 Skiss över materialflödet i kallvalsverket. Procentsatserna visar hur stor del av den totala producerade volymen som passerar den aktuella enheten.

Som illustreras i Figur 42 är linje 60 (inglödgningslinjen) en kritisk sektion i bemärkelsen att hela verket stannar om den, eller någon del i den, slås ut. Om Figur 42 används för att beräkna andelen av den totala produktionen som försvinner då de olika områdena förstörs erhålls Tabell 41.

Tabell 41 Andel av den totala produktionen som slås ut då aktuellt område förstörs.

Område	Andel utslagen produktion
1, Uppklippning	50%
2, Skärverk 3	75%
3, Valsverk 1 och 3	50%
4, Linje 55 och 60	100%
5, Bandslipen	20%
6, Motorrum, valsverk 1	10%
7, Valsslip 1	-
8, Motorrum, valsverk 3	40%
9, Valsslip 2	-

Eftersom summan av procentsatserna i Tabell 41 inte är 100% går det inte att summera dessa andelar då flera områden förstörs. Detta orsakar problem då avbrottskostnaden för olika brandutbredningar skall beräknas. Exempelvis är den totala andelen utslagen produktionskapacitet inte 60% då område 3 och område 6 förstörs, utan den är endast 50%. Detta beror på att de båda områdena påverkar samma materialflöde inom byggnaden. För att lösa detta beräkningsproblem har algoritmen (*abbsprida.m* i bilaga 3) som användes för att beräkna den förväntade skadekostnaden i ABB:s byggnad modifierats så att den även klarar att ta hänsyn till olika materialflöden inom byggnaden. Den förnyade algoritmen heter *avestasprida.m* och redovisas i bilaga 3. Som hjälp för att förstå beräkningarna används materialflödesskissen *per område*, som visas i Figur 43.



Figur 43 Materialflöde fördelat på områden i kallvalsverket. De stora siffrorna symboliserar olika områden i byggnaden.

I figuren ser man att 100% av materialet som kommer in i verket passerar område 4, varefter 50% skickas till område 1 eller 2 för skärning eller uppklippning, och därefter är detta material färdigt. Det övriga materialet skickas från område 4 till område 3 där det monteras på bandrullar och valsas i antingen valsverk 1 eller 2 (vars motorrum är placerade i område 6 och 8). Materialet förs sedan tillbaka till område 4 där det genomgår ytterligare behandling i linje 55, för att sedan skickas till skärning eller uppklippning i område 1 eller 2. Materialet kan också genomgå slipning i område 5 (bandslipen) eller glättvalsas i område 1, men detta görs inte för allt material; endast ca 20% slipas, och ca 50% glättvalsas. För att beräkna andelen av produktionen som försvinner då olika kombinationer av områden förstörs använder man Figur 43 som i sin tur ger resultaten i Tabell 42.

Tabell 42 visar sex möjliga produktionsvägar genom verket (en rad motsvarar en produktionsväg). Den sista kolumnen, "Summa", visar andelen av det totala materialflödet som just detta specifika materialflöde står för. "Summa"-kolumnen får man genom att multiplicera de faktorer som återfinns på samma rad under de olika områdena. Faktorena kommer från Figur 43. Vid beräkningen av återstående produktionskapacitet då olika kombinationer av områden förstörts används Tabell 42.

Genom att tilldela de faktorer som hör till de olika förstörda områdena värdet 0 får man nya värden i kolumnen längst till höger. Summan av dessa utgör återstående produktionskapacitet. De funktioner (inom område 5 och 1) som är försedda med ram runt siffrorna i Figur 43 antas påverka 20% respektive 50% av det totala flödet om inte produktionskapaciteten redan är reducerad så mycket. Exempelvis så blir resultatet av att område 5 och 3 slås ut inte att verket har 30% kvarvarande produktionskapacitet utan 50% eftersom område 3 enligt Tabell 42 förstör 50% och eftersom område 5 påverkar 20% av den *totala* mängden antas denna mängd redan ha reducerats bort i och med att område 3 slogs ut. Om däremot enbart område 5 slås ut blir kvarvarande produktionskapacitet 80%, d.v.s. en minskning med 20% har skett. Område 5 redovisas inte i Tabell 42 eftersom det området inte påverkar något specifikt materialflöde i modellen.

Tabell 42 Tabellen som visar beräkningen av den andel av den totala produktionsvolymen som försvinner då ett område förstörs. Då ett område förstörs skall siffran (-orna) i summakolumnen sättas lika med noll på alla rader där det förstörda området har siffror utskrivna. Då erhålls kvarvarande produktionskapacitet som summan i summa kolumnen.

Område 1	Område 2	Område 3	Område 4	Område 5	Område 6	Område 7	Område 8	Område 9	Summa
	0,5	0,5	1				0,8		0,2
0,5		0,5	1				0,8		0,2
	0,5	0,5	1		0,2				0,05
0,5		0,5	1		0,2				0,05
	0,25		1						0,25
0,25			1						0,25

Denna modell för produktionen i verket är givetvis en förenkling, men den anses vara acceptabel i de beräkningsfall som blir aktuella i denna analys.

Modellen som precis beskrivits är en del av algoritmen *avestasprida.m* som redovisas i bilaga 3. Denna algoritm används vid beräkning av den förväntade skadekostnaden givet att en brand blivit så stor att den förstört ett helt område. Om däremot en brand blir begränsad till en maskin (till exempel på grund av att räddningstjänsten släcker den) används de avbrottstider som redovisas i Tabell 43. I denna tabell kan även de uträknade täckningsbidragsförlusterna utläsas. Täckningsbidragsförlusterna är beräknade med hjälp av informationen i Figur 42, samt ett totalt täckningsbidrag för verket på 90.000 tkr per månad ($\approx 1120000/12$). Dessutom behövs skattningar av avbrottstider då en komponent eller område förstörs. Dessa skattningar har utförts av teknisk personal på kallvalsverket och redovisas också i Tabell 43.

I samma tabell (Tabell 43) visas även egendomskostnaderna för de olika komponenterna i anläggningen. De värden som står i kolumnen "Grund" är de värden som använts i den deterministiska analysen (mest sannolika värden), och "Max" samt "Min" används vid känslighetsanalysen.

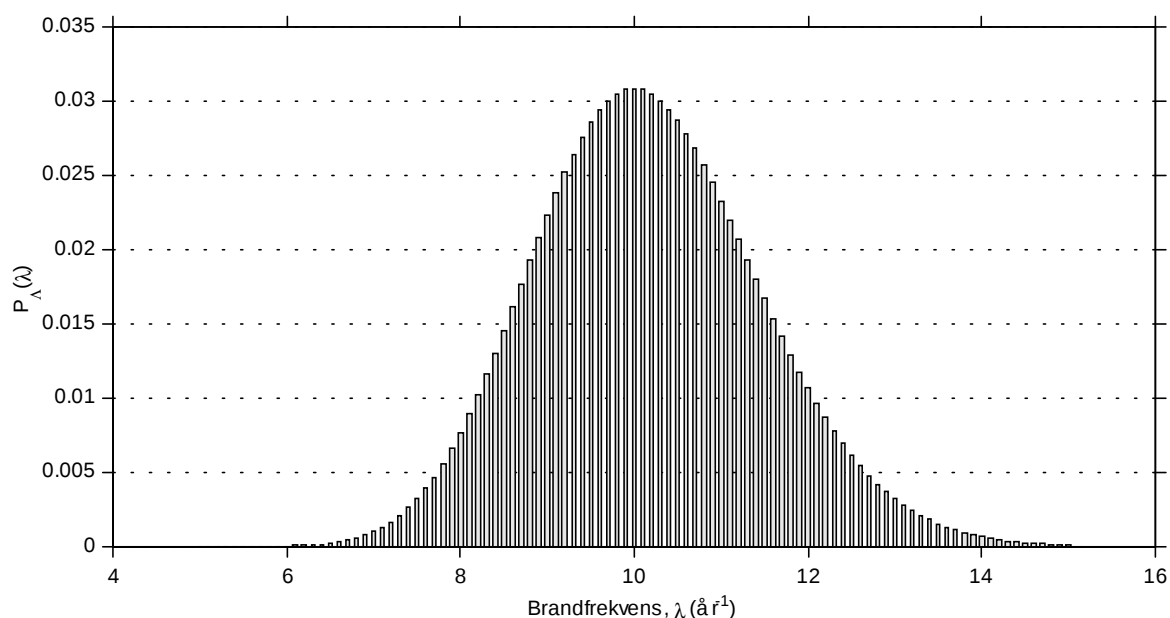
Tabell 43 Kostnader för egendomsskador och avbrott i kallvalsverket. Min- och Max-värdena symboliserar osäkerheten i skattningarna. Grundvärdet används i den deterministiska analysen.

	Egendomsskada (tkr)			Avbrott (månader)		Täckningsbidragsförlust (tkr)			Kod
	Min	Grund	Max	Max	Min	Max	Grund	Min	
Maskin									
Område 1									
Glättvalsverk	100000	125000	150000	18	10	810000	630000	450000	K1 _{Avesta}
Skärverk 1	32000	40000	48000	18	10	405000	315000	225000	K1 _{Avesta}
Uppklippning	60000	75000	90000	18	10	405000	315000	225000	K1 _{Avesta}
Område 2									
Skärverk 3	80000	90000	100000	18	10	810000	630000	450000	K2 _{Avesta}
Område 3									
Valsverk 2	162000	180000	198000	18	10	162000	126000	90000	K3 _{Avesta}
Valsverk 3	225000	250000	275000	18	10	648000	504000	360000	K3 _{Avesta}
Banduppbyggnad	72000	90000	108000	18	10	810000	630000	450000	K3 _{Avesta}
Område 4									
<i>Linje 60</i>									
Avhaspel, svets och sax, m.m.	80000	100000	120000	18	10	1620000	1260000	900000	K4 _{Avesta}
Kallstickverk, Z-high	160000	200000	240000	18	10	1620000	1260000	900000	K4 _{Avesta}
Ugn och kyl	40000	50000	60000	12	6	1080000	810000	540000	K4 _{Avesta}
Blästeranläggning	32000	40000	48000	18	10	1620000	1260000	900000	K4 _{Avesta}
Syrabetningsanläggning	40000	50000	60000	18	10	1620000	1260000	900000	K4 _{Avesta}
Sträckningsanläggning	40000	50000	60000	18	10	1620000	1260000	900000	K4 _{Avesta}
Bandmagasin, sax och påhaspel	80000	100000	120000	18	10	1620000	1260000	900000	K4 _{Avesta}
Övrigt (filter, elrum m.m.)	88000	110000	132000	18	10	1620000	1260000	900000	K4 _{Avesta}
<i>Linje 55</i>									
Avhaspel svets och sax m.m.	80000	100000	120000	18	10	810000	630000	450000	K4 _{Avesta}
Ugn och kylning	56000	70000	84000	12	6	540000	405000	270000	K4 _{Avesta}
Neolytbetning och borstning	56000	70000	84000	18	10	810000	630000	450000	K4 _{Avesta}
Syrabetning spolning och tork	56000	70000	84000	18	10	810000	630000	450000	K4 _{Avesta}
Bandmagasin, sax och påhaspel	80000	100000	120000	18	10	810000	630000	450000	K4 _{Avesta}
Område 5									
Bandslipen	120000	150000	180000	18	10	324000	252000	180000	K5 _{Avesta}
Område 6, Motorrum valsverk 2	56000	70000	84000	18	10	162000	126000	90000	K6 _{Avesta}
Område 7, Valsslip 1	24000	30000	36000	12	6	0	0	0	K7 _{Avesta}
Område 8, Motorrum valsverk 3	80000	100000	120000	18	10	648000	504000	360000	K8 _{Avesta}
Område 9, Valsslip 2	24000	30000	36000	12	6	0	0	0	K9 _{Avesta}

Vid beräkning av den förväntade skadekostnaden under ett år behövs förutom de kostnader som redovisats även en skattning av hur ofta det kan tänkas brinna i anläggningen. Brandfrekvensen erhöles i förra rapporten genom att en subjektiv skattning med hjälp av generella uttryck för brandfrekvensen användes. Denna subjektiva skattning uppdaterades sedan med hjälp av insatsstatistik från anläggningen. I efterhand har det visat sig att det generella uttrycket som användes och som gav resultatet 0,4 bränder per år inte passar i kallvalsverkets lokaler. Detta beror på att antalet bränder sedan 1993 varit 60 stycken; det har alltså i medeltal uppstått 10 bränder per år. Att brandfrekvensen skulle vara 0,4 bränder per år givet 60 bränder under en sexårsperiod är mycket osannolikt, vilket stöder slutsatsen att det generella uttrycket inte kan användas för kallvalsverket. Vad detta kan bero på har inte undersökts noggrannare, men det skulle kunna tänkas att det generella uttrycket inte kan användas då maskiner som ofta orsakar brandtillbud finns i byggnaden. Konsekvensen av detta blir att skattningen av brandfrekvensen får göras om, och denna gång kommer ingen subjektiv skattning att användas.

För att nå fram till en posteriori-fördelning som kan ge den bayesianska skattningen av brandfrekvensen (se avsnitt 2.2) används en så kallad *non-informative prior*² (icke informativ apriori-fördelning) som apriori-fördelning. En icke informativ apriori-fördelning är en likformig fördelning, d.v.s. den ger att alla värden inom det intervall som valts är lika sannolika (om fördelningen är diskret). Som apriori-fördelning i detta fall utses en likformig fördelning mellan 0,1 och 40 bränder per år. Den diskreta apriori-fördelningen är uppdelad i steg om 0,1 bränder per år, d.v.s. brandfrekvensen kan vara 0,1, 0,2, 0,3, o.s.v. Denna fördelning är i strikt mening ingen korrekt icke informativ apriori-fördelning eftersom den begränsats till maximalt 40 bränder per år. Det kan teoretiskt sett uppstå fler bränder än 40 per år, men det bedöms som så osannolikt att hänsyn inte behöver tas till detta. Dessutom visar en känslighetsanalys då gränsen vid 40 bränder höjts till 50 bränder per år att ingen märkbar skillnad uppstår i slutresultatet.

Då uppdateringen av apriori-fördelningen utförs med informationen att 60 bränder har uppstått på 6 år erhålls den fördelning som visas i Figur 44.



Figur 44 Fördelningen för brandfrekvensen i kallvalsverket.

Medelvärdet av fördelningen i Figur 44 och därmed den bayesianska skattningen av brandfrekvensen (se avsnitt 2.2) är **10 bränder per år**. Detta värde kommer att användas då den deterministiska beräkningen av den förväntade skadekostnaden skall utföras. 5%- och 95%-kvantilerna är approximativt placerade vid 8,1 respektive 12,4 bränder per år. Brandfrekvensens kod är P1_{Avesta}.

Med hjälp av den nya skattningen av brandfrekvensen samt händelseträdet kan den förväntade skadekostnaden per år beräknas. Tekniken vid beräkningen är densamma som användes i föregående rapport, d.v.s. för varje möjligt brandscenario summeras de kostnader som uppstår (materiella kostnader plus täckningsbidragsförluster), och från denna summa dras självrisken (för de materiella skadorna) samt karensen (för täckningsbidragsförlusten). Sedan summeras

² En non-informative prior (icke informativ apriori-fördelning) är en fördelning som inte uttrycker någon preferens för några specifika värden. Denna typ av fördelning används då det inte finns någon kunskap om vilka värden som är mest sannolika. Den slutliga bayesianska skattningen av parametern bygger i detta fall helt på den information som erhållits genom mätningarna.

produkterna av de resulterande kostnaderna med tillhörande sannolikhet, och detta ger den förväntade skadekostnaden vid *en* brand. Detta värde skall i sin tur multipliceras med brandfrekvensen för att ge den årliga förväntade skadekostnaden.

Då detta genomförts för kallvalsverket blir resultatet en årlig förväntad skadekostnad på cirka **26.000 tkr/år**. Den förväntade skadekostnaden är förvånansvärt hög vid jämförelse med ABB Automation Products och även med tidigare resultat från kallvalsverket. Anledningen till den höga förväntade skadekostnaden återfinns till stor del i den reviderade uppfattningen om brandfrekvensen. I den förra rapporten som behandlade kallvalsverket skattades brandfrekvensen till 1,4 bränder per år. Denna skattning erhöles med hjälp av ett uttryck som i efterhand visat sig beskriva kallvalsverket på ett icke tillfredsställande sätt. Det sätt att skatta brandfrekvensen som använts i denna rapport bygger på att mycket lite är känt angående brandfrekvensen innan man tar hänsyn till tillbudsstatistiken. Detta innebär att man lägger större vikt vid tillbudsstatistiken än vid kunskaperna som finns förutom tillbudsstatistiken. Skattningen som presenterats i denna rapport är 10 bränder per år, vilket är en markant ökning. Detta får naturligtvis genomslag även på resultatet. I kapitel 5 diskuteras olikheterna i skattningarna mellan ABB och Avesta Sheffield mer ingående.

4.3.2. Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen för kallvalsverket genomförs på samma sätt som för byggnad 358 (ABB). Meningen är att alla parametrar som betraktas som osäkra skall varieras mellan sitt skattade minsta och största värde så att effekten på den förväntade skadekostnaden kan registreras. De parametrar som har störst inverkan skall sedan tas med till osäkerhetsanalysen.

De parametrar som betraktas som osäkra presenteras tillsammans med osäkerhetsintervall (max- och minvärde) i bilaga 2. Liksom i analysen av ABB-byggnaden finns även i denna analys parametrar som kräver speciella restriktioner vid en känslighetsanalys. Vad som avses är de parametrar som beskriver sannolikheter vid sannolikhetsnoder där fler än 2 två utfall är möjliga. Då detta är möjligt används samma teknik som i avsnitt 4.2, nämligen att övriga parametrar som påverkas av ändringen i en parameter justeras så att deras inbördes förhållande inte förändras. Detta inträffar till exempel för fördelningen av bränder i byggnaden. Eftersom branden kan tänkas uppkomma inom många olika områden innebär en ändring av någon av sannolikheterna för branduppkomst i ett specifikt område att de övriga sannolikheterna måste justeras så att summan av alla blir 1. Denna justering sker genom att förhållandet mellan sannolikheterna (utom den sannolikhet som känslighetsanalysen utförs för) bibehålls.

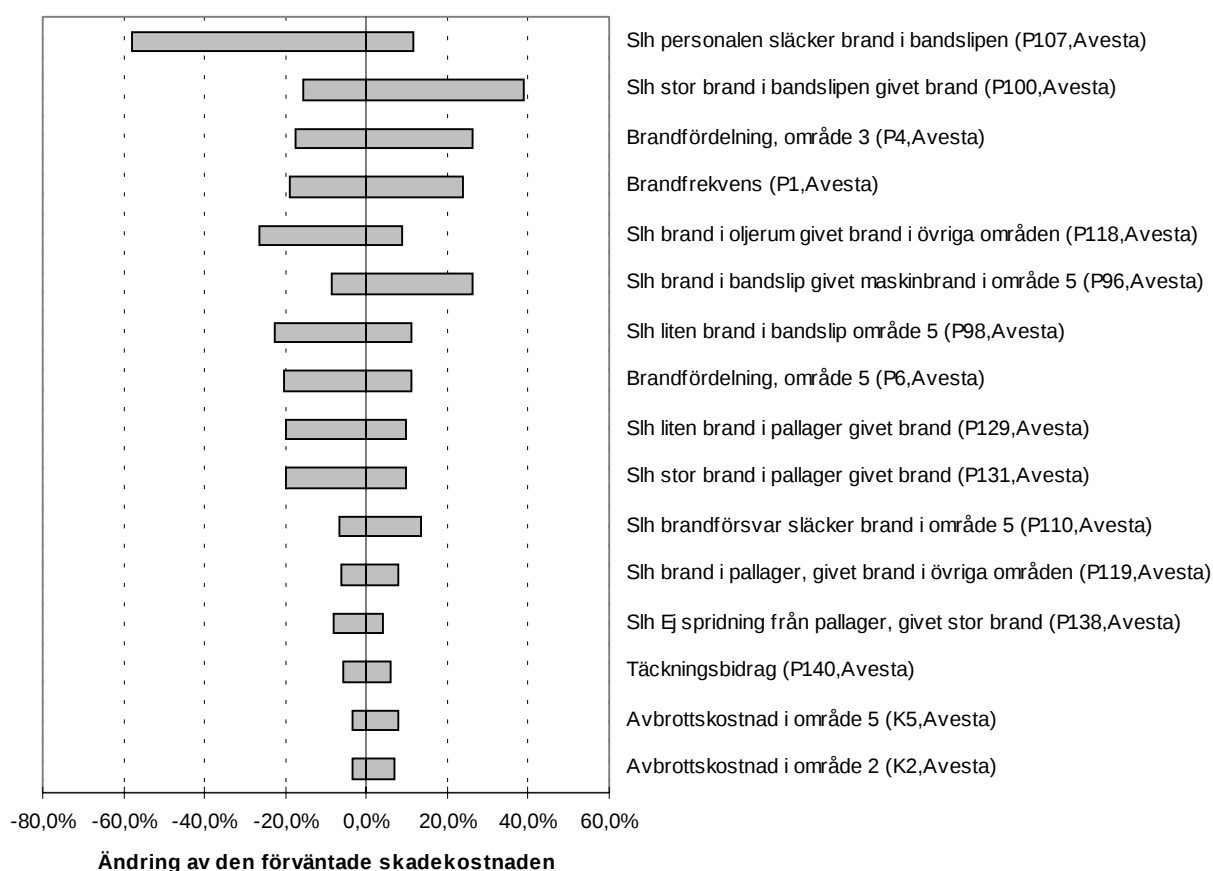
Osäkerheten i de parametrar som styr brandfördelningen i byggnaden kan ses i Tabell 44, där också parametrarnas kod visas. Koden används för att man lättare skall kunna identifiera de olika parametrarna (det finns 139 stycken).

När det gäller osäkerheter i kostnader har dessa redan redovisats tidigare i detta kapitel (se Tabell 43). När känslighetsanalysen av kostnaderna utförs används det största respektive det minsta värdet för *alla* egendoms- eller avbrottskostnader i *ett* område på en gång. Denna förenkling gör att kostnaderna kommer att få större inverkan på resultatet än vad de egentligen har (om kostnaderna för de enskilda komponenterna kan betraktas som oberoende). Hänsyn till detta kommer att tas om det visar sig att dessa parametrar är några av de som tas med till osäkerhetsanalysen.

Tabell 44 Osäkerheten i parametrar för brandfördelningen i byggnaden. Parametrarna är sannolikheten för att branden skall uppstå i de olika områdena, givet att brand uppkommit i byggnaden.

	Min	Grund	Max	Kod
Område 1, Uppklippning	0,03	0,07	0,15	P2 _{Avesta}
Område 2, Skärverk 3	0,01	0,05	0,15	P3 _{Avesta}
Område 3, Valsverk 1 och 2	0,25	0,37	0,55	P4 _{Avesta}
Område 4, Linje 55 och 60	0,1	0,12	0,2	P5 _{Avesta}
Område 5, Bandslipen	0,15	0,28	0,35	P6 _{Avesta}
Område 6, Övriga områden	0,05	0,11	0,15	P7 _{Avesta}

Resultatet från känslighetsanalysen blir ett antal parametrar som kan påverka den förväntade skadekostnaden mer än de övriga. I Figur 45 ses de parametrar som kan påverka resultatet med mer än 10% (totalt). I figuren betyder Slh sannolikhet, och koden som står inom parentes finns också i bilaga 2, där bättre beskrivningar av parametrarna finns.



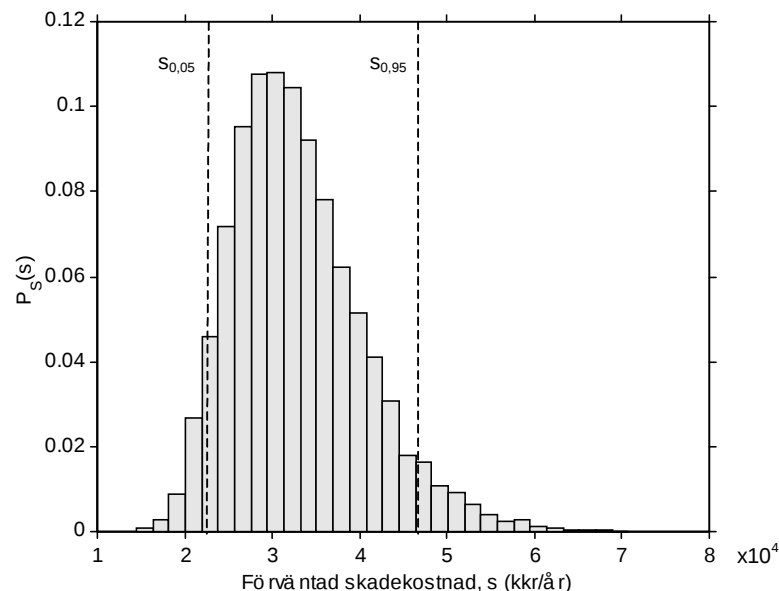
Figur 45 Tornadodiagram som visar de parametrar som kan påverka den förväntade skadekostnaden mer än 10% (totalt).

4.3.3. Osäkerhetsanalys

De parametrar som enligt känslighetsanalysen kan orsaka större variation än 20% (totalt) i den förväntade skadekostnaden analyseras vidare i en osäkerhetsanalys. Osäkerhetsanalysen utförs på samma sätt som för ABB-byggnaden, nämligen genom att man betraktar de osäkra parametrarna som stokastiska variabler i en Monte Carlo-simulering. De parametrar som analyseras presenteras på nästa sida.

- Sannolikheten att personalen släcker en brand i bandslipen ($P_{107_{Avesta}}$)
- Typbrandsfördelning givet brand i bandslipen ($P_{100_{Avesta}}$, $P_{98_{Avesta}}$)
- Brandfördelning inom byggnaden ($P_{4_{Avesta}}$, $P_{6_{Avesta}}$)
- Brandfrekvens ($P_{1_{Avesta}}$)
- Sannolikhet för brand i oljerummet, givet brand i övriga områden ($P_{118_{Avesta}}$)
- Sannolikheten för brand i bandslipen, givet maskinbrand i område 5 ($P_{96_{Avesta}}$)
- Typbrandsfördelning i pallager ($P_{129_{Avesta}}$, $P_{131_{Avesta}}$)
- Sannolikheten att räddningstjänsten släcker en stor brand i område 5 ($P_{110_{Avesta}}$)

Vid osäkerhetsanalysen måste de olika parametrarna representeras med sannolikhetsfördelningar. Dessa sannolikhetsfördelningar skall visa bedömningen av vilka värden som det är troligast att parametrarna antar. I detta fall anses triangelfördelningen återspegla osäkerheterna i de olika parametrarna på ett tillfredsställande sätt. Triangelfördelningen bestäms av tre värden: en övre och undre gräns samt ett medianvärde. De antagna triangelfördelningarna följer de värden som redovisats i bilaga 2, d.v.s. "Min" är fördelningens minsta värde, "Max" är dess maximala och "Grund" är medianen. Den diskreta fördelning som redovisas i Figur 44 används för att representera osäkerheten i brandfrekvensen.



Figur 46 Fördelning för den förväntade skadekostnaden. $s_{0,05}$ samt $s_{0,95}$ är de approximativa 5- respektive 95% kvantilerna.

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.

5. Slutsatser och diskussion

I analyserna av både ABB Automation Products och Avesta Sheffield kan man konstatera att osäkerheterna har stor inverkan på det *absoluta* resultatet, d.v.s. den förväntade skadekostnaden. I analysen av ABB-fallet konstateras att den förväntade skadekostnaden kan variera mellan 130 tkr/år och 440 tkr/år (med 90% sannolikhet) beroende på värdena i de osäkra parametrarna. Motsvarande intervall när det gäller Avesta Sheffield's kallvalsverk är 23.000 tkr/år till 47.000 tkr/år.

Trots den förhållandevis stora variationen i förväntad skadekostnad är det i ABB-analysen positivt att de parametrar som enskilt ger upphov till den största osäkerheten är sprinklersystemets funktionssannolikhet och brandfrekvensen. Detta är positivt eftersom det är förhållandevis lätt att skaffa sig mer och bättre information om dessa. Sprinklersystemets funktionssannolikhet finns undersökt i ett stort antal publikationer, vilket gör det lättare att minska osäkerheten i framtiden. Undersökningar av brandfrekvensen är färre till antalet än undersökningar av sprinklersystems tillförlitlighet, men brandfrekvensen är den parameter som snabbast uppdateras med hjälp av tillbudsstatistiken. Varje år kan osäkerheten i denna parameter minskas (även om ingen brand uppstått) genom att man använder tillbudsstatistiken för året tillsammans med Bayes sats (se kapitel 1). En noggrannare undersökning av dessa två parametrar skulle ge stora effekter på osäkerheten i resultatet eftersom de är de enda som (ensamma) kan påverka den förväntade skadekostnaden mer än 25% i någon riktning. När det gäller analysen av Avesta Sheffield's kallvalsverk påverkas även detta resultat mycket av brandfrekvensen (dock ej av sprinklern eftersom inget heltäckande skydd finns i byggnaden). Det finns dock parametrar som påverkar mer men som det är svårare att erhålla bra skattningar av.

Trots den stora variationen i det *absoluta* resultatet finns det andra omständigheter som medför att osäkerheten i detta inte gör analysmetoden mindre användbar. Vid investeringskalkyler, d.v.s. då en investering i brandskydd skall jämföras med någon typ av noll-alternativ (vanligtvis att behålla byggnaden i befintligt skick) kommer osäkerheten i det *absoluta* resultatet att spela mindre roll. Detta beror på att många av de parametrar som ger upphov till *absoluta* osäkerheter påverkar båda alternativen, och då blir deras påverkan på den *relativa* jämförelsen mellan alternativen liten (eller för det mesta obefintlig, se diskussion i avsnitt 2.5.1). Ur investeringssynpunkt spelar alltså många av osäkerheterna ingen roll för beslutet huruvida investeringen bör genomföras eller ej. Detta kommer att förklaras och undersökas ytterligare i nästa rapport i detta projekt.

Även då förändringen av risken med tiden är av intresse uppstår gynnsamma effekter av att kunskapsosäkerheter tar ut varandra vid jämförelser. I detta fall gäller det att jämföra de nuvarande riskerna i en anläggning med riskerna som fanns för till exempel ett år sedan. Eftersom förändringen av risken med tiden är en jämförelse gäller samma positiva omständigheter som då två alternativ jämfördes, med den skillnaden att i detta fall är alternativen identiska (om ingen förändring skett under året). Detta inverkar naturligtvis positivt på osäkerheterna i *förändringen* av risken. Dessutom ger det bayesianska sättet att skatta sannolikheter en möjlighet att uppdatera en riskanalys varje år utan att använda sig av subjektiva bedömningar (utom första gången analysen genomförs). Denna objektiva uppdatering kan ske mycket enkelt eftersom den information som behövs för att utföra uppdateringen är relativt enkel att samla in.

I denna rapport har två ganska omfattande exempel på osäkerhetshantering redovisats, men är det verkligen nödvändigt med så omfattande behandling av osäkerheter i varje riskanalys som

utförs? Svaret är nej. Tidigare i rapporten har några fall diskuterats då lägre nivåer av osäkerhetshantering kan vara tillräckligt (se avsnitt 2.4), och även vid problem av den omfattning som analyserats i denna rapport (kapitel 4) räcker det för det mesta med att utföra en deterministisk analys i kombination med en känslighetsanalys. Exempelvis så blev resultatet av känslighetsanalysen i ABB-exemplet att den förväntade skadekostnaden vid analys av den parameter som påverkade mest (sprinklersystemets tillförlitlighet) kunde variera mellan 125 och 375 tkr/år. Efter osäkerhetsanalys skattades ett konfidensintervall med konfidensgraden 0,90 för den förväntade skadekostnaden till mellan 130 och 440 tkr/år; skillnaden var alltså inte särskilt stor, och det är i detta fall tveksamt om arbetsbelastningen för osäkerhetsanalysen stod i proportion till den extra information som erhöles. När det gäller Avesta Sheffield-analysen innebar de två parametrar som påverkade resultat mest ($P107_{Avesta}$ och $P100_{Avesta}$, se sid 80) att den förväntade skadekostnaden kunde variera mellan 14.000 och 46.000 tkr/år. Efter osäkerhetsanalysen konstaterades att det approximativa konfidensintervalllets gränser var 23.000 och 47.000 tkr/år.

Ett anmärkningsvärt resultat i analyserna av de båda anläggningarna är den stora skillnaden i förväntad skadekostnad. I ABB:s fall var skattningen 260 tkr/år och i Avesta Sheffield's fall 33.000 tkr/år. Det är naturligt att fråga sig varifrån denna stora skillnad kommer.

Till att börja med så är ABB:s byggnad ca tre gånger så stor som Avesta Sheffield's, vilket generellt sett borde innebära en högre brandfrekvens. Så är dock inte fallet, och vad detta kan bero på kan man endast spekulera i. En trolig orsak kan vara följande: ABB-personalen har en mycket hög säkerhetsmedvetenhet, och deras jobb karaktäriseras i stora drag av ordning och reda, vilket givetvis är positivt ur brandskyddssynpunkt. I Avesta Sheffield's fall är processen mycket smutsigare och i arbetet "ingår" mindre bränder då och då (till exempel vid bandbrott i en vals). Personalen har lärt sig att handskas med dessa bränder och ser dem därför inte som ett hot. Skillnaden i brandfrekvens ger givetvis upphov till skillnad i förväntad skadekostnad. Om det endast var denna faktor som skillnaden berodde på skulle kallvalsverkets förväntade skadekostnad vara ca 12,5 ggr större ABB-byggnadens. Skillnaden mellan de båda byggnaderna är dock större än så, varför det borde finnas andra faktorer som spelar in.

En sådan faktor är naturligtvis det heltäckande sprinklersystemet som finns installerat i byggnad 358 men inte i kallvalsverket. Hur mycket detta system påverkar den förväntade skadekostnaden är svårt att veta eftersom det i denna rapport inte utförts någon analys av byggnaden utan sprinklersystem. Erfarenheterna från den första analysen av byggnad 358 gav dock att den förväntade skadekostnaden ökade ca 22 gånger då byggnaden analyserades utan sprinklersystem. Om detta antas gälla även vid denna analys kan dessa två faktorer (sprinklersystemet och brandfrekvensen) vara tillräckliga för att förklara den stora skillnaden. Om den förväntade skadekostnaden i byggnad 358 multipliceras med 22 och 12,5 erhålls ett värde på ungefär 80.000 tkr/år, vilket är cirka 2,5 gånger större än vad som beräknades för Avesta Sheffield. Denna skillnad kan dock bero på övriga faktorer i byggnaden (mängd brännbart material, kvalitet på brandcellsgränserna m.m.). Slutsatsen blir att skillnaden mellan den förväntade skadekostnaden i de båda byggnaderna inte är så stor att den inte kan förklaras med hjälp av skillnad i byggnadsutformning.

6. Referenser

Ang, A.H-S. & Tang, W.H. 1975: *Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Volume I – Basic Principles*, John Wiley & Sons, New York.

Berglund, J.E., Grubbström, R.W. & Halldén, L. 1974: *Vad är operationsanalys?*, Bokförlaget Aldus/Bonniers, Stockholm.

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

Helton, J.C. 1994: Treatment of Uncertainty in Performance Assessments for Complex Systems, *Risk Analysis*, Vol.14, No.4, Plenum Press, New York.

Hofer, E. 1996: When to Separate Uncertainties and When Not to Separate, *Reliability Engineering and System Safety*, No.54, Elsevier Science limited, Northern Ireland.

Johansson, H. 1998: *Brandfrekvenser och typbränder i industrianläggningar*, Lunds universitet, Brandteknik, Lund.

Johansson, H. 1999a: *Osäkerheter i variabler vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering*, Lunds universitet, Brandteknik, Lund.

Johansson, H. 1999b: *Ekonomisk riskanalys av ABB Automation Products verksamhet i byggnad 358*, Lunds universitet, Brandteknik, Lund.

Johansson, H. 1999c: *Ekonomisk riskanalys av Avesta Sheffield's kallvalsverk i Nyby*, Lunds universitet, Brandteknik, Lund.

Johansson, M. & Rigberth, J. 1999: *Ekonomisk riskanalys av Iggesunds bruks kartongfabrik*, Lunds universitet, Brandteknik, Lund.

Kaplan, S. & Garrick, J. 1979: On the use of a bayesian reasoning in safety and reliability decisions – three examples, *Nuclear Technology*, Vol.44, July.

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

Paté-Cornell, M.E. 1996: Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment, *Reliability Engineering and System Safety*, No.54, pp 95-111, Elsevier Science Limited.

Persson, I. & Nilsson, S-Å. 1999: *Investeringsbedömning*, Liber Ekonomi, Helsingborg.

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

Räddningsverket 1995: *Insatsrapport –96 Handledning till insatsrapport för kommunal räddningstjänst*, Räddningsverket, Karlstad.

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

Räddningsverket 1998a: *Insatsstatistik 1996-1997*, Räddningsverket, Karlstad.

Räddningsverket 1998b: *Räddningstjänst i siffror 1997*, Räddningsverket, Karlstad.

Bilaga 1, Osäkerheter i parametrar (ABB)

I denna bilaga redovisas skattade osäkerheter i de parametrar som inte finns med i avsnitt 4.2. Dessutom redovisas också de parametrar som påverkar den förväntade skadekostnaden mest. Dessa visas i ett tornadodiagram där alla parametrar som påverkar den förväntade skadekostnaden med mer än 2% (totalt) finns medtagna.

Tabell 45 Osäkerheter i sannolikheter för avskiljande funktion hos brandcellsgränser.

Nummer	Mellan områden		Min	Grund	Max	Kod
1	Område 1	Område 2	0,45	0,6	0,75	P13 _{ABB}
2	Område 1	Område 8	0,7	0,9	0,95	P14 _{ABB}
3	Område 2	Område 3	0,3	0,5	0,6	P15 _{ABB}
4	Område 2	Område 4	0,3	0,5	0,6	P16 _{ABB}
5	Område 2	Område 6	0,7	0,9	0,95	P17 _{ABB}
6	Område 2	Område 7	0,7	0,9	0,95	P18 _{ABB}
7	Område 2	Område 8	0,7	0,9	0,95	P19 _{ABB}
8	Område 3	Område 4	0,3	0,5	0,6	P20 _{ABB}
9	Område 3	Område 5	0,3	0,5	0,6	P21 _{ABB}
10	Område 3	Område 6	0,7	0,9	0,95	P22 _{ABB}
11	Område 4	Område 5	0,3	0,5	0,6	P23 _{ABB}
12	Område 6	Område 7	0,3	0,5	0,6	P24 _{ABB}
13	Område 7	Område 8	0,3	0,5	0,6	P25 _{ABB}

Tabell 46 Sannolikhetsskattningar inom område 1 Nya PK Verkstaden.

	Min	Grund	Max	Kod
Sannolikheten för liten brand	0,55	0,78	0,85	P26 _{ABB}
Sannolikheten för medelstor brand	0,05	0,15	0,3	P27 _{ABB}
Sannolikheten för stor brand	0,03	0,07	0,15	P28 _{ABB}
Sannolikheten att personalen släcker givet att brandlarm fungerat	0,7	0,9	0,95	P29 _{ABB}
Sannolikheten att personalen släcker givet att brandlarm inte fungerat	0,5	0,8	0,9	P30 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet medelstor brand och fungerande larm	0,4	0,7	0,9	P31 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet medelstor brand och icke fungerande larm	0,1	0,4	0,6	P32 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet stor brand och fungerande larm	0,05	0,2	0,4	P33 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker långsamt givet stor brand och fungerande larm	0,005	0,01	0,1	P34 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet stor brand och icke fungerande larm	0,01	0,07	0,15	P35 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker långsamt givet stor brand och fungerande larm	0,001	0,005	0,1	P36 _{ABB}

Tabell 47 Sannolikhetsskattningar inom område 2 A Verkstaden.

	Min	Grund	Max	Kod
Sannolikheten för liten brand	0,7	0,8	0,9	P37 _{ABB}
Sannolikheten för medelstor brand	0,05	0,1	0,4	P38 _{ABB}
Sannolikheten för stor brand	0,05	0,1	0,15	P39 _{ABB}
Sannolikheten att personalen släcker givet att brandlarm fungerat	0,5	0,6	0,8	P40 _{ABB}
Sannolikheten att personalen släcker givet att brandlarm inte fungerat	0,3	0,5	0,6	P41 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet medelstor brand och fungerande larm	0,7	0,8	0,9	P42 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet medelstor brand och icke fungerande larm	0,5	0,7	0,8	P43 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet stor brand och fungerande larm	0,2	0,3	0,6	P44 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker långsamt givet stor brand och fungerande larm	0,01	0,05	0,1	P45 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet stor brand och icke fungerande larm	0,05	0,1	0,15	P46 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker långsamt givet stor brand och fungerande larm	0,001	0,01	0,05	P47 _{ABB}

Tabell 48 Sannolikhetsskattningar inom område 3 Förråd, norra delen.

	Min	Grund	Max	Kod
Sannolikheten för liten brand	0,4	0,6	0,7	P48 _{ABB}
Sannolikheten för medelstor brand	0,15	0,3	0,4	P49 _{ABB}
Sannolikheten för stor brand	0,05	0,1	0,2	P50 _{ABB}
Sannolikheten att personalen släcker givet att brandlarm fungerat	0,2	0,4	0,6	P51 _{ABB}
Sannolikheten att personalen släcker givet att brandlarm inte fungerat	0,1	0,2	0,3	P52 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet medelstor brand och fungerande larm	0,5	0,6	0,7	P53 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet medelstor brand och icke fungerande larm	0,2	0,4	0,5	P54 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet stor brand och fungerande larm	0,3	0,5	0,6	P55 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker långsamt givet stor brand och fungerande larm	0,01	0,02	0,1	P56 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet stor brand och icke fungerande larm	0,05	0,1	0,15	P57 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker långsamt givet stor brand och icke fungerande larm	0,005	0,01	0,1	P58 _{ABB}

Tabell 49 Sannolikhetsskattningar inom område 4 ABB Training Center.

	Min	Grund	Max	Kod
Sannolikheten för liten brand	0,6	0,75	0,85	P59 _{ABB}
Sannolikheten för medelstor brand	0,1	0,2	0,3	P60 _{ABB}
Sannolikheten för stor brand	0,01	0,05	0,1	P61 _{ABB}
Sannolikheten att personalen släcker givet att brandlarm fungerat	0,5	0,6	0,8	P62 _{ABB}
Sannolikheten att personalen släcker givet att brandlarm inte fungerat	0,4	0,5	0,6	P63 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet medelstor brand och fungerande larm	0,3	0,4	0,5	P64 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet medelstor brand och icke fungerande larm	0,2	0,3	0,4	P65 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet stor brand och fungerande larm	0,3	0,4	0,5	P66 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker långsamt givet stor brand och fungerande larm	0,01	0,05	0,1	P67 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet stor brand och icke fungerande larm	0,01	0,02	0,05	P68 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker långsamt givet stor brand och icke fungerande larm	0,005	0,01	0,1	P69 _{ABB}

Tabell 50 Sannolikhetsskattningar inom område 5 EMC.

	Min	Grund	Max	Kod
Sannolikheten för liten brand	0,6	0,8	0,9	P70 _{ABB}
Sannolikheten för medelstor brand	0,09	0,15	0,3	P71 _{ABB}
Sannolikheten för stor brand	0,01	0,05	0,1	P72 _{ABB}
Sannolikheten att personalen släcker givet att brandlarm fungerat	0,5	0,6	0,7	P73 _{ABB}
Sannolikheten att personalen släcker givet att brandlarm inte fungerat	0,4	0,5	0,6	P74 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet medelstor brand och fungerande larm	0,2	0,25	0,4	P75 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet medelstor brand och icke fungerande larm	0,05	0,15	0,2	P76 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet stor brand och fungerande larm	0,1	0,2	0,25	P77 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker långsamt givet stor brand och fungerande larm	0,1	0,15	0,2	P78 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet stor brand och icke fungerande larm	0,01	0,05	0,1	P79 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker långsamt givet stor brand och icke fungerande larm	0,005	0,01	0,05	P80 _{ABB}

Tabell 51 Sannolikhetsskattningar inom område 6 PS Verkstaden.

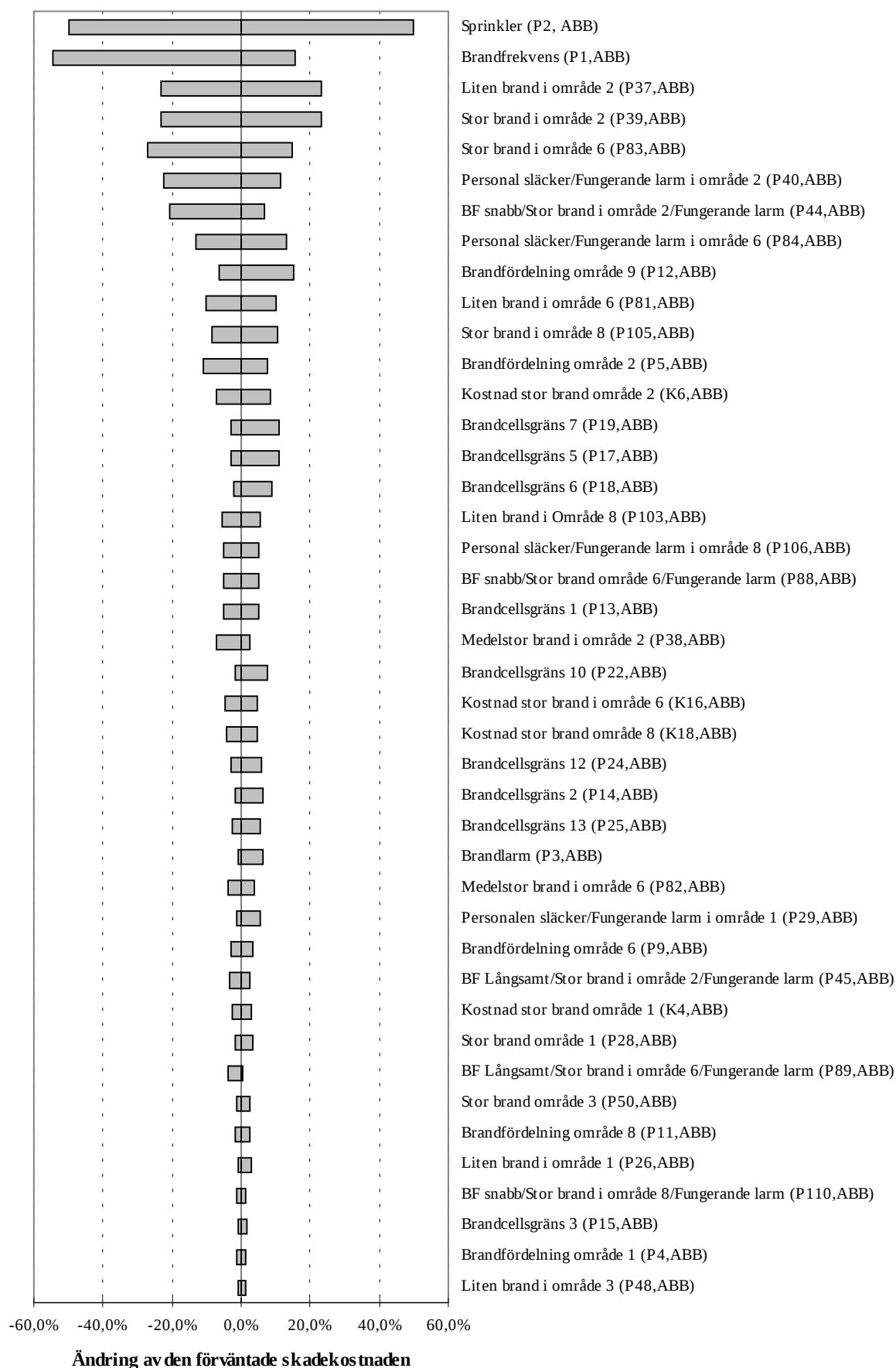
	Min	Grund	Max	Kod
Sannolikheten för liten brand	0,6	0,7	0,8	P81 _{ABB}
Sannolikheten för medelstor brand	0,1	0,2	0,3	P82 _{ABB}
Sannolikheten för stor brand	0,01	0,1	0,15	P83 _{ABB}
Sannolikheten att personalen släcker givet att brandlarm fungerat	0,4	0,6	0,8	P84 _{ABB}
Sannolikheten att personalen släcker givet att brandlarm inte fungerat	0,3	0,5	0,7	P85 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet medelstor brand och fungerande larm	0,6	0,8	0,85	P86 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet medelstor brand och icke fungerande larm	0,4	0,7	0,8	P87 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet stor brand och fungerande larm	0,3	0,4	0,5	P88 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker långsamt givet stor brand och fungerande larm	0,01	0,02	0,1	P89 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet stor brand och icke fungerande larm	0,01	0,1	0,15	P90 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker långsamt givet stor brand och icke fungerande larm	0,001	0,01	0,1	P91 _{ABB}

Tabell 52 Sannolikhetsskattningar inom område 7, P Kontoret.

	Min	Grund	Max	Kod
Sannolikheten för liten brand	0,6	0,85	0,9	P92 _{ABB}
Sannolikheten för medelstor brand	0,05	0,1	0,25	P93 _{ABB}
Sannolikheten för stor brand	0,1	0,05	0,15	P94 _{ABB}
Sannolikheten att personalen släcker givet att brandlarm fungerat	0,7	0,8	0,9	P95 _{ABB}
Sannolikheten att personalen släcker givet att brandlarm inte fungerat	0,65	0,75	0,8	P96 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet medelstor brand och fungerande larm	0,3	0,4	0,5	P97 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet medelstor brand och icke fungerande larm	0,15	0,3	0,4	P98 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet stor brand och fungerande larm	0,25	0,35	0,5	P99 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker långsamt givet stor brand och fungerande larm	0,005	0,01	0,1	P100 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet stor brand och icke fungerande larm	0,05	0,1	0,2	P101 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker långsamt givet stor brand och icke fungerande larm	0,005	0,01	0,1	P102 _{ABB}

Tabell 53 Sannolikhetsskattningar inom område 8 PK Verkstaden.

	Min	Grund	Max	Kod
Sannolikheten för liten brand	0,7	0,8	0,9	P103 _{ABB}
Sannolikheten för medelstor brand	0,09	0,15	0,25	P104 _{ABB}
Sannolikheten för stor brand	0,01	0,05	0,1	P105 _{ABB}
Sannolikheten att personalen släcker givet att brandlarm fungerat	0,7	0,8	0,9	P106 _{ABB}
Sannolikheten att personalen släcker givet att brandlarm inte fungerat	0,5	0,7	0,8	P107 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet medelstor brand och fungerande larm	0,5	0,8	0,85	P108 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet medelstor brand och icke fungerande larm	0,3	0,4	0,6	P109 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet stor brand och fungerande larm	0,1	0,2	0,3	P110 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker långsamt givet stor brand och fungerande larm	0,005	0,01	0,1	P111 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker snabbt givet stor brand och icke fungerande larm	0,01	0,07	0,1	P112 _{ABB}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker långsamt givet stor brand och icke fungerande larm	0,005	0,01	0,1	P113 _{ABB}



Figur 47 Parametrar med potential att ändra den förväntade skadekostnaden mer än 2%.

Bilaga 2, Osäkerheter i parametrar (Avesta Sheffield)

I denna bilaga redovisas skattade parametervärden för analysen av Avesta Sheffield's kallvalsverk. De parametervärden som presenteras under kolumnen "Min" är det minsta värde som parametern bedömts kunna anta och "Max" är det största. Kolumnen "Grund" innehåller det värde som bedömts som mest sannolikt. Sist i denna bilaga presenteras också ett tornadodiagram som visar alla parametrar som kan påverka den förväntade skadekostnaden mer än 4%.

Tabell 54 De olika brandavskiljande konstruktionernas skattade funktionssannolikheter.

Konstruktions-beteckning	Utrymmen mellan vilken konstruktionen är placerad		Min	Grund	Max	Kod
1	Område 1	Område 3	0,2	0,4	0,5	P141 _{Avesta}
2	Område 1	Område 4	0,3	0,5	0,6	P142 _{Avesta}
3	Område 2	Område 3	0,6	0,7	0,8	P143 _{Avesta}
4	Område 3	Område 4	0,4	0,5	0,6	P144 _{Avesta}
5	Område 3	Område 5	0,4	0,5	0,6	P145 _{Avesta}
6	Område 3	Område 6	0,6	0,8	0,9	P146 _{Avesta}
7	Område 3	Område 8	0,6	0,8	0,9	P147 _{Avesta}
8	Område 3	Område 7	0,6	0,8	0,9	P148 _{Avesta}
9	Område 3	Område 9	0,6	0,8	0,9	P149 _{Avesta}
10	Område 4	Område 5	0,6	0,8	0,9	P150 _{Avesta}
11	Område 3	Oljerum	0,6	0,8	0,9	P151 _{Avesta}
12	Område 2	Pallager	0,4	0,5	0,6	P152 _{Avesta}

Tabell 55 Sannolikhetsskattningar i område 1, Uppklippning.

	Min	Grund	Max	Kod
Sannolikhet för brand i maskin, givet brand	0,5	0,61	0,9	P8 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i glättvals, givet brand i maskin	0,3	0,4	0,6	P9 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i skärverk 1, givet brand i maskin	0,2	0,4	0,45	P10 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i uppklippning, givet brand i maskin	0,1	0,2	0,25	P11 _{Avesta}
<i>Glättvals</i>				
Liten brand	0,7	0,8	0,85	P12 _{Avesta}
Medelstor brand	0,14	0,19	0,25	P13 _{Avesta}
Stor	0,001	0,01	0,05	P14 _{Avesta}
<i>Skärverk 1</i>				
Liten brand	0,79	0,83	0,9	P15 _{Avesta}
Medelstor brand	0,08	0,16	0,2	P16 _{Avesta}
Stor	0,001	0,01	0,02	P17 _{Avesta}
<i>Uppklippning</i>				
Liten brand	0,85	0,93	0,95	P18 _{Avesta}
Medelstor brand	0,03	0,06	0,13	P19 _{Avesta}
Stor	0,001	0,01	0,02	P20 _{Avesta}
<i>Övriga bränder</i>				
Liten brand	0,75	0,8	0,9	P21 _{Avesta}
Medelstor brand	0,09	0,19	0,2	P22 _{Avesta}
Stor	0,001	0,01	0,05	P23 _{Avesta}
<i>Sannolikhet att personalen släcker branden i</i>				
Glättvals	0,5	0,7	0,8	P24 _{Avesta}
Skärverk 1	0,6	0,8	0,85	P25 _{Avesta}
Uppklippning	0,6	0,8	0,85	P26 _{Avesta}
Övriga bränder	0,7	0,8	0,9	P27 _{Avesta}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker en stor brand	0,6	0,95	0,98	P28 _{Avesta}

Tabell 56 Sannolikhetsskattningar i område 2, Skärverk 3.

	Min	Grund	Max	Kod
Sannolikhet för brand i maskin, givet brand	0,7	0,82	0,9	P29 _{Avesta}
<i>Skärverk 3</i>				
Liten brand	0,8	0,9	0,95	P30 _{Avesta}
Medelstor brand	0,02	0,08	0,17	P31 _{Avesta}
Stor	0,001	0,02	0,03	P32 _{Avesta}
<i>Övriga bränder</i>				
Liten brand	0,7	0,83	0,9	P33 _{Avesta}
Medelstor brand	0,09	0,16	0,28	P34 _{Avesta}
Stor	0,001	0,01	0,02	P35 _{Avesta}
<i>Sannolikhet att personalen släcker branden i</i>				
Skärverk 3	0,7	0,8	0,9	P36 _{Avesta}
Övriga bränder	0,5	0,8	0,85	P37 _{Avesta}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker en stor brand	0,6	0,95	0,98	P38 _{Avesta}

Tabell 57 Sannolikhetsskattningar i område 3, Valsverk 1 och 3.

	Min	Grund	Max	Kod
Sannolikhet för brand i maskin, givet brand	0,8	0,96	0,98	P39 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i valsverk 1, givet brand i maskin	0,1	0,25	0,3	P40 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i valsverk 3, givet brand i maskin	0,6	0,7	0,85	P41 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i banduppbyggnad, givet brand i maskin	0,01	0,05	0,1	P42 _{Avesta}
<i>Valsverk1</i>				
Liten brand	0,5	0,66	0,8	P43 _{Avesta}
Medelstor brand	0,2	0,31	0,5	P44 _{Avesta}
Stor	0,01	0,03	0,05	P45 _{Avesta}
<i>Valsverk3</i>				
Liten brand	0,4	0,52	0,7	P46 _{Avesta}
Medelstor brand	0,29	0,44	0,53	P47 _{Avesta}
Stor	0,01	0,04	0,07	P48 _{Avesta}
<i>Banduppbyggnad</i>				
Liten brand	0,8	0,88	0,95	P49 _{Avesta}
Medelstor brand	0,04	0,11	0,18	P50 _{Avesta}
Stor	0,001	0,01	0,02	P51 _{Avesta}
<i>Övriga bränder</i>				
Liten brand	0,7	0,78	0,85	P52 _{Avesta}
Medelstor brand	0,1	0,21	0,3	P53 _{Avesta}
Stor	0,001	0,01	0,04	P54 _{Avesta}
<i>Sannolikhet att personalen släcker branden i</i>				
Valsverk 1	0,6	0,8	0,9	P55 _{Avesta}
Valsverk 3	0,6	0,8	0,9	P56 _{Avesta}
Banduppbyggnad	0,7	0,85	0,95	P57 _{Avesta}
Övriga bränder	0,7	0,85	0,95	P58 _{Avesta}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker en stor brand	0,5	0,95	0,98	P59 _{Avesta}
Sannolikhet att sprinkler i Valsverk 1 släcker branden	0,85	0,94	0,96	P60 _{Avesta}
Sannolikhet att sprinkler i Valsverk 3 släcker branden	0,9	0,96	0,98	P61 _{Avesta}
Sannolikhet att CO2 system i Valsverk 3 släcker branden	0,7	0,95	0,96	P62 _{Avesta}

Tabell 58 Sannolighetsskattningar i område 4, Linje 55 och 60.

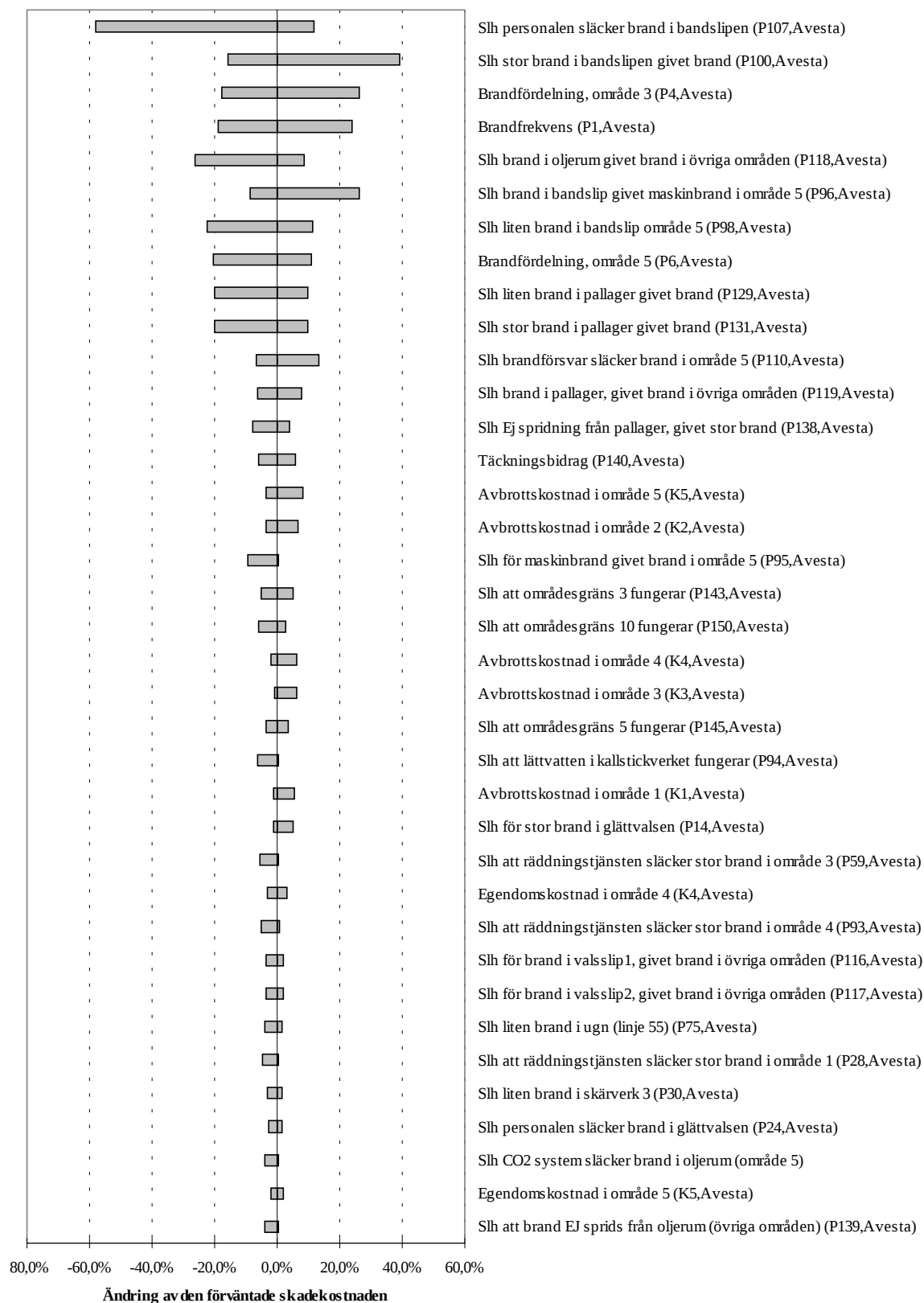
	Min	Grund	Max	Kod
Sannolikhet för brand i maskin, givet brand	0,65	0,75	0,9	P63 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i svets (Linje 55), givet brand i maskin	0,05	0,1	0,15	P64 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i kallstickverk, givet brand i maskin	0,3	0,4	0,6	P65 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i ugn (Linje 55), givet brand i maskin	0,05	0,2	0,3	P66 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i svets (Linje 60), givet brand i maskin	0,05	0,1	0,15	P67 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i ugn (Linje 60), givet brand i maskin	0,05	0,2	0,3	P68 _{Avesta}
<i>Linje 55</i>				
<i>Svets</i>				
Liten brand	0,7	0,87	0,95	P69 _{Avesta}
Medelstor brand	0,05	0,11	0,2	P70 _{Avesta}
Stor	0,001	0,02	0,03	P71 _{Avesta}
<i>Kallstickverk, Z-High</i>				
Liten brand	0,5	0,67	0,85	P72 _{Avesta}
Medelstor brand	0,15	0,29	0,4	P73 _{Avesta}
Stor	0,02	0,04	0,06	P74 _{Avesta}
<i>Ugn</i>				
Liten brand	0,7	0,88	0,95	P75 _{Avesta}
Medelstor brand	0,05	0,1	0,15	P76 _{Avesta}
Stor	0,001	0,02	0,03	P77 _{Avesta}
<i>Linje 60</i>				
<i>Svets</i>				
Liten brand	0,7	0,87	0,95	P78 _{Avesta}
Medelstor brand	0,05	0,11	0,2	P79 _{Avesta}
Stor	0,001	0,02	0,03	P80 _{Avesta}
<i>Ugn</i>				
Liten brand	0,7	0,88	0,95	P81 _{Avesta}
Medelstor brand	0,05	0,1	0,15	P82 _{Avesta}
Stor	0,001	0,02	0,03	P83 _{Avesta}
<i>Övriga bränder</i>				
Liten brand	0,7	0,82	0,9	P84 _{Avesta}
Medelstor brand	0,1	0,16	0,2	P85 _{Avesta}
Stor	0,001	0,02	0,03	P86 _{Avesta}
<i>Sannolikhet att personalen släcker branden i</i>				
Svets (Linje 55)	0,7	0,85	0,9	P87 _{Avesta}
Kallstickverk, Z-High	0,6	0,7	0,8	P88 _{Avesta}
Ugn (Linje 55)	0,7	0,8	0,9	P89 _{Avesta}
Svets (Linje 60)	0,7	0,85	0,9	P90 _{Avesta}
Ugn (Linje 60)	0,7	0,8	0,9	P91 _{Avesta}
Övriga bränder	0,7	0,8	0,9	P92 _{Avesta}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker en stor brand	0,8	0,95	0,97	P93 _{Avesta}
Sannolikhet att lättvatten i Z-high släcker branden	0,7	0,94	0,96	P94 _{Avesta}

Tabell 59 Sannolikhetsskattningar i område 5, Bandslipen.

	Min	Grund	Max	Kod
Sannolikhet för brand i maskin, givet brand	0,75	0,97	0,98	P95 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i bandslip, givet brand i maskin	0,4	0,5	0,8	P96 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i oljerum, givet brand i maskin	0,2	0,5	0,6	P97 _{Avesta}
<i>Bandslip</i>				
Liten brand	0,7	0,8	0,85	P98 _{Avesta}
Medelstor brand	0,1	0,15	0,25	P99 _{Avesta}
Stor	0,03	0,05	0,1	P100 _{Avesta}
<i>Oljerum</i>				
Liten brand	0,7	0,8	0,9	P101 _{Avesta}
Medelstor brand	0,1	0,16	0,2	P102 _{Avesta}
Stor	0,02	0,04	0,06	P103 _{Avesta}
<i>Övriga bränder</i>				
Liten brand	0,7	0,82	0,9	P104 _{Avesta}
Medelstor brand	0,09	0,16	0,26	P105 _{Avesta}
Stor	0,01	0,02	0,04	P106 _{Avesta}
<i>Sannolikhet att personalen släcker branden i</i>				
Bandslipen	0,5	0,75	0,8	P107 _{Avesta}
Oljerummet	0,5	0,7	0,8	P108 _{Avesta}
Övriga bränder	0,5	0,8	0,9	P109 _{Avesta}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker en stor brand	0,7	0,95	0,96	P110 _{Avesta}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker en stor brand i Bandslipen	0,6	0,7	0,9	P111 _{Avesta}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker en stor brand i Oljerummet	0,65	0,7	0,95	P112 _{Avesta}
Sannolikheten att CO2 system i oljerum släcker branden	0,8	0,95	0,96	P113 _{Avesta}

Tabell 60 Sannolikhetskattningar i område 6, Övriga områden.

	Min	Grund	Max	Kod
Sannolikhet för brand i motorrum 1, givet brand	0,2	0,3	0,4	P114 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i motorrum 3, givet brand	0,2	0,3	0,4	P115 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i Valsslip 1, givet brand	0,05	0,15	0,2	P116 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i Valsslip 2, givet brand	0,05	0,15	0,2	P117 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i oljerum, givet brand	0,01	0,05	0,1	P118 _{Avesta}
Sannolikhet för brand i pallager, givet brand	0,01	0,05	0,1	P119 _{Avesta}
<i>Motorrummen</i>				
Liten brand	0,7	0,8	0,9	P120 _{Avesta}
Medelstor brand	0,15	0,19	0,25	P121 _{Avesta}
Stor	0,001	0,01	0,02	P122 _{Avesta}
<i>Valssliparna</i>				
Liten brand	0,7	0,87	0,9	P123 _{Avesta}
Medelstor brand	0,05	0,11	0,15	P124 _{Avesta}
Stor	0,001	0,02	0,03	P125 _{Avesta}
<i>Oljerum</i>				
Liten brand	0,7	0,8	0,9	P126 _{Avesta}
Medelstor brand	0,1	0,16	0,2	P127 _{Avesta}
Stor	0,02	0,04	0,06	P128 _{Avesta}
<i>Pallager</i>				
Liten brand	0,5	0,7	0,8	P129 _{Avesta}
Medelstor brand	0,1	0,15	0,2	P130 _{Avesta}
Stor	0,05	0,15	0,2	P131 _{Avesta}
<i>Sannolikhet att personalen släcker branden i</i>				
Motorrum, givet larm	0,6	0,85	0,9	P132 _{Avesta}
Motorrum, ej larm	0,4	0,6	0,7	P133 _{Avesta}
i Valsslip	0,6	0,85	0,9	P134 _{Avesta}
<i>Räddningstjänsten</i>				
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker en brand i motorrummen, givet larm	0,7	0,95	0,97	P135 _{Avesta}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker en brand i motorrummen, utan fungerande larm	0,5	0,85	0,9	P136 _{Avesta}
Sannolikheten att räddningstjänsten släcker en brand i valssliparna	0,5	0,95	0,97	P137 _{Avesta}
Sannolikhet att branden inte sprids från pallager	0,6	0,8	0,9	P138 _{Avesta}
Sannolikhet att branden inte sprids från oljerum	0,6	0,96	0,98	P139 _{Avesta}



Figur 48 Tornado diagram som visar de parametrar som kan påverka resultatet mer än 4% (totalt).

Bilaga 3, Beräkningsalgorithm för brandspridning i byggnad

Beräkningsalgoritmen för den förväntade skadekostnaden givet att en stor brand uppkommit i ett område består av fyra MATLAB-filer. Indata består av en matris som kallas "sprid" och en matris som kallas "kostnad". "Sprid"-matrisen innehåller sannolikheten för brandspridning mellan de olika områdena och "kostnad"-matrisen innehåller kostnaderna förknippade med förstörelsen av ett område.

Abbsprida.m

```
clear
sprid=[0 0.6 0 0 0 0 0 0.9;0 0 0.5 0.5 0 0.9 0.9 0.9;0 0 0 0.5 0.5 0.7 0 0;
0 0 0 0 0.5 0 0 0;0 0 0 0 0 0 0 0;0 0 0 0 0 0 0.5 0;0 0 0 0 0 0 0 0.5;0 0 0
0 0 0 0]
kostnad=[160000 160000 0;
120000 190000 0;
5000 0 0;
13000 0 0;
18000 0 0;
150000 82500 0;
40000 0 0;
250000 250000 0];
resultat=test(sprid,kostnad);
save C:\Matlabresultat\grund.txt resultat -ascii
```

Kommentarer:

Matrisen "sprid" är den så kallade spridningsmatrisen, vilken innehåller sannolikheten för brandspridning mellan olika områden i byggnaden. Matrisen har alltid nollor i diagonalen (eftersom spridning från område 1 till 1 eller 2 till 2 inte är aktuell. Den undre delen av matrisen (delning vid diagonalen) innehåller också bara nollor eftersom sannolikheten för spridning inte antas ändras beroende på från vilket håll branden kommer. Siffran på plats (x,y) beskriver sannolikheten för spridning mellan område x och y.

Matrisen "kostnad" innehåller de kostnader som är förknippade med ett toalförstört område. I första kolumnen står egendomskostnaderna, i andra kolumnen avbrottskostnaderna och i sista kolumnen finns utrymme för dolda kostnader (dessa har satts till 0 i alla simuleringar).

Resultatet från simuleringen sparas i filen grund.txt

Test.m

```
function test=test(sprid,kostnad)
clear res

for i=1:antalceller
    [probres,forstorda]=spridning(i,sprid);
    kostnader=forvantad(kostnad,probres,forstorda);
    reseghendom=kostnader(:,1).*kostnader(:,4);
    resavbrott=kostnader(:,2).*kostnader(:,4);
    resultat(1,1)=sum(reseghendom);
    resultat(1,2)=sum(resavbrott);
end

test=resultat;
```

Kommentarer:

Funktionen test.m anropas av abbsprida.m. Indata till test.m består av matriserna "sprid" och "kostnad". Test.m anropar i sin tur en funktion som heter spridning.m, vilken levererar två matriser som utdata. Dessa matriser kallas "probres" och "forstorda".

Matrisen "probres" innehåller de resulterande sannolikheterna för olika brandutbredningar och "forstorda" innehåller information om vilka områden som är förstörda i de olika scenarierna.

Därefter anropar test.m funktionen forvantad.m som levererar matrisen "kostnader" som utdata. "Kostnader" innehåller egendomskostnader för samtliga spridningsscenarier i första kolumnen, motsvarande avbrottskostnader i andra och sannolikheterna i fjärde kolumnen. För att göra detta behöver forvantad.m tre matriser som indata, "kostnad", "probres" och "forstorda".

Till slut beräknas den förväntade skadekostnaden för både egendomsskador och avbrottsskador genom att hela den första respektive den andra kolumnen i matrisen "kostnader" multipliceras med hela den fjärde kolumnen (som innehåller sannolikheter). Summan av dessa produkter utgör den förväntade skadekostnaden, givet brand i område i. Detta resultat sparas i matrisen "resultat".

Spridning.m

```

function [probres, forstorda]=spridning(brandpos, sprid)
clear probres
clear forstorda
clear barriar
clear n
clear antalceller
[rader, kolumner]=size(sprid);
barpos=1; %Pekare i barriar matrisen
antalceller=size(sprid,2); %Antalceller är det antalet områden som finns
for y=1:kolumner %Skapar barriar matrisen som beskriver mellan vilka
områden barriären är och vilken funktionssannolikhet den har
    for x=1:rader
        if sprid(x,y)>0
            barriar(barpos,1)=y;
            barriar(barpos,2)=x;
            barriar(barpos,3)=sprid(x,y);
            barpos=barpos+1;
        end
    end
end
n=0;
n=size(barriar,1); %n är hur många barriärer som finns
fungerar=0;
for x=1:n %Skapar fungerar matrisen som består av 1 och 0, vilka
visar fungerande resp icke fungerande barriär
    y=0;
    u=1;
    antal=2^n;
    while y<(antal)
        for y=y+1:(y+(2^(x-1)))
            if u==1
                fungerar(y,x)=1;
            else
                fungerar(y,x)=0;
            end
            u;
        end
        if u==1
            u=0;
        else
            u=1;
        end
    end
end
end
prob1=barriar(:,3);
prob2=1-prob1;
for y=1:antal %Skapar sannolikhetsmatris, där antal är antalet rader
i sannolikhetsmatrisen
    for x=1:n %n är antalet barriärer
        if fungerar(y,x)==1
            prob3(y,x)=prob1(x);
        else
            prob3(y,x)=prob2(x);
        end
    end
end
end

```

Fortsättning på nästa sida...

Fortsättning på koden till Spridning.mat

```
%Skapar de resulterande delscenariosannolikheterna
probres=prod(prob3,2);
forbindelse=0; %Tar reda på vilka celler som är förstörda

forstorda=zeros(antal,antalceller);
pos=1;
for y=1:antal
    mojliga=zeros(1,antalceller); %mojliga är de områden som har möjlighet att
    förstöras från ett område (kolumner)
    for x=1:n
        if fungerar(y,x)==0
            k=length(mojliga(:,barriar(x,1)));
            for i=1:k
                pos=k-i+1;
                mojliga(pos+1,barriar(x,1))=mojliga(pos,barriar(x,1));
            end
            mojliga(1,barriar(x,1))=barriar(x,2);

            k=length(mojliga(:,barriar(x,2)));
            for i=1:k
                pos=k-i+1;
                mojliga(pos+1,barriar(x,2))=mojliga(pos,barriar(x,2));
            end
            mojliga(1,barriar(x,2))=barriar(x,1);
        end
        forstorda(y,brandpos)=1;
        nyforst=1;
        while nyforst==1
            nyforst=0;
            for i=1:antalceller;
                if forstorda(y,i)==1
                    h=length(mojliga(:,i));
                    for s=1:h
                        if mojliga(s,i)~=0
                            if forstorda(y,mojliga(s,i))==0
                                forstorda(y,mojliga(s,i))=1;
                                nyforst=1;
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end
end
end
end
end
end
end
```

Kommentarer:

Funktionen Spridning.m anropas av Test.m och använder matrisen "Sprid" som indata tillsammans med information om var branden börjat i form av "Brandpos". Resultatet som Spridning.m levererar är matriserna "Probres" och "Forstorda", där "Probres" innehåller de sannolikheterna för de olika delscenarierna, givet att brand uppkommit i området "Brandpos". Forstorda innehåller information om vilka brandceller som blivit förstörda, givet ett delscenario.

Forvantad.m

```
function kostnader=forvantad(kostnad,probres,forstorda)
```

```
info=forstorda;
x=length(forstorda(1,:));
y=length(forstorda(:,1));
for n=1:y
    info(n,x+1)=probres(n);
end

for n=1:y      %Egendomskostnader
    summa=0;
    for i=1:x
        if info(n,i)==1
            summa=summa+kostnad(i,1);
        end
    end
    kostnader(n,1)=summa;
end

for n=1:y      %Avbrottskostnader
    summa=0;
    for i=1:x
        if info(n,i)==1
            summa=summa+kostnad(i,2);
        end
    end
    kostnader(n,2)=summa;
end

for n=1:y      %Dolda kostnader
    summa=0;
    for i=1:x
        if info(n,i)==1
            summa=summa+kostnad(i,3);
        end
    end
    kostnader(n,3)=summa;
end

summaegen=0;
summaavbrott=0;
summadolda=0;
for n=1:y      %Förväntad kostnad
    summaegen=summaegen+(kostnader(n,1)*probres(n));
    summaavbrott=summaavbrott+(kostnader(n,2)*probres(n));
    summadolda=summadolda+(kostnader(n,3)*probres(n));
end
format bank
summaegen
summaavbrott
summadolda

%Riskprofil
kostnader(:,4)=probres;
kostnader=sortrows(kostnader,[1]);
```

Fortsättning på nästa sida...

Forsättning på koden till Forvantad.m

```
for n=1:y
    i=y-n+1;
    if n==1
        kostnader(i,5)=kostnader(i,4);
    else
        kostnader(i,5)=kostnader(i,4)+kostnader(i+1,5);
    end
end
hold on
plot(kostnader(:,1),kostnader(:,5), 'b')

kostnader=sortrows(kostnader,[2]);
for n=1:y
    i=y-n+1;
    if n==1
        kostnader(i,5)=kostnader(i,4);
    else
        kostnader(i,5)=kostnader(i,4)+kostnader(i+1,5);
    end
end
plot(kostnader(:,2),kostnader(:,5), 'g')

kostnader=sortrows(kostnader,[3]);
for n=1:y
    i=y-n+1;
    if n==1
        kostnader(i,5)=kostnader(i,4);
    else
        kostnader(i,5)=kostnader(i,4)+kostnader(i+1,5);
    end
end
plot(kostnader(:,3),kostnader(:,5), 'r')
grid
```

Kommentarer:

Funktionen Forvantad.m använder matriserna "Kostnad", "Probres" och "Forstorda" som indata. Som resultat levererar funktionen matrisen "Kostnader" i vilken information om egendoms-, avbrottskostnader och dolda kostnader finns för de olika delscenarierna. Dessutom finns information om sannolikheten för att ett visst delscenario skall inträffa.

Avestasprida.m

```
clf
%TB
sprid=[0 0 0.4 0.5 0 0 0 0 0;0 0 0.7 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 0.5 0.5 0.8 0.8 0.8;0 0 0 0 0.8 0 0 0 0;0 0 0 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0;0 0 0 0 0 0 0 0 0;0 0 0 0 0 0 0 0 0;0 0 0 0 0 0 0 0 0]
egendom=[245260 91932 522744 1115740 151400 70200 30400 100200 30400];
TB=90000 %Täckningsbidrag per månad, hela anläggningen
avbrott=[14 14 14 14 14 14 0 14 0]; %Avbrottstid då ett område förstörs
[res,riskprof]=avestatest(sprid,egendom,avbrott,TB);
save C:\Matlabresultat\grund.txt res -ascii;
save C:\Matlabresultat\riskprofgrund.txt riskprof -ascii;
```

Kommentarer:

Avestasprida.m är motsvarigheten till abbsprida.m, dock med några förändringar. Eftersom avbrottskostnaden inte kan beräknas lika enkelt som i ABB-fallet måste en annan algoritm användas. I avestasprida.m definieras spridningsmatrisen och egedomsvektorn (som fungerar på samma sätt som i ABB-fallet). Dessutom definieras ett täckningsbidragsbortfall per månad om *hela* anläggningen slås ut (TB). Avbrottsvektorn innehåller avbrottstiden i månader då ett område slås ut.

Funktionen anropar avestatest.m som är en variant av abbtest.m.

Avesttest.m

```
function [test,riskprof]=test(sprid,egendom,avbrott,TB)
clear res

[probres,forstorda]=spridning(1,sprid);
kostnader=forvantadavesta,egendom,avbrott,TB,probres,forstorda);
resegendom=kostnader(:,1).*kostnader(:,4);
resavb=kostnader(:,2).*kostnader(:,4);
res(1,1)=sum(resegendom);
res(1,2)=sum(resavb);
riskprof(:,1)=kostnader(:,4)
riskprof(:,2)=kostnader(:,1)
riskprof(:,3)=kostnader(:,2)

[probres,forstorda]=spridning(2,sprid);
kostnader=forvantadavesta,egendom,avbrott,TB,probres,forstorda);
resegendom=kostnader(:,1).*kostnader(:,4);
resavb=kostnader(:,2).*kostnader(:,4);
res(2,1)=sum(resegendom);
res(2,2)=sum(resavb);
riskprof(:,4)=kostnader(:,4)
riskprof(:,5)=kostnader(:,1)
riskprof(:,6)=kostnader(:,2)

[probres,forstorda]=spridning(3,sprid);
kostnader=forvantadavesta,egendom,avbrott,TB,probres,forstorda);
resegendom=kostnader(:,1).*kostnader(:,4);
resavb=kostnader(:,2).*kostnader(:,4);
res(3,1)=sum(resegendom);
res(3,2)=sum(resavb);
riskprof(:,7)=kostnader(:,4)
riskprof(:,8)=kostnader(:,1)
riskprof(:,9)=kostnader(:,2)

[probres,forstorda]=spridning(4,sprid);
kostnader=forvantadavesta,egendom,avbrott,TB,probres,forstorda);
resegendom=kostnader(:,1).*kostnader(:,4);
resavb=kostnader(:,2).*kostnader(:,4);
res(4,1)=sum(resegendom);
res(4,2)=sum(resavb);
riskprof(:,10)=kostnader(:,4)
riskprof(:,11)=kostnader(:,1)
riskprof(:,12)=kostnader(:,2)

[probres,forstorda]=spridning(5,sprid);
kostnader=forvantadavesta,egendom,avbrott,TB,probres,forstorda);
resegendom=kostnader(:,1).*kostnader(:,4);
resavb=kostnader(:,2).*kostnader(:,4);
res(5,1)=sum(resegendom);
res(5,2)=sum(resavb);
riskprof(:,13)=kostnader(:,4)
riskprof(:,14)=kostnader(:,1)
riskprof(:,15)=kostnader(:,2)
```

Fortsättning på nästa sida...

Forsättning på koden till Avestatest.m

```
[probres, forstorda]=spridning(6, sprid);  
kostnader=forvantadavesta(egendom, avbrott, TB, probres, forstorda);  
resegendom=kostnader(:,1).*kostnader(:,4);  
resavb=kostnader(:,2).*kostnader(:,4);  
res(6,1)=sum(resegendom);  
res(6,2)=sum(resavb);  
riskprof(:,16)=kostnader(:,4)  
riskprof(:,17)=kostnader(:,1)  
riskprof(:,18)=kostnader(:,2)
```

```
[probres, forstorda]=spridning(7, sprid);  
kostnader=forvantadavesta(egendom, avbrott, TB, probres, forstorda);  
resegendom=kostnader(:,1).*kostnader(:,4);  
resavb=kostnader(:,2).*kostnader(:,4);  
res(7,1)=sum(resegendom);  
res(7,2)=sum(resavb);  
riskprof(:,19)=kostnader(:,4)  
riskprof(:,20)=kostnader(:,1)  
riskprof(:,21)=kostnader(:,2)
```

```
[probres, forstorda]=spridning(8, sprid);  
kostnader=forvantadavesta(egendom, avbrott, TB, probres, forstorda);  
resegendom=kostnader(:,1).*kostnader(:,4);  
resavb=kostnader(:,2).*kostnader(:,4);  
res(8,1)=sum(resegendom);  
res(8,2)=sum(resavb);  
riskprof(:,22)=kostnader(:,4)  
riskprof(:,23)=kostnader(:,1)  
riskprof(:,24)=kostnader(:,2)
```

```
[probres, forstorda]=spridning(9, sprid);  
kostnader=forvantadavesta(egendom, avbrott, TB, probres, forstorda);  
resegendom=kostnader(:,1).*kostnader(:,4);  
resavb=kostnader(:,2).*kostnader(:,4);  
res(9,1)=sum(resegendom);  
res(9,2)=sum(resavb);  
riskprof(:,25)=kostnader(:,4)  
riskprof(:,26)=kostnader(:,1)  
riskprof(:,27)=kostnader(:,2)
```

```
test=res;
```

Kommentarer:

Avestatest.m är motsvarigheten till Test.m fast för Avesta Sheffield's byggnad.

Forvantadavesta.m

```
function kostnader=forvantadavesta(egendom,avbrott,TB,probres,forstorda)

info=forstorda;
x=length(forstorda(1,:));
y=length(forstorda(:,1));
for n=1:y
    info(n,x+1)=probres(n);
end

for n=1:y          %Egendomskostnader
    summa=0;
    for i=1:x
        if info(n,i)==1
            summa=summa+egendom(i);
        end
    end
    kostnader(n,1)=summa;
end

prodminus=[0 0.5 0 0.5 0 0 0 0 0;
            0.5 0 0 0.5 0 0 0 0 0;
            0 0.5 1 0.5 0 0 0 0.8 0;
            0.5 0 1 0.5 0 0 0 0.8 0;
            0 0.5 1 0.5 0 0.2 0 0 0 ;
            0.5 0 1 0.5 0 0.2 0 0 0 ]
produktion=[1 0.5 1 0.5 1 1 1 1 1;
            0.5 1 1 0.5 1 1 1 1 1;
            1 0.5 1 0.5 1 1 1 0.8 1;
            0.5 1 1 0.5 1 1 1 0.8 1;
            1 0.5 1 0.5 1 0.2 1 1 1 ;
            0.5 1 1 0.5 1 0.2 1 1 1]
clear avbrottslangd
for n=1:y          %Avbrottskostnader
    summa=0;
    produktion1=produktion
    for i=1:x
        if info(n,i)==1
            produktion1(:,i)=produktion(:,i)-prodminus(:,i)
            avbrottslangd(i)=1

            else
                avbrottslangd(i)=0
            end
        end
    end
    for i=1:x
        if avbrottslangd(i)==1
            avbrottet(i)=avbrott(i);
        else
            avbrottet(i)=0;
        end
    end

    res=prod(produktion1,2);
    faktor=sum(res);
    kostnader(n,2)=TB*(1-faktor)*max(avbrottet);
end
```

Fortsättning på nästa sida...

Forsättning på koden till Forvantadavesta.m

```

summaegen=0;
summaavbrott=0;
for n=1:y %Förväntad kostnad
    summaegen=summaegen+(kostnader(n,1)*probres(n));
    summaavbrott=summaavbrott+(kostnader(n,2)*probres(n));
end
format bank
summaegen
summaavbrott

```

```

%Riskprofil
kostnader(:,4)=probres;
kostnader=sortrows(kostnader,[1]);
for n=1:y
    i=y-n+1;
    if n==1
        kostnader(i,5)=kostnader(i,4);
    else
        kostnader(i,5)=kostnader(i,4)+kostnader(i+1,5);
    end
end
hold on
plot(kostnader(:,1),kostnader(:,5),'b')

kostnader=sortrows(kostnader,[2]);
for n=1:y
    i=y-n+1;
    if n==1
        kostnader(i,5)=kostnader(i,4);
    else
        kostnader(i,5)=kostnader(i,4)+kostnader(i+1,5);
    end
end
plot(kostnader(:,2),kostnader(:,5),'g')

```

```

kostnader=sortrows(kostnader,[3]);
for n=1:y
    i=y-n+1;
    if n==1
        kostnader(i,5)=kostnader(i,4);
    else
        kostnader(i,5)=kostnader(i,4)+kostnader(i+1,5);
    end
end
plot(kostnader(:,3),kostnader(:,5),'r')
grid

```

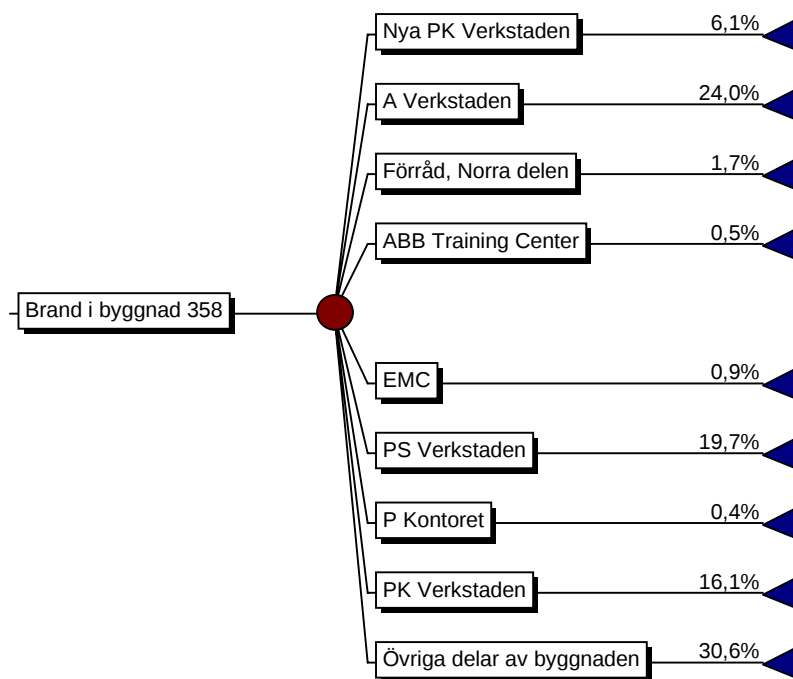
Kommentarer:

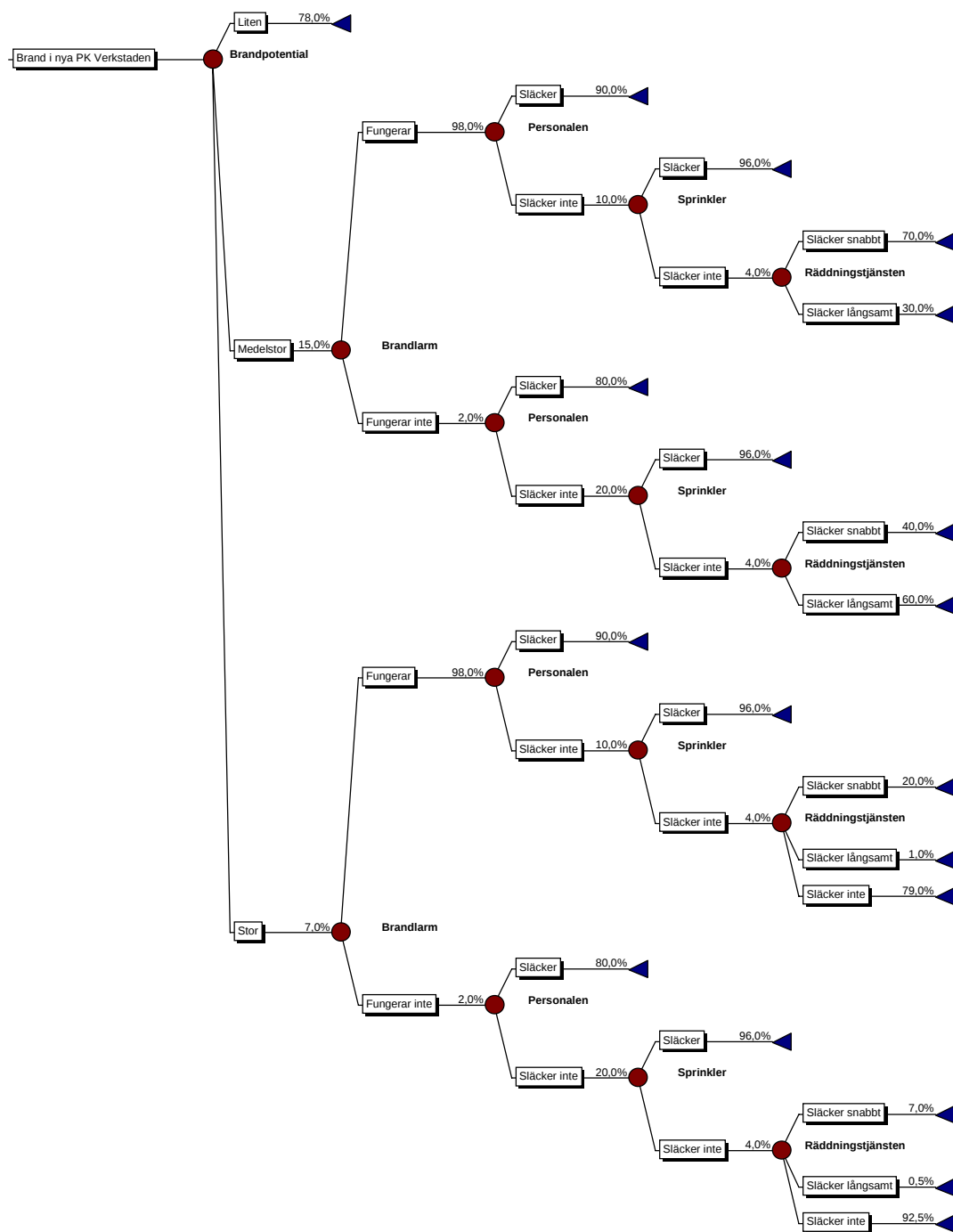
Forvantadavesta.m är motsvarigheten till Forvantad.m fast för Avesta Sheffield's byggnad.

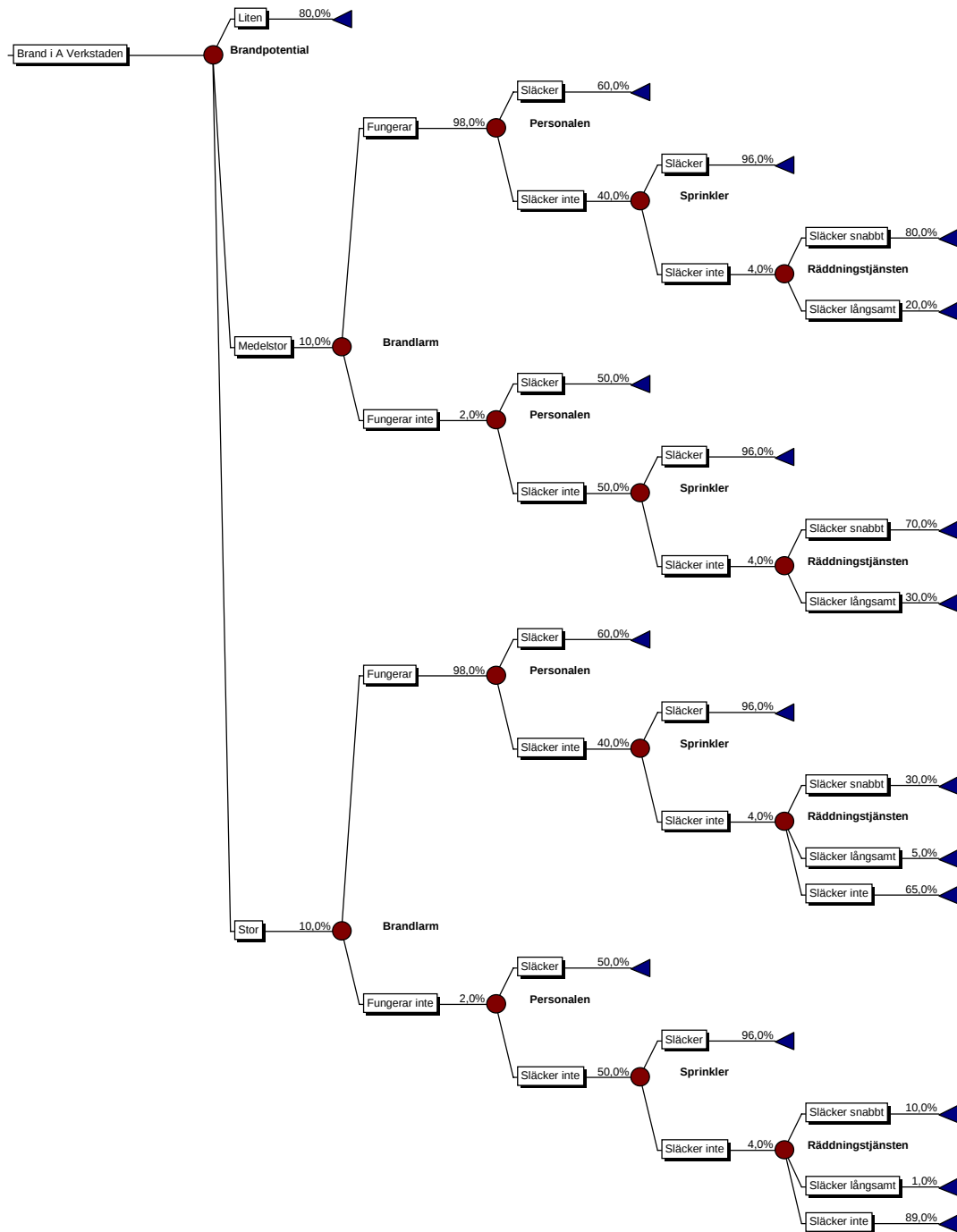
Bilaga 4, Händelseträd för brand i byggnad 358 (ABB)

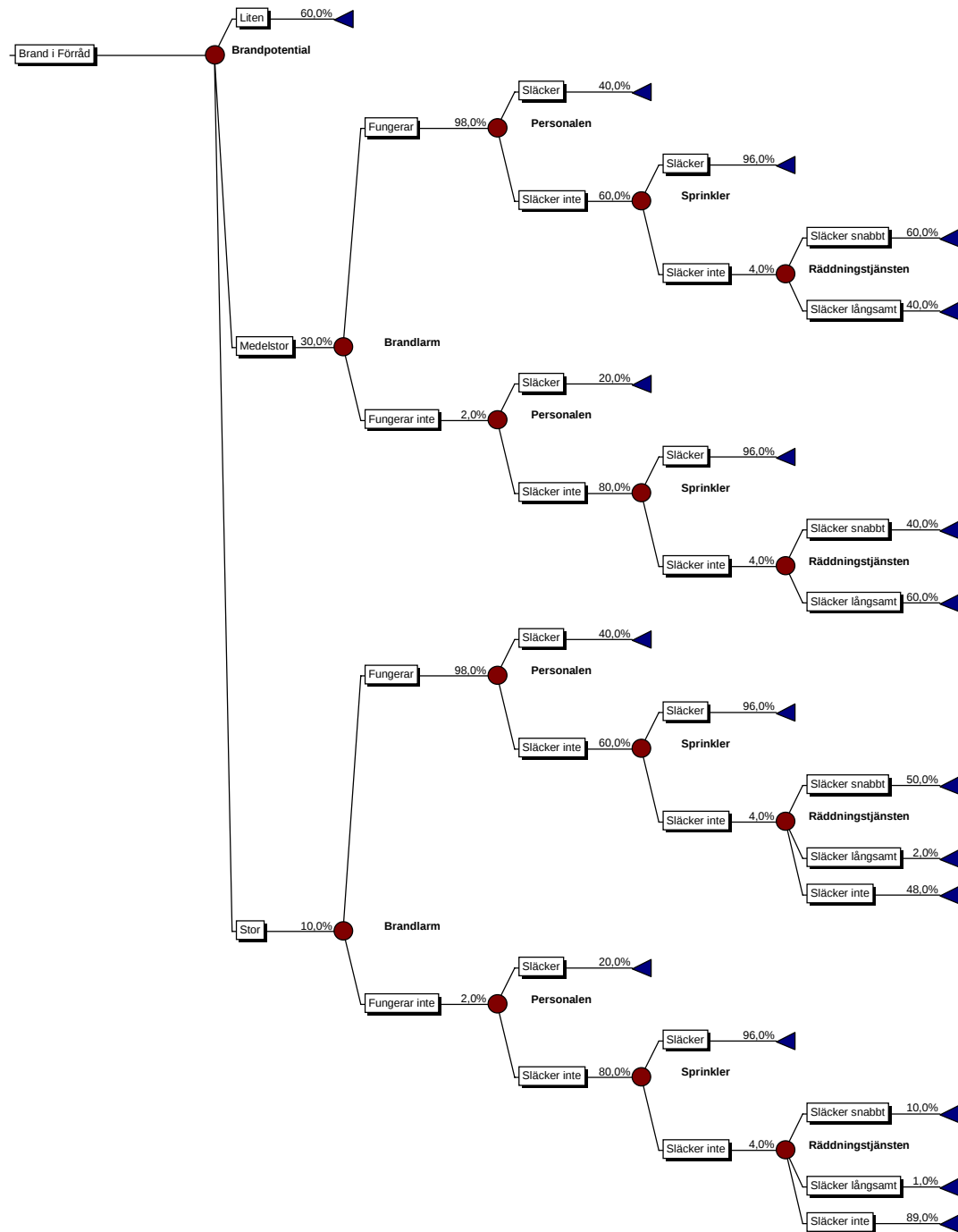
Denna bilaga innehåller det händelseträd som använts som modell för vad som kan hända då en brand uppstår i byggnad 358. Händelseträdet innehåller de sannolikheter som använts i den deterministiska analysen.

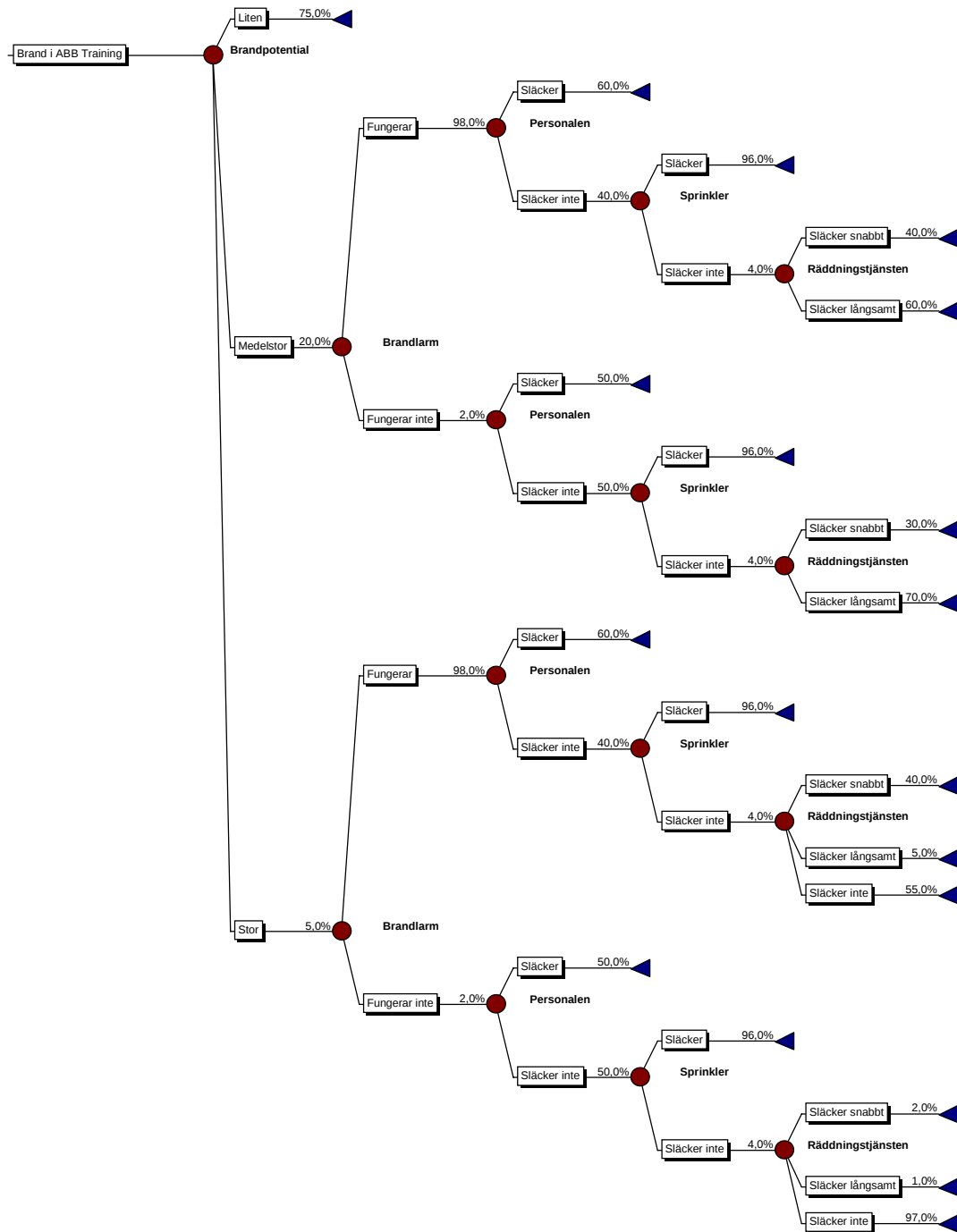
Eftersom det totala händelseträdet är mycket stort redovisas det i uppdelad form. Initialhändelsen i trädet redovisas på denna sida och är "Brand i byggnad 358". Därefter följer en sannolikhetsnod, vilken beskriver sannolikheten att branden börjar i olika områden i byggnaden. Fortsättningen på trädet redovisas på de efterföljande sidorna där uppdelningen har skett efter de olika områdena.

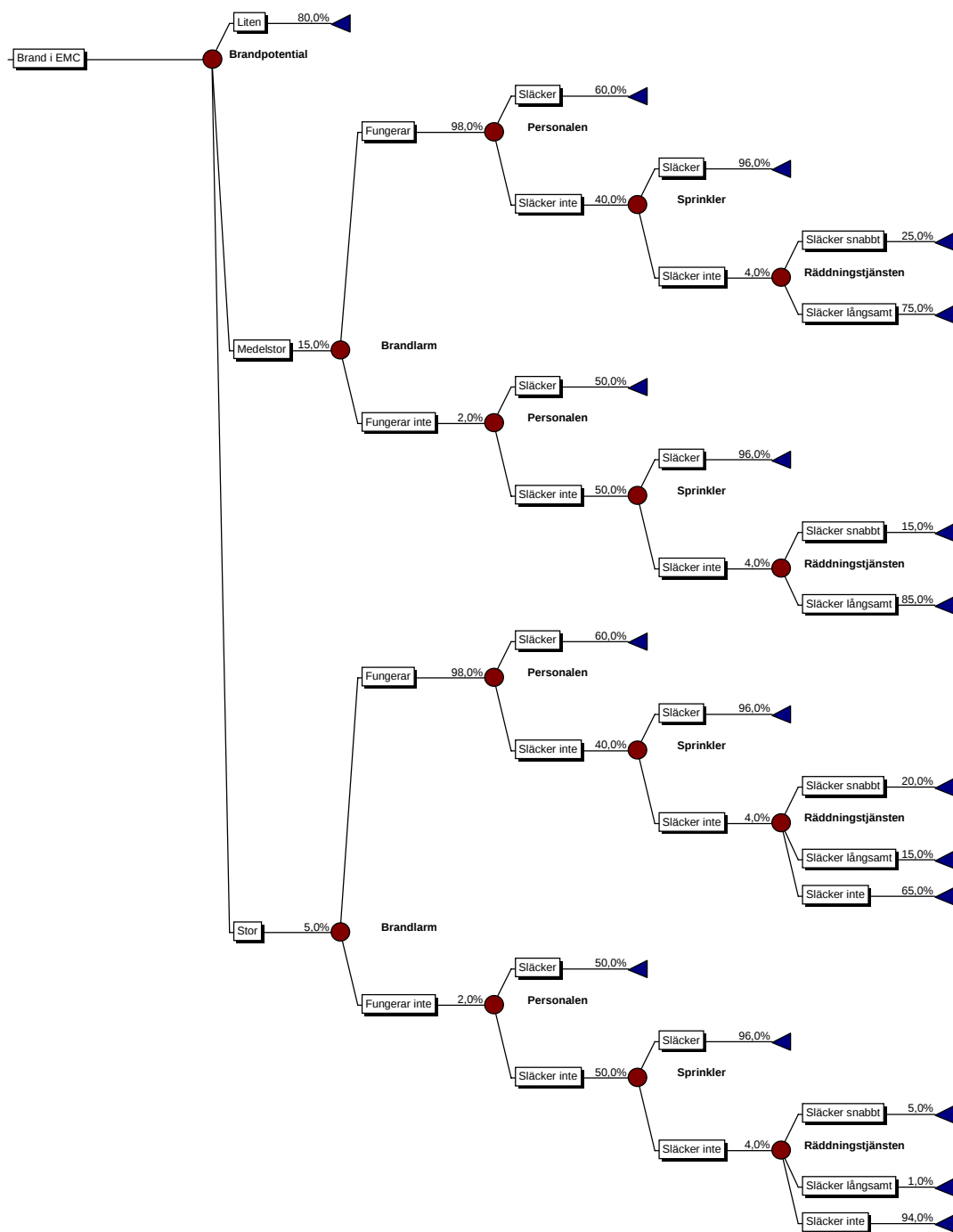


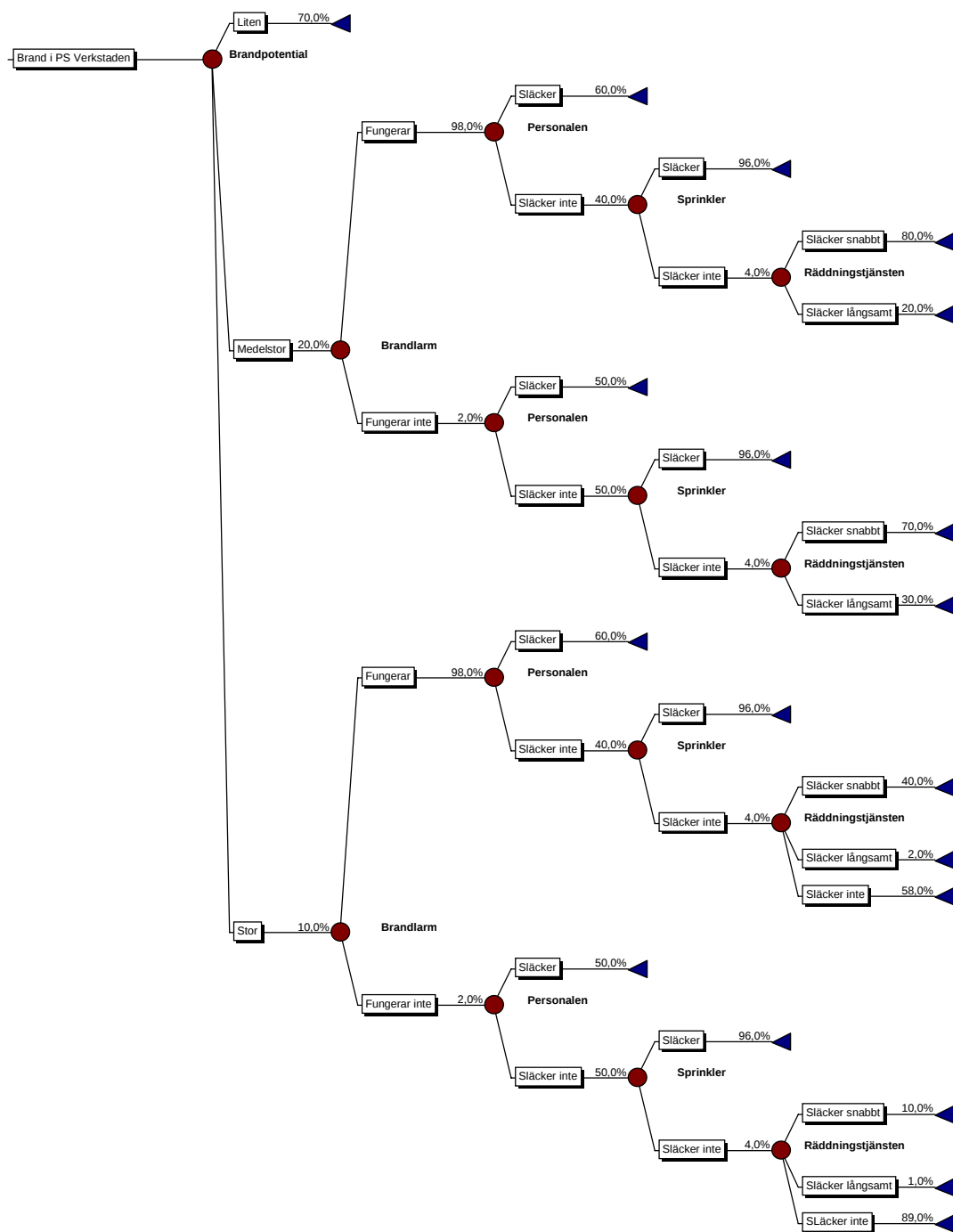


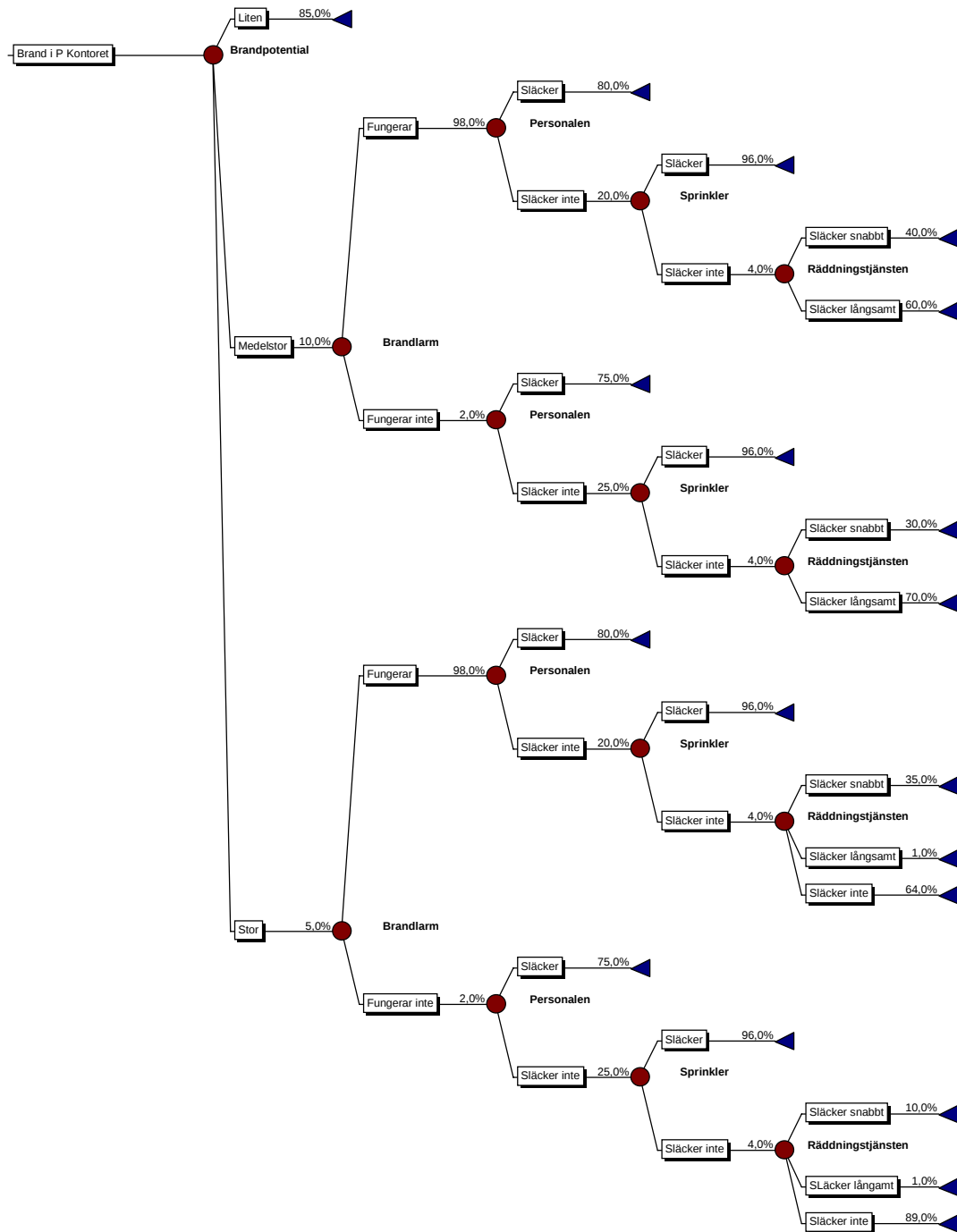


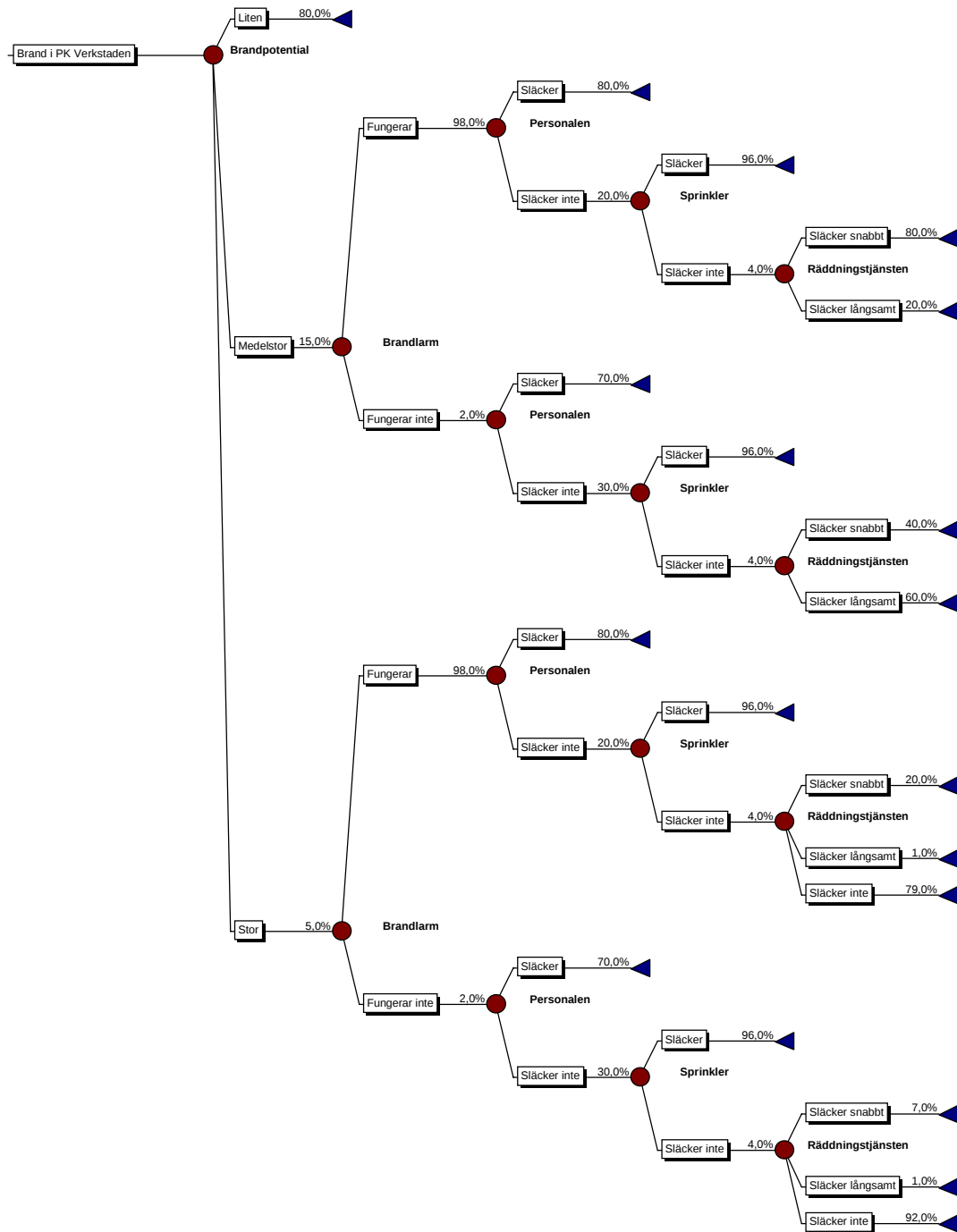












Bilaga 5, Händelseträd för brand i Avesta Sheffield's kallvalsverk

I denna bilaga redovisas händelseträdet som används för att beskriva möjliga brandutvecklingar givet att brand uppkommit i kallvalsverket. På grund av att händelseträdet är mycket stort presenteras det i uppdelad form. Initialhändelsen är "Brand i kallvalsverket" och denna initialhändelsen och den efterföljande sannolikhetsnoden redovisas på denna sida. Därefter sker redovisningen per område.

