



# LUND UNIVERSITY

## Kostnad-Nytta av Industrins Brandskyddsåtgärder- En pilotstudie av beslutsanalysens faktiska förutsättningar

Mattsson, Magnus

1997

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Mattsson, M. (1997). *Kostnad-Nytta av Industrins Brandskyddsåtgärder- En pilotstudie av beslutsanalysens faktiska förutsättningar*. (LUTVDG/TVBB--3098--SE; Vol. 3098). Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.

*Total number of authors:*

1

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

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

### Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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

Brandteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Lunds Universitet



**Department of Fire Safety Engineering**  
Lund Institute of Technology  
Lund University

**Report 3098**

# **Kostnad-Nytta av Industrins Brandskyddsåtgärder**

*—En pilotstudie av beslutsanalysens faktiska förutsättningar—*

**Rapporten har finansierats av BRANDFORSK**

**Magnus Mattsson**

**Lund 1997**

**ISSN 1102-8246**  
**ISRN LUTVDG/TVBB--3098--SE**

**BRANDFORSK projekt No. 101-971**

**Title:** Cost-Benefit of Industrial Fire Protection (A preliminary study of the feasibility of the decision analysis methodology)

**Author:** Magnus Mattsson

**Keywords:** Cost-benefit, decision analysis, risk assessment, thermal damage, non-thermal damage, indirect losses, computer models, industrial fire protection, decision-making.

**Abstract:** The aim of this report has been to investigate whether the decision analysis methodology fulfils the demands from the industrial decision-makers concerning the most cost-effective fire protection alternative. The report also contains a sensitivity analysis to demonstrate which parameters that has great importance to the validity of the model.

A fictive example has been defined; Termoplast AB. A decision analysis has then been carried out with estimated inputs. These inputs have some uncertainties part of the estimation that has been done and part of reality factors. To show how these uncertainties effect the model a deterministic and probabilistic sensitivity analysis has been carried out. Observe that the benefit in this report is the same as a minimisation of the risk cost consisting of insurance premiums, annual cost of fire protection and expected values of deductibles.

The decision analysis shows that the most cost-effective alternative is sprinkler with a deductible level of 100 000 Skr. What is of more importance is that the sensitivity analysis shows that the estimated losses (both direct and indirect) and statistical basic data have great importance to the validity of the model. Further more the insurance premium and the annual cost of fire protection have no or very little importance.

The second part of the report consists of a summary and an identification of problems concerning the underlying models to predict both losses and occurrence of fires. Finally a suggestion of some future research areas has been given. (SWEDISH)

**© Copyright Institutionen för brandteknik**  
**Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet, Lund 1997**

**Omslag/Layout/Figurer/Diagram:** Magnus Mattsson

# Sammanfattning

Denna rapport är utförd på uppdrag av Styrelsen för Svensk Brandforskning, BRANDFORSK. Dessutom är den ett projektarbete i ”Problembaserad Brandteknisk Riskhantering” som är den avslutande kursen på Brandingenjörsutbildningen vid Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet.

Målet har varit att undersöka om den beslutsanalytiska metodiken kan uppfylla de krav som finns från industriella beslutsfattare angående mest kostnadseffektiva skyddsåtgärd mot brand. Arbetet skall också innehålla en känslighetsanalys för att utreda vilka parametrar som får utslagsgivande inverkan på modellens giltighet.

Under arbetet har ett fiktivt exempel definierats; Termoplast AB. En beslutsanalytisk utredning har sedan utförts med uppskattade indata. Dessa indata är behäftade med osäkerheter, dels från den uppskattning som gjorts och dels från verkliga faktorer. För att visa på hur dessa osäkerheter påverkar resultatet har en deterministisk och probabilistisk känslighetsanalys utförts. Observera att nyttan likställs med en minimering av riskkostnaden bestående av försäkringspremier, kostnad för förebyggande åtgärder och självrisker.

Den beslutsanalytiska utvärderingen visar på att sprinkler med en självrisknivå om 100 000 Skr är det mest kostnadseffektiva alternativet. Vad som dock är av större betydelse är att analysen pekar på vikten av korrekta uppgifter avseende skadekostnader och statistiskt underlag. Vidare så är inverkan av premiekostnad och kostnad för förebyggande åtgärder liten.

Andra delen av rapporten innehåller en summering och problemidentifikation av de underliggande modellerna. Två sätt att bedöma skadekostnader har identifierats: expertsystem och expertbedömningar. Det finns dock ett antal grundläggande problem: (1) modellerna innehåller inga detaljerade modeller för icke-termiska skador, (2) de termiska skademodellerna innehåller så pass många förenklingar och antaganden att resultatet innehåller stora eller ej kvantifierbara osäkerheter och (3) det finns inget underlag för att bedöma indirekta kostnader. Ytterligare ett problem är de ofta mycket komplexa industrilokalerna. Brandtillväxt- och brandspridningsmodellerna kräver en förenkling till enkla geometrier.

Om den beslutsanalytiska modellen skall få en praktisk användbarhet inom det riskförebyggande arbetet måste den förenklas och effektiviseras genom fortsatt FoU-arbete. Detta bör innehålla:

1. Ett antal fördjupade fältstudier för att samla kunskap om de olika typindustrierna och slutgiltigt fastställa ett grundverktyg för kostnad-nytta analyser.
2. En insamling och sammanställning i databaser av statistik underlag.
3. En förenkling av slutprodukten till ett datorprogram.
4. En vidare utveckling och förbättring av skademodellerna för termiska och icke-termiska skador.
5. En vidare utredning av indirekta förluster med målet att skaffa internationella erfarenheter samt att utreda hur dessa påverkar företagets möjlighet till överlevnad.

# Summary

The aim of this report is to investigate whether the decision analysis methodology fulfils the demands from the industrial decision-makers concerning the most cost-effective fire protection alternative. The work should also contain a sensitivity analysis to demonstrate which parameters that has great importance to the validity of the model.

To do this a fictive example has been defined; Termoplast AB. A decision analysis has then been carried out with estimated inputs. These inputs have some uncertainties part of the estimation that has been done and part of reality factors. To show how these uncertainties effect the model a deterministic and probabilistic sensitivity analysis has been carried out. Observe that the benefit in this report is the same as a minimisation of the risk cost consisting of insurance premiums, annual cost of fire protection and expected values of deductibles.

The decision analysis shows that the most cost-effective alternative is sprinkler with a deductible level of 100 000 SKr. What is of more importance is that the sensitivity analysis shows that the estimated losses (both direct and indirect) and statistical basic data have great importance to the validity of the model. Further more the insurance premium and the annual cost of fire protection have no or very little importance.

The second part of the report consists of a summary and an identification of problems concerning the underlying models to predict both losses and occurrence of fires. This part points out two main models to predict losses; expert systems and expert judgements. There are some basic problems in carrying out these analysis; (1) the systems contains no detailed models for non-thermal damage, (2) the thermal damage models demands simplifications and inputs that are hard to carry out respectively does exist insufficient and (3) there exists no methods for determine the indirect losses. It is also important to note the fact that the simplified models that exists today seldom gives accurate results due to the very complex environment in industries.

If the decision analysis methodology should have any potential in risk assessment some further studies has to be done. These include:

1. A number of deeper field studies of some typical industries. These further studies should also contain a development of a model constructed to calculate the environmental factors due to fire.
2. A compilation of statistical data connected to the typical industries that are identified during the investigation mentioned above.
3. A simplification of the model to a computer program.
4. An investigation consisting of literature studies and experiment to make the thermal and non-thermal damage clear.
5. An investigation of indirect losses with the aim of collecting international experiences concerning the damage to the industries.

If these items are carried out the decision analysis methodology has a great potential in risk assessments.  
(SWEDISH)

Swedish Fire Research Board (BRANDFORSK) has financed the report

# Förord

Denna rapport är utförd på uppdrag av Styrelsen för svensk Brandforskning, BRANDFORSK\*. Den utgör dessutom ett projektarbete i ”Problembaserad Brandteknisk Riskhantering”, VBR 135, som är den avslutande kursen på Brandingenjörsutbildningen vid Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet.

I detta BRANDFORSKprojekt ingår även rapporten *Pilotstudie av kostnad-nyttan av industrins brandskyddsåtgärder*, rapport 3097, som syftar till att sammanfatta det utredande arbetet och konkretisera det fortsatta FoU-arbetet.

Projektarbetet har kontinuerligt följts av en referensgrupp sammansatt av följande medlemmar:

- ◆ Tommy Arvidsson, BRANDFORSK
- ◆ Lars Evre, Telia nättjänster
- ◆ Nils Fröman, Pharmacia & Upjohn
- ◆ Ingemar Grahn, Avesta Sheffield
- ◆ Lennart Klang, Göta Lejon Försäkrings AB
- ◆ Sven Erik Magnusson, Institutionen för Brandteknik, LTH
- ◆ Erik Nilsson, SSAB Svenskt Stål AB
- ◆ Anders Olsson, TryggHansa Försäkrings AB
- ◆ Bo Sidmar, Asea Brown Boveri AB
- ◆ Lennart Strandberg, KREAFOR AB
- ◆ Lars Thorstensson, SAAB AB
- ◆ Ola Åkesson, Räddningsverket

Rapporten är en pilotstudie, d.v.s. den gör inget anspråk på att utveckla en färdig modell utan syftar till att utreda och klargöra vilka förutsättningar som finns för den beslutsanalytiska metodiken.

Rapporten består av två delar:

- ◆ Huvuddel
- ◆ Appendix

I huvuddelen behandlas grundbulten i projektet, m.a.o. den beslutsanalytiska metodikens potential inom industriellt beslutsfattande. I Appendix finns de bakomliggande teoretiska resonemangen samt beskrivningar av använd och framtida möjliga programvara.

Alla referenser redovisas som en not. I kapitel 7, ”Referenser”, återfinns motsvarande publikation.

Jag vill framförallt tacka professor Sven Erik Magnusson för hans handledning och BRANDFORSK som finansierat arbetet. Dessutom förtjänar personalen på Institutionen för Brandteknik ett stort tack för deras outtröttliga vilja att hjälpa till.

**Lund, 11:e december 1997**

**Magnus Mattsson**

\* Styrelsen för svensk brandforskning, BRANDFORSK, är statens, försäkringsbranschens och industrins gemensamma organ för att initiera, bekosta och följa upp olika slag av brandforskning. Huvudman för BRANDFORSK är Svenska Brandförsvarsförbundet och verksamheten leds av en programstyrelse och bedrivs i form av projekt vid universitet och högskolor, forskningsinstitut, myndigheter och företag.

# Nomenklatur och förkortningar

B	=	Företagets tillgångar (Skr)
C	=	Kostnad per år för förebyggande åtgärder (Skr)
c	=	Specifik värme (kJ/kg·K)
E	=	Energidos (J/m <sup>2</sup> )
F	=	Synfaktor
h	=	Värmeövergångstal (W/m <sup>2</sup> K)
I	=	Försäkringspremie (Skr)
k	=	Värmeledningstal (J/m·K)
M	=	Största skadekostnad (Skr)
m	=	Minsta skadekostnad (Skr)
P	=	Sannolikhet
p	=	Antal bränder per år (år <sup>-1</sup> )
q	=	Värmestrålning (kW/m <sup>2</sup> )
T	=	Total riskkostnad eller temperatur (Skr/°C alt °K)
U	=	Nyttovärde
x	=	Förväntat värde av självrisker (Skr)
θ	=	Riskaversionskoefficient
ε	=	Emissionsfaktor
σ	=	Stefan Boltzmanns konstant (5.67·10 <sup>-8</sup> W/m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup> )
ρ	=	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )
t	=	Tid (sekunder)

## Index

c	=	Konvektiv
cr	=	Kritisk
eff	=	Effektiv
f	=	Flamman
g	=	Rökgaslager
gm	=	Gasmassa
0	=	Initial
k	=	Omgivande konstruktioner
r	=	Strålning
tot	=	Total

## Förkortningar

EML	=	Estimated Maximum Loss
EMV	=	Expected Monetary Value
EPRI	=	European Parliaments Research Institute
EVPI	=	Expected Value of Perfect Information
FMRC	=	Factory Mutual Research Corporation
FOA	=	Försvarets Forskningsanstalt
NBS	=	Northern Boundary Section
NFPA	=	National Fire Protection Association
NIST	=	National Institute of Standards and Technology
RH	=	Relative Humidity
RTI	=	Response Time Index
SBF	=	Svenska Brandförsvarsförbundet

# Innehållsförteckning

	Sida
<b>SAMMANFATTNING</b>	<b>iii</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>iv</b>
<b>FÖRORD</b>	<b>v</b>
<b>NOMENKLATUR OCH FÖRKORTNINGAR</b>	<b>vi</b>
<b>1 INTRODUKTION.....</b>	<b>3</b>
1.1 Bakgrund.....	3
1.2 Översikt.....	5
<b>2 RISKKOSTNADENS SAMMANSÄTTNING.....</b>	<b>7</b>
2.1 Försäkringspremien.....	7
2.2 Brandskydd - kostnader och alternativ .....	8
2.2.1 Allmän problemidentifikation .....	8
2.3 Statistiskt underlag.....	8
2.3.1 Statistik om inträffade bränder, räddningsinsatser mot brand och skadekostnader.....	9
2.3.2 Brand i byggnad, först antända föremål, skador och dödsfall.....	9
2.3.3 Tillförlitlighet hos skyddssystem och andra komponenter .....	9
2.3.4 Allmän problemidentifikation .....	10
2.4 Direkta skadekostnader orsakade av brand.....	10
2.4.1 Beräknings- och bedömningsmetoder.....	10
2.4.2 Expertsystem – kvantitativ deterministisk konsekvensanalys.....	11
2.4.3 Brandtillväxt- och brandspridningsmodeller.....	11
2.4.4 Påverkans- och skad modeller .....	12
2.4.5 Skadekriterier.....	12
2.4.6 Allmän problemidentifikation .....	12
2.5 Indirekta skadekostnader orsakade av brand .....	13
2.5.1 Nuvarande kunskapsläge .....	13
2.5.2 Beräkningsmetoder .....	14
2.5.3 Allmän problemidentifikation .....	15
<b>3 BESLUTSANALYS - TEORETISK BAKGRUND.....</b>	<b>17</b>
3.1 Deltagare i beslutsanalysen.....	17
3.2 Arbetsgång .....	17
3.2.1 Formuleringsfas.....	18
3.2.2 Deterministisk fas.....	18
3.2.3 Probabilistisk fas .....	19
3.2.4 Utvärderingsfas .....	19
3.2.5 Kommunikationsfas.....	19
<b>4 NOLLSTUDIE AV EN TYPINDUSTRI.....</b>	<b>21</b>
4.1 Introduktion till Termoplast AB .....	21
4.1.1 Beskrivning av lokalen.....	21
4.1.2 Problembeskrivning .....	21
4.2 Deltagare i arbetsgruppen .....	22
4.3 Formulering av problemet.....	22
4.4 Kostnadsidentifiering.....	24
4.5 Beräknade skadefall.....	25
4.5.1 Brand i hydrauloljeläckage.....	26
4.5.2 Brand i färdigvarulager.....	27



4.5.3 Kabelbrand .....	27
4.6 Val av beslutsmodell.....	28
4.7 Deterministisk utvärdering av förväntad årskostnad .....	30
4.8 Deterministisk känslighetsanalys.....	36
4.9 Sammanfattning av den deterministiska utvärderingen.....	38
<b>5 METODER FÖR ATT UTFÖRA EN MER DETALJERAD ANALYS.....</b>	<b>41</b>
5.1 Riskkattityden .....	41
5.1.1 Nyttoteori .....	41
5.1.2 Nyttofunktioner .....	42
5.1.3 Riskkattityder mot skadekostnader .....	43
5.2 Riskprofiler .....	48
5.2.1 Olika typer av riskprofiler.....	48
5.2.2 Jämförelse av riskprofiler .....	48
5.2.3 Konstruktion av en riskprofil .....	49
5.3 Osäkerhetsanalys (Probabilistisk känslighetsanalys).....	51
5.3.1 Statistiska fördelningar.....	51
5.3.2 Fördelningen av skadekostnaden.....	52
5.3.3 Fördelning av sannolikheten för brand.....	52
5.3.4 Osäkerhetsanalys .....	53
5.3.5 Vilken metod skall användas?.....	56
5.4 Värdet av ytterligare information.....	<b>57</b>
5.4.1 Bakgrund.....	57
5.4.2 Förväntat värde av information.....	57
<b>6 SAMMANFATTNING, SLUTSATSER OCH FRAMTIDA FORSKNINGSBEHOV</b>	<b>59</b>
6.1 Sammanfattning .....	59
6.2 Praktiska slutsatser och en sammanställning av input från referensgruppen.....	59
6.3 Framtida forskningsbehov .....	61
<b>7 REFERENSER .....</b>	<b>63</b>
<b>APPENDIX A:</b> ” <i>Expertsystem – kvantitativ deterministisk konsekvensanalys</i> ”	
<b>APPENDIX B:</b> ” <i>Modeller för brandtillväxt och brandspridning</i> ”	
<b>APPENDIX C:</b> ” <i>Skador orsakade av brand</i> ”	
<b>APPENDIX D:</b> ” <i>Grundläggande sannolikhets- och statistikteori</i> ”	
<b>APPENDIX E:</b> ” <i>Beskrivningar av programvara</i> ”	

# 1 Introduktion

En mycket stor del av brandskadekostnaderna i Sverige (cirka 50%<sup>5</sup>) är förknippade med bränder i industrins lokaler och processer. Detta samtidigt som kraven på lönsamhet idag ställs mycket högt inom företagen. En av följderna har blivit att även kostnader för brandskyddsåtgärder måste vara ekonomiskt motiverade. Utöver de rent brandrelaterade trenderna sker också en fortlöpande samhällsutveckling som medför effekter på brandskador och hotbild. Denna utveckling innebär bl.a. att stora delar av tillverkningsindustrin har genomgått en stark strukturell förändring vilket medfört större värdekoncentrationer, mer komplexa anläggningar, mindre bemanning och mindre lagerhållning. Som en följd av detta krävs det nya strategier och metoder för att kunna uppnå verksamhetsmålen.

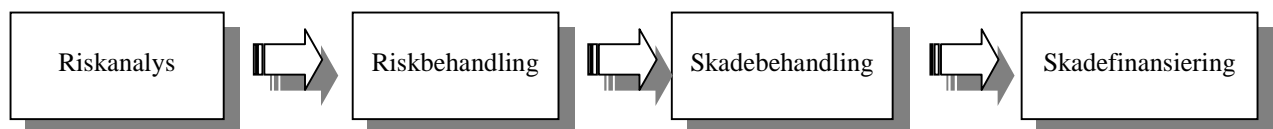
Till grund för detta projektet ligger BRANDFORSKs program för 1997-99<sup>5</sup> som pekar på just behovet av forskningsinsatser kring nytta och kostnad av brandskyddsåtgärder inom industrin för att på så sätt kunna bemöta de nya kraven.

Målet med rapporten är att:

1. Klargöra de faktiska förutsättningarna för att via beslutsanalytiska metoder optimera industrins brandskydd; d.v.s. finna mest kostnadseffektiv kombination av skyddssystem.
2. Redovisa tillgängliga beräkningsmodeller vad gäller brandtillväxt och brandspridning, termisk och icke-termisk belastning på kritiska komponenter och skador på dessa som ett resultat av påverkan.
3. Redovisa tillgängliga statistiska källor avseende brandinitiering och tillförlitlighet hos skyddssystem.
4. På grundval av vad som framkommit konkretisera det framtida forskningsbehovet.

## 1.1 Bakgrund

Risk management har, i olika former, funnits länge inom industrin för att på ett systematiskt sätt skydda verksamhetens resurser och inkomstmöjligheter mot bl.a. skaderisker som är sammankopplade med brand. Risk management processen kan enligt Hamilton<sup>19</sup> något förenklat beskrivas som i figur 1.1.



Figur 1.1: RM-processen.

Det är framförallt under risk- och skadebehandlingen som beslut måste fattas om den via riskanalysen identifierade risknivån kan accepteras. Beslutsfattaren eller beslutsfattarna kan därvid ställas för frågor av typen; Bör företaget öka eller minska brandsäkerheten? Vad är optimal säkerhet? Beroende på vilka preferenser och mål som finns kan härvid fyra olika beslutskriterier identifieras<sup>30</sup>; (1) nyttobaserade, (2) rättighetsbaserade, (3) teknologi-baserade eller (4) hybrid-kriterier. Denna rapport kommer att behandla de nyttobaserade, d.v.s. beslut baserade på en ekonomisk värdering av utfallen.

Modern beslutsteori innehåller väl definierade metoder för hur beslut under osäkerhet kan tagas av enstaka beslutsfattare. Baselementet i metodiken utgörs av händelse- och/eller beslutsträd vars konstruktion bl.a. kräver följande delaktiviteter:

## Kostnad-nytta av industrins brandskyddsåtgärder

- ◆ Listning av tillgängliga alternativ inklusive inhämtning av ny information.
- ◆ Listning av alla möjliga utfall förknippade med varje beslutsalternativ.
- ◆ Uppskattning av sannolikheten för varje utfall.
- ◆ Uppskattning av konsekvenserna för varje kombination av alternativa utfall.
- ◆ Formulering av beslutskriterier.
- ◆ Systematisk utvärdering.

De två väsentliga delarna av denna metodik är således dels att representera osäkerheter som sannolikheter, dels att mäta eller uppskatta i grunden olika storheter efter en gemensam numerisk skala.

Det existerar idag ett antal olika riskvärderingsmetoder (se vidare Knochenhauer och Magnusson<sup>29</sup>) anpassade för industrin. Tre exempel som innefattar en värdering av skadekostnaderna är:

- ◆ En beslutsanalytisk metodik enligt Ramachandran<sup>39</sup> som behandlar skyddssystemen för en industri baserat på skadeutfallen hos den totala populationen.
- ◆ Risk-indexmetoder för industrianläggningar, t.ex. Det Norske Veritas metod<sup>16</sup>.
- ◆ Cost-benefitanalyser<sup>8,30</sup>

Det finns dock vissa begränsningarna hos dessa metoder:

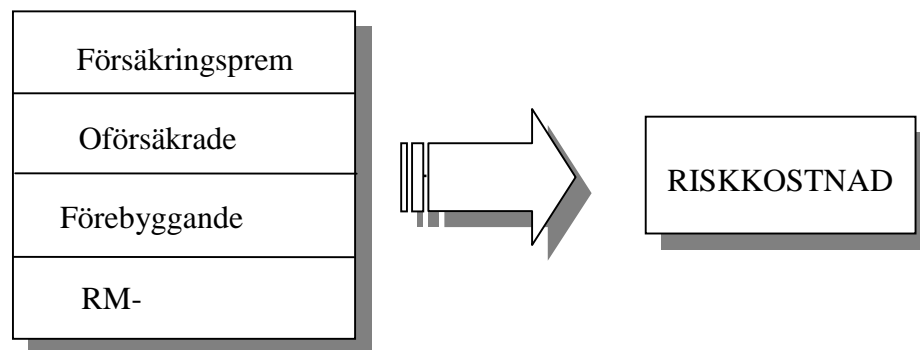
- ◆ Ramachandrans metod kan ej knytas till enstaka anläggningar.
- ◆ Index-metoden kan ej knytas till ekonomi.
- ◆ Cost-benefitanalyser är främst anpassade för värderingar utifrån ett samhällsperspektiv och innefattar oftast en värdering av människoliv.

På området teknologiska risker är den praktiska användningen av cost-benefitanalyser liten trots den tilltalande logiska och teoretiska uppbyggnaden. Orsakerna är flera<sup>30</sup>; oklarheter i själva matematiska strukturen, svårighet att integrera begreppet riskupplevelse och svårigheter i kvantifiering. Nackdelarna med de övriga två metoderna är att de endast tillåter en värdering av om den aktuella anläggning har en större eller mindre säkerhet än genomsnittet.

I motsatsförhållande till dessa fakta står att den gängse budgetmetoden inom industrin ofta är kostnadseffektivitet. Detta innebär att den maximala budget som kan användas för riskreducering definieras och resurserna fördelas sedan på sådant sätt att maximal riskreduktion (eller någon annan målsättning) erhålls. Grundbulten med denna rapport kommer därför att vara att undersöka om ett rationellt användande av en beslutsanalytisk metodik baserad på skadevärderingar för *en* specifik anläggning bättre kan uppfylla kraven.

Nytan av olika brandskyddsalternativ kan värderas på ett antal olika sätt, t.ex. som en minimering av riskkostnaden eller som en minimering av sannolikheten för storbrand. Eftersom denna rapport behandlar beslut baserade på kostnadseffektivitet kommer nytan att likställas med det förstnämnda alternativet; d.v.s. en minimering av riskkostnaden.

Riskkostnaden för ett företag brukar bestå av<sup>19</sup>; försäkringspremien, oförsäkrade skador (självrisker), kostnaden för förebyggande åtgärder och kostnaden för risk managements administration.



Figur 1.2: Riskkostnadens sammansättning.

Olika företag har olika sätt att debitera kostnader för olika resultatenheter varför riskkostnaden kan exkludera vissa delar men också inkludera andra.

## 1.2 Översikt

**Kapitel 2** inleder en diskussion kring riskkostnadens sammansättning, de olika delarnas storlek, deras betydelse för en kostnad–nytta analys samt en allmän problemidentifikation.

**Kapitel 3** beskriver kortfattat teorin bakom den beslutsanalytiska metodiken.

I **Kapitel 4** genomförs en nollstudie av ett fiktivt exempel; Termoplast AB. Detta är det viktigaste kapitlet i rapporten och bör läsas mycket ingående.

De metoder som presenteras i kapitel 4 utgör de mest grundläggande vid en beslutsanalytisk utredning. I **Kapitel 5** presenteras ett antal metoder som kan vara till hjälp då en mer förfinad analys skall göras.

Avslutningsvis presenteras sammanfattning, slutsatser och det framtida forskningsbehovet i **Kapitel 6**.

I **Appendix** återfinns mer detaljerade beskrivningar av den programvara som det refereras till i rapporten. Dessutom finns de teoretiska grunderna till påverkans- och skademodellerna och bakgrunden till vissa av de statistiska termer som används i rapporten.



## 2 Riskkostnadens sammansättning

I introduktionen påpekades det att det är av allra största vikt för företag idag att ha en kontroll över den totala riskekonomin för att på ett effektivt sätt kunna skydda verksamhetens mål och resurser. Som också nämndes i inledningen avser nyttan i denna rapport en minimering av riskkostnaden enligt figur 1.2. Den förväntade riskkostnaden på årsbasis kan enligt Ramachandran<sup>39</sup> skrivas som:

$$T = I + C + p \cdot x \quad (2.1)$$

där

- I = Försäkringspremie
- C = Kostnad för förebyggande åtgärder per år
- p = Antal bränder per år
- x = Förväntade storleken av självrisker, inkluderat indirekta eller dolda kostnader

Detta uttryck är centralt för beslutsanalysen varför de olika delarna kommer att behandlas noggrannare i detta kapitel. Delkapitlen skall var för sig försöka belysa vad som innefattas i de olika begreppen samt också försöka ge en allmän problemidentifikation.

### 2.1 Försäkringspremien

En försäkring skyddar företagets soliditet och likviditet och utjämnar resultatet vilket ger ett bättre cashflow. Kort uttryckt förvandlar en försäkring en okontrollerad riskexponering till en budgeterbar försäkringskostnad.

Vad det gäller premiesättningen har situationen förändrats på senare tid. Utvecklingen inom prissättning av industriförsäkring har gått från ett strikt tariffsystem mot en premieberäkning som grundas på individuella bedömningar av varje företag<sup>43</sup>. Därmed har mer av företagets brandskyddsarbete fått betydelse för premiens storlek, men det har också blivit svårare att se en direkt koppling mellan förebyggande åtgärder och premierabatt vilket kan vara en nackdel då företagen oftast vill kunna "räkna hem" vinsten. Försäkringsbolagen lägger också större vikt idag på företagets totala riskhantering, vilket kan innebära organisering, storlek på brandceller, vilka kontroller som finns mm, än tidigare. Dessutom har utbredningen av sk captives på den svenska marknaden också förändrat försäkringssituation. Om företaget har ett captive så drabbar premiereduktionen ändå företaget vilket föranleder vikten av att påpeka att målet med en skyddsinvestering inte skall göras för att få en lägre premiekostnad utan för att höja säkerheten. Under arbetet är det som tidigare nämnts av stor vikt att ha kontroll över den totala riskekonomin, en del i detta är att ha en god kännedom om den försäkringssituation som råder.

Självrisknivån är ett mått på hur pass stor risk som företaget är villigt att ta och får därmed också inverkan på premiens storlek. I Sverige tillämpas ofta en självrisknivå som utgår som en procentandel av basbeloppet och därutöver är anläggningsägaren fri att välja storlek. Undersökningar<sup>19</sup> har visat på att en kännbar självrisk väsentligt reducerar antalet skador. Detta är särskilt fallet då varje resultatenhets själv skall bära sin andel av självrisken och därför har ett direkt intresse av att hålla skadan nere.

## 2.2 Brandskydd - kostnader och alternativ

Det finns idag en mängd olika alternativ som kan betecknas skyddsåtgärder mot brand. De vanligast förekommande är:

- ◆ Sektionering
- ◆ Brandgasventilation
- ◆ Sprinkler
- ◆ Adresserbart larm (tidig upptäckt => tidig insats)
- ◆ Restvärdesskydd
- ◆ Utbildning av personalen (tidig upptäckt => tidig insats)
- ◆ Fasta släcksystem
- ◆ Industribrandkår

Vilka brandskyddsalternativ som är aktuella är förstås tätt sammankopplat med vilken verksamhet som bedrivs i lokalen samt också den lagstiftning som gäller. Det finns idag också en del lagstiftning som är funktionsbaserad. Detta innebär ett större utrymme för alternativa lösningar men också ett större ansvar för byggherren, varför det är av stor vikt för denne att försäkra sig om att de olika brandskyddsalternativen som företaget skall analysera uppfyller kraven.

Vilka delar som skall ingå i den årliga kostnaden för förebyggande åtgärder är helt beroende på det aktuella företagets sätt att debitera kostnader för respektive resultatenheter. De delar som dock bör ingå är: kapitalkostnaden, underhållskostnaden, avskrivningar samt vissa administrativa omkostnader. Övriga delar kan t.ex. vara kostnader för industribrandkår, kostnader för brandsyn mm. Uppgifter om storleken av de olika delkostnaderna kan erhållas dels från berörda parter och dels från liknande anläggningar

### 2.2.1 Allmän problemlösning

De brandtillväxt- och brandspridningsmodeller som finns att tillgå på marknaden är i de flesta fall utformade för att kvantitativt kunna analysera inverkan av sprinkler, ventilation och automatiska brandlarm medan tillgången av modeller för att analysera de övriga skyddsalternativen är begränsad. Det blir istället främst kunskapen inom det brandtekniska området som påverkar den kvalitativa bedömningen av skyddsverkan som måste göras. Kunskapsbasen inom detta område är stor men osystematiserad. Dessutom finns det brister kring icke-termiska skador och hur ventilation och sprinkler agerar tillsammans.

## 2.3 Statistiskt underlag

För att på ett korrekt sätt kunna utvärdera den förväntade skadekostnaden per år (p-x) krävs ett statistiskt underlag. Detta underlag måste innefatta alla de osäkerheter som är förknippade med brand. Mer specificerat innebär detta uppgifter om brandinitiering, brandorsak och tillförlitlighet hos skyddssystem. Dessutom kan information om skadekostnader vid liknande bränder vara en bra grund för de bedömningar som behöver göras. Den allmänt tillgängliga statistiken är ofta bristfällig och ostrukturerad varför den största källan bör vara företagets interna källor.

Nedan listas ett antal källor som kan utgöra ett underlag eller ett komplement till det interna underlag som företaget har tillgång till.

### **2.3.1 Statistik om inträffade bränder, räddningsinsatser mot brand och skadekostnader**

1. Kallstenius, A., "Drygt tre miljarder kronor brann upp förra året", Brand & räddning, Nr. 6-7, 1997, s 15-16
2. Nessvi, K., "Många bränder stannar vid tillbud", Brand & räddning, Nr. 6-7, 1997, s 17
3. Elbe, L., "Kostnaderna fortsätter att minska men bostadsbränderna ökar", Brand & räddning, Nr. 6-7, 1994, s 6-10
4. Elbe, L., "De stora brandproblemen kvarstår", Brand & räddning, Nr. 6-7, 1995, s 8-10
5. Elbe, L., "Färre döda trots fler bostadsbränder", Brand & räddning, Nr. 6-7, 1996, s 14-16
6. Räddningsverket, "Kommunala räddningstjänstinsatser under 1995", Aktuellt från Räddningsverket, Nr 7 maj 1997
7. Räddningsverket, "Räddningsinsatser 1996", 1997
8. Stanford Research Institute, "Fire Loss Control: A Reserach Report by the Long Range Planning Service", Report 349, 1968

### **2.3.2 Brand i byggnad, först antända föremål, skador och dödsfall**

1. BSI Standards - Fire, "Draft BS Guide to the Application of Fire Safety Engineering Principles to Fire Safety in Building", 1995
2. Fire Engineering Guidelines, First Edition, March 1996
3. NFIRS, "Summary of Fire Cause Categories for Structure Occupancy Classes", National Estimates – Report 25, 1997
4. Sveriges Försäkringsförbund, "B1-Statistik 1995; Under året antal inträffade skador", 1996
5. USFA, "Fire in the United States 1985-1994 (9th Edition)", 1995
6. Perry, B., "FPA Large Fire Analysis for 1984", Fire Prevention, Vol 195, 1986, s 15-21
7. Custer, R., "Fire Statistics and Their Use in Fire Protection", National Bureau of Standards, 1986

### **2.3.3 Tillförlitlighet hos skyddssystem och andra komponenter**

1. TUD-kansliet, "T-boken, Tillförlitlighetsdata för komponenter i nordiska kraftreaktorer", Studsvik Eco & Safety AB, Pörn Consulting, 1994
2. OREDA, "Offshore Reliability Data Handbook", Det Norske Veritas, Norge, 1992
3. Summary of Suggested Values for Fire Protection Systems Reliability
4. BHP Research, "The Effect of Fire in the Building at 140 William Street", 1992
5. LeClair, M., "Fire Door Performance Analysis", 1994
6. Center For Chemical Process Safety, "Guidelines for Process Equipment Reliability Data", 1989
7. Bukowski, R., "Balanced Design Concepts", NIST, 1996



Ytterligare referenser avseende tillförlitligheten hos skyddssystem kan erhållas i *Uncertainty analysis: Identification, Quantification and Propagation*<sup>31</sup>.

Dessutom kommer rapporter avseende tillförlitligheten hos skyddssystem från dels NIST och dels CIB/W14 Task Group att presenteras under 1997. Under slutet av 1997 kommer också rapporten *Real Fire Data*<sup>44</sup> att färdigställas. Denna är utarbetad av Stefan Särqvist, Institutionen för Brandteknik, och innehåller en sammanställning av statistik, baserat på en studie av 307 bränder i London under tidsperioden 1994-97, med avseende på bl.a. antändning, upptäckt och tillförlitligheten hos olika tekniska system.

### **2.3.4 Allmän problemidentifikation**

Det statistiska underlaget som finns allmänt tillgängligt är oftast bristfälligt eller ej anpassat för den aktuella industribyggnaden. Det finns inte heller någon sammanställning gjord för industriella byggnader. Det stora flertalet av datakällor som listats ovan är i och för sig i sig själva en sammanställning och synteser av rådata men den grundläggande frågan som kvarstår är i vad mån indata existerar för de olika typindustrier som kan identifieras inom näringslivet (se vidare kapitel 6). Många större företag med en väl utvecklad risk management funktion har dock oftast tillgång till intern statistik som, med lite modifiering, bör kunna utgöra en stor tillgång. Även om statistik för den specifika anläggningen finns tillgänglig kan det oftast uppstå problem med fördelning av denna för olika typbränder. Detta får därför oftast baseras på erfarenhetsmässiga bedömningar.

## **2.4 Direkta skadekostnader orsakade av brand**

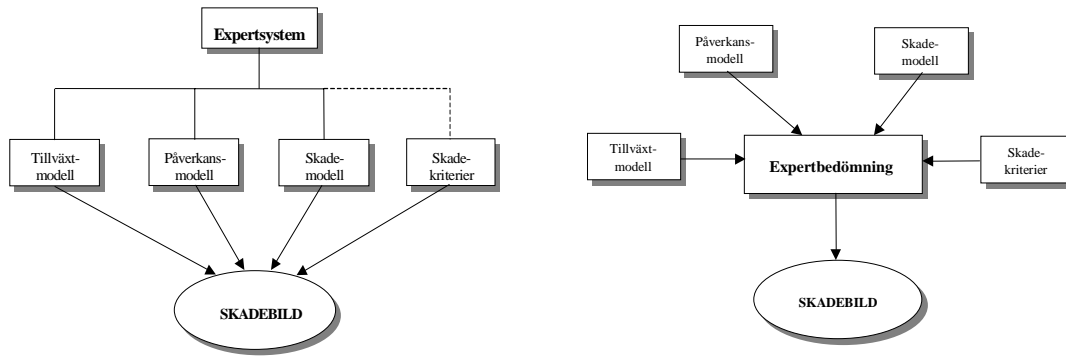
De skador och kostnader som uppstår som en direkt följd av brandens utbredning brukar benämnas direkta och är i allmänhet försäkrade. Trots att bränderna inom industrin endast motsvarar cirka 1% av det totala antalet bränder i Sverige står kostnaderna för dessa för cirka 50% av den totala skadekostnaden<sup>5</sup>. I dessa siffror finns förmodligen också ett stort mörkertal då tillbud och mindre bränder som innefattas i självrisken sällan redovisas.

### **2.4.1 Beräknings- och bedömningsmetoder**

För att kunna göra en beräkning/bedömning av skadekostnaden efter en brand krävs i första hand ett verktyg som ger en uppfattning om skadebilden (med skadebild avses vilka direkta och indirekta skador som en brand har orsakat och kan t.ex. innefatta påverkan på kritiska komponenter, antalet rökfyllda utrymmen, skador efter släckningsarbetet mm). Det finns i huvudsak tre olika sätt att göra detta på:

- ◆ Genom att använda ett integrerat expertsystem som ger kvantitativa resultat.
- ◆ Genom att göra en kvalitativ expertbedömning utifrån de modeller som finns tillgängliga.
- ◆ Genom att göra en semi-kvantitativ bedömning med hjälp av sk indexmetoder.

Ett expertsystem innebär att tillväxt-, påverkans- och skademodellen samt eventuellt skadekriterierna är integrerat i ett enda system/datorprogram (se figur 2.1). Exempel på sådana program är FREIA och ARGOS. Detta är den metod som kräver minst förkunskaper då systemet innehåller färdiga beräkningsmodeller. Med en expertbedömning avses att en "expert" gör en kvalitativ bedömning utifrån de tillgängliga modeller som han eller hon anser vara bäst lämpade för fallet (se figur 2.1). Denna metod kräver oftast brandingenjörskompetens eller motsvarande. Index-metoder kan t.ex. vara Dow-index<sup>16</sup> eller det Norske Veritas risk-index metod<sup>16</sup>. Dessa ger endast en bedömning om skadebilden är högre eller lägre än genomsnittet och är ej anpassade för beslutsanalysen varför dessa ej beskrivs närmare.



Figur 2.1: Olika struktur hos expertsystem respektive expertbedömning.

## 2.4.2 Expertsystem – kvantitativ deterministisk konsekvensanalys

Det finns idag väldigt få expertsystem som är anpassade för att utvärdera brandsäkerheten inom industrin. Behovet är stort men problemet är att finna en väl anpassad modell för att både kunna analysera tillväxt och spridning av branden samtidigt som de skador (t.ex. komponentpåverkan, icke-termiska skador mm) som denna orsakar kan utvärderas. Lösningen av de olika teoretiska resonemangen som ligger bakom skadeanalysen i de modeller som finns att tillgå tenderar till att bli så pass komplicerade att en mängd antaganden måste göras för att få detta hanterbart. Därmed blir osäkerheterna i utdata oacceptabla i många fall. För närvarande finns det två expertsystem att tillgå; (1) FREIA och (2) ARGOS (en utförligare beskrivning av dessa återfinns i Appendix A). Uppbyggnaden av tillväxt- respektive spridningsmodellen i FREIA och ARGOS är i stort sett baserad på samma zonmodell. Skillnaden mellan de två programmen ligger främst i metodiken som ligger bakom själva skadeanalysen. FREIA arbetar med teoretiskt grundade ekvationer för att beräkna den termiska belastningen som ett antal komponenten utsätts för. Resultatet blir en skadefaktor som anger förhållandet mellan upptagen dos och den dos som komponenten maximalt tål utan att skadas. ARGOS skadmodell utgörs istället av en erfarenhetsbaserad databas där komponenterna delas in efter skadekänslighet för värme, rök och släckvatten som sedan kopplas till påverkan som är beroende av var branden startar samt vilket skede som den befinner sig i. Resultatet blir procentuell skada av anskaffningsvärdet. Inget av programmen innehåller någon utförligare modell för icke-termiska skador.

## 2.4.3 Brandtillväxt- och brandspridningsmodeller

Det finns två typer av brandspridnings- och brandtillväxtmodeller; fältmodeller och zonmodeller.

Fältmodellerna (även kallade CFD-modeller, där CFD står för Computational Fluid Dynamics) delar upp rummet i ett antal små volymer (se figur B.1, Appendix B) och löser för varje sådan volym de partiella differentialekvationerna som beskriver balansen av massa, rörelsemängd, ämnen och energi för varje tidssteg. Beräkningarna blir mycket omfattande och simuleringarna kräver stora förberedelser. Fältmodeller används idag främst vid mycket komplicerade brandtekniska problem och har ingen större spridning inom industrin (se vidare Appendix B).

Mer kommersiellt spridda och användarvänliga är de sk zonmodellerna. Dessa förenklar rummet till att innefatta två lager (zoner); det övre varma och det undre kalla, där gastemperaturen och densiteten anses vara konstanta för respektive zon (se figur B.1, Appendix B). Programmet simulerar sedan bl.a. temperaturförändringar och ändringar i rökgaslagret genom att för varje tidssteg beräkna ändringen av massa och energi mellan zonerna. Alla zonmodeller är inte anpassade för de behov som finns inom industrin idag, dessutom är vissa specialiserade till att endast analysera vissa brandtekniska fall, t.ex. brandgasventilation, sprinklerinverkan mm. CFAST, FPETool och FASTLITE är de vanligaste programmen på marknaden och beskrivs närmare i Appendix B.

## 2.4.4 Påverkans- och skad modeller

En brand orsakar ofta väldigt komplexa skadebilder. Något förenklat kan dock skadorna delas upp i termiska och icke-termiska.

Med termiska avses de skador som uppkommer på grund av den värmetransport från flammorna, rökgaslagret och/eller de omgivande konstruktioner som finns. Denna värmetransport kan enligt klassisk teori delas upp i strålning, konvektion och ledning. Ofta är det endast de två förstnämnda som är aktuella vid en brand. En kort beskrivning av ett antal tillgängliga beräkningsmodeller presenteras i Appendix C.1.

Icke-termiska skador kan t.ex. innefatta sot, korrosion, lukt mm. Medan termiska skador på ett lite enklare sätt låter sig beräknas, förutsatt vissa antaganden, är det betydligt svårare att på samma sätt beräkna de icke-termiska då dessa är av en mindre fysikalisk karaktär. Betydelsen av de icke-termiska skadorna har mer och mer aktualiserats på senare tid då vissa typindustrier innehåller mer och mer komplexa, och därmed också känsliga, komponenter. De icke-termiska skadorna har också ökat i utsträckning p.g.a. införandet av mer plastmaterial inom byggbranschen. Nuvarande kunskap samt ett exempel på en praktisk utredning redovisas i Appendix C.2.

## 2.4.5 Skadekriterier

De funktionskriterier som kan ställas på en komponent kan vara av olika grad. En standardisering av hur dessa kriterier skall utformas bör upprättas. Det finns två sätt att ta fram dessa kriterier (a) genom expertutlåtande och (b) genom många och upprepade försök i fullskala eller modell. Det mest tillförlitliga är givetvis försöken men bristen på standardiserade provningsmetoder gör att det är svårt att jämföra resultat sinsemellan. Tillgången på skadekriterier avsedda för industrins behov är bl.a. därför mycket begränsad. En vidare problemidentifikation samt en beskrivning av en beräkningsmetod presenteras i Appendix C.1.

## 2.4.6 Allmän problemidentifikation

Skadekostnaden efter en brand varierar oerhört mycket från fall till fall varför en allmän bedömning utifrån statistik är svår att göra. Varje brandrisk är unik i sig och kräver i de allra flesta fall en enskild analys. Det finns både för och nackdelar med de två analysmetoderna som nämnts ovan, dock kan resultatet i form av en skadebild utgöra en bra grund för en beräkning eller bedömning av skadekostnaderna. Industriella lokaler innehåller ofta en stor mängd produktionslinjer och processer varför miljön tenderar till att bli mycket komplex. De förenklade modeller som finns idag för att beräkna brandtillväxt, brandspridning och termiska respektive icke-termiska skador förutsätter nästan uteslutningsvis att miljön måste generaliseras till enkla geometrier med ett antal nyckelkomponenter som är viktiga för verksamheten. Att på detta sätt schematisera en lokal är på ett intet sätt oproblemiskt. Dessutom finns det svårigheter i att beräkna själva påverkan som bl.a. beror på, Andersson<sup>1</sup>:

- ◆ Svårigheten att översätta den tidsberoende termiska påverkan (från antingen flammorna eller rökgaslagret eller en kombination av dessa) som komponenten utsätts för till ett mått som kan jämföras med de skadekriterier som finns.
- ◆ Lokala effekter på en komponent är svåra att modellera.
- ◆ Värmetransporten i själva komponenten kräver avancerade modeller p.g.a. komplicerade geometrier, olika material i komponenten, hålrum i komponenten mm.
- ◆ Mest kritiska del av komponenten är svår att hitta.

## 2.5 Indirekta skadekostnader orsakade av brand

De skador som uppkommer efter att branden är släckt och insatsen är avslutad benämns indirekta *skador*. Denna benämning skall inte förväxlas med indirekta eller oförsäkrade (dolda) *kostnader*. För vissa företag kan definitionerna överensstämja medan det för vissa företag kan skilja avsevärt då detta i hög grad är beroende av vilken försäkringssituation som föreligger (Exempelvis är brandavbrott en indirekt skada. Har företaget en försäkring mot detta är det inte en indirekt kostnad). Detta avsnitt kommer först att behandla de indirekta skadorna för att sedan återkoppla denna diskussion till försäkringssituationen, d.v.s. vilka *kostnader* som i själva verket är indirekta (= oförsäkrade eller dolda).

### 2.5.1 Nuvarande kunskapsläge

Det finns idag endast ett fåtal forskningsinsatser, t.ex. Riley<sup>41</sup> och Wilmot<sup>46</sup>, gjorda på området och dessa innefattar i huvudsak studier av ett antal storbränder. Orsaken till detta är att de indirekta skadorna ofta kan vara mycket komplexa och svåra att återföra till en specifik orsak. I indirekta skador innefattas t.ex.:

- ◆ Minskad försäljningsvolym
- ◆ Förlorad efterförsäljning
- ◆ Böter
- ◆ Förlorad ledningskapacitet
- ◆ Förlorad kunskap
- ◆ Kostnad för rekrytering
- ◆ Extra marknadsföringskampanjer
- ◆ Förbättringar
- ◆ Senarelagda investeringar
- ◆ Tidigarelagda investeringar
- ◆ Rationaliseringar
- ◆ Kapacitetsjusteringar

Enligt Ramachandran<sup>38</sup> måste studien av indirekta skador utföras på två nivåer för att på ett korrekt sätt kunna behandla dessa; (1) Den privata eller lokala och (2) den nationella. Den första nivån innefattar företaget som drabbats av branden och de företag som på något sätt är beroende av detta. På denna nivå är det framförallt kostnader av ovan nämnda typ som blir aktuella. På den nationella nivån behandlas istället förluster av en viss kapacitet som inverkar på de övriga delarna i landet. Detta kan t.ex. innebära att nya företag tillåts komma in på marknaden, förlust av ett stort antal arbetstillfällen som medför en förflyttning av arbetskraften mm. Dessa förluster kommer i väldigt få fall få någon inverkan på utformningen av skyddssystemen på enskilda företag varför de inte behandlas ytterligare i denna rapport.

Olika industrier med olika verksamhetsområde kommer att vara olika känsliga för indirekta skador. Studier utförda av Insurance Technical Bureau (ITB)<sup>22,23,24</sup> i Storbritannien visar på ett par exempel angående känsligheten hos ett antal typindustrier inom den privata sektorn.

**Läkemedelsindustrin** innehåller ofta ett litet antal produktionslinjer som har väldigt stor betydelse för inkomsterna. Patenten kan dessutom begränsa möjligheterna för att producera den aktuella varan vid andra fabriker eller t.o.m. andra produktionslinjer. Vissa råvaror kan dessutom vara mycket svårtillgängliga under vissa perioder. Förlusten av vissa laboratorier kan också allvarligt skada den fortsatta utvecklingen.

**Flyg- och rymdfarten** är ytterligare en sektor där undersökningarna visar på en stor känslighet för avbrott inom forsknings- och utvecklingsenheterna. Denna sektor kännetecknas ofta av vissa nyckelprojekt med stor ekonomisk betydelse som får stor inverkan både på företaget självt och dess underleverantörer.

**Tillverkningsföretag**, t.ex. färg-, lim- och lösningsmedellverkare, är enligt undersökningen inte i samma utsträckning känsliga för avbrott då dessa företag ofta karakteriseras av många mindre tillverkningsenheter. Genom denna organisation finns det oftast stora möjligheter att utlokalisera produktionen för att undvika leveransstopp.

Undersökningen visar vidare på att **företag som i hög grad är beroende av datorisering och automation** kan ha svårt att ersätta dessa oftast specialiserade komponenter och kan dessutom förlora en stor mängd information.

ABB<sup>42</sup> har under tidsperioden 93-94 gjort ett antal utredningar angående ej försäkringsbara kostnader på några av de större bolagen i koncernen för att utröna hur pass stora dessa är. Resultatet blev förbluffande. Undersökningen visade på att företagen själv skulle få skjuta till mellan 50 och 900 MSEK utöver försäkringsersättning. Detta motsvarar cirka 40% av bolagens årsomsättning, se vidare tabell 2.1.

<i>Bolag</i>	<i>Årsomsättning</i>	<i>Indirekta kostnader</i>	<i>Procentuell andel av årsomsättningen</i>
A	2.269''	900''	40%
B	1.098''	454''	41%
C	780''	350''	45%
D	550''	252''	46%
E	954''	212''	22%
F	895''	190''	21%
G	313''	172''	55%

Tabell 2.1: De indirekta kostnadernas andel av årsomsättningen<sup>42</sup>.

## 2.5.2 Beräkningsmetoder

Enligt Ramachandran<sup>38</sup> är Hicks and Liebermanns rapport<sup>20</sup> den enda som behandlar en metodik för att via beräkningar kunna bedöma de indirekta kostnaderna. Hicks and Liebermann delar in de industriella verksamheterna i fyra olika typer; (1) handelsföretag (mercantile), (2) icke-producerande företag (non-manufacturing), (3) producerande företag (manufacturing) och (4) varuhus (warehouse). För dessa olika typindustrier kan kostnaden för de indirekta skadorna beräknas enligt:

$$IL = ke^{rT}E^aX^{1-a} \quad (2.2)$$

där

IL = kostnad för indirekta skador  
 k = konstant  
 r, a = regressionskoefficienter  
 E = kostnad för brandskydd  
 X = antal bränder  
 T = tid

Det visade sig dock väldigt svårt att i praktiken hitta representativa värden för bl.a. regressionskoefficienterna r och a. Genom en studie av tillgänglig statistik tog Hicks and Liebermann istället fram uttrycket:

$$IL = c(DL)^b \quad (2.3)$$

Där DL är kostnaden för de direkta skadorna och b och c är konstanter som tagits fram utifrån statistik från ett antal försäkringsbolag. Värdena för c och b redovisas i tabell 2.2.

Level	Parameters	
	c	b
Local	0.203	1.146
National	0.015	1.245
Mercantile	0.109	0.889
Non-manufacturing	0.069	0.874
Manufacturing	0.135	0.890
Warehouse	0.047	0.804

Tabell 2.2: Värden på konstanterna c och b i ekvation 2.3<sup>20</sup>.

Ekvation 2.3 baserades på faktumet att bränder med små direkta kostnader oftast också orsakar små indirekta kostnader och statistiska tester har visat på en bra överensstämmelse i alla fall utom för varuhus ("warehouses").

### **2.5.3 Allmän problemidentifikation**

Forskningen inom området indirekta skador är i allra högsta grad bristfällig. Som tidigare har nämnts skiljer sig de indirekta skadorna från de indirekta kostnaderna beroende på vilken försäkringssituation som föreligger för det aktuella företaget. En kostnad – nytta analys kräver en helhetsbild av riskekonomin varför riskanalyser avseende indirekta kostnader och en god kunskap om försäkringssituationen ofta krävs. Problematiken med att på ett metodiskt sätt behandla de indirekta kostnaderna ligger bl.a. i svårigheten att hänföra t.ex. förlusten av goodwill till just en enskild händelse – brand, tidsberoendet hos många av skadorna samt uppkomsten av nya oförutsedda indirekta skador, etc. ABB-studien bör följas upp med målet att samla internationella erfarenheter om just icke försäkringsbara kostnader i samband med brand. Dessutom bör det undersökas hur de dolda kostnaderna påverkar företagets möjlighet till överlevnad efter en storbrand.



# 3 Beslutsanalys - teoretisk bakgrund

Beslutsanalysen används för att analysera beslut med hjälp av en logisk metodik som tar hänsyn till risker och bedömningar förknippade med olika handlingsalternativ och som också tar hänsyn till beslutsfattarens behov att undvika risk. "Riskattityden" uttrycks explicit genom en matematisk funktion. Denna kan användas för flera beslut och möjliggör för en organisation att konsekvent behandla risker från ett fall till ett annat. Själva metodiken bygger på den statistikteori och sannolikhetsteori som beskrivs i Appendix D. Detta kapitel syftar endast till att ge en kort beskrivning av arbetsgången. För ytterligare studier kan Robert T. Clemen's *Making hard decisions*<sup>9</sup> eller The center for chemical process safety's *Tools for making acute risk decisions*<sup>8</sup> rekommenderas.

De primära målen för en beslutsanalys är:

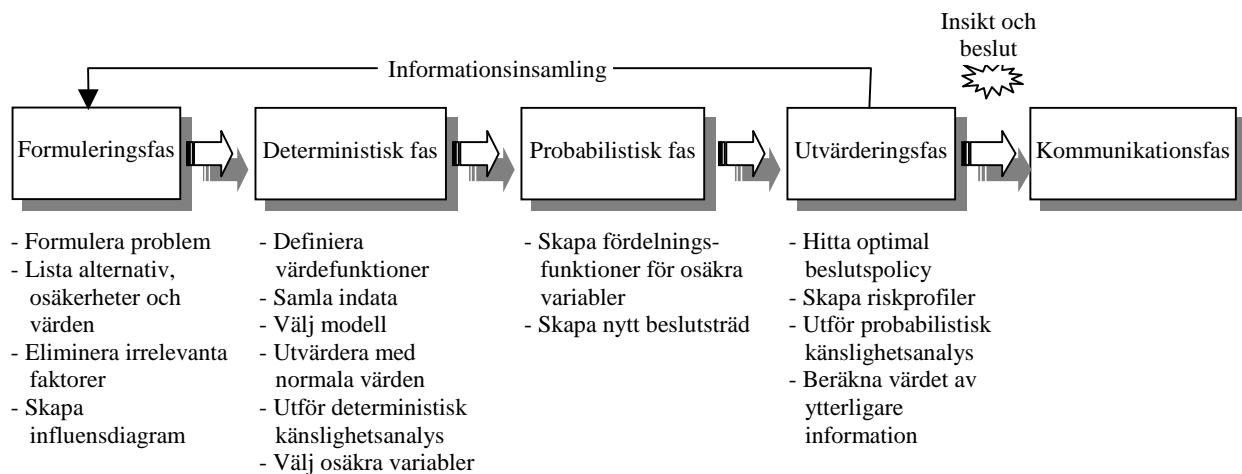
- ◆ att identifiera det alternativ som maximerar beslutsfattarens förväntade nytta med utgångspunkt från personliga preferenser och osäkerheter
- ◆ att ge beslutsfattaren insikt i beslutsproblemet
- ◆ och att använda denna insikt som bas för en åtgärd (= beslut)

## 3.1 Deltagare i beslutsanalysen

De personer som deltar i en beslutsanalys kan delas in i tre olika grupper; (1) beslutsfattare, (2) utredare och (3) experter. Beslutsfattaren är ansvarig för att sätta grundreglerna och för att styra upp arbetet. Dessutom skall han/hon välja ut de utredare och experter som skall delta. Utredarens eller utredarnas uppgifter består i att sätta upp beslutsmodellen och utföra beräkningarna. Experterna hjälper beslutsgruppen med t.ex. matematiska modeller och fördelningsfunktioner. Vid mindre problem kan ofta beslutsfattaren agera i alla rollerna.

## 3.2 Arbetsgång

Beslutsanalysens olika faser redovisas i figur 3.1. Denna cykel bryter ned beslutsproblemet i olika delar för att sedan strukturera dessa i en beslutsmodell. Under arbetet med en beslutsanalys måste hela tiden kostnaden och nyttan med arbetet avvägas. Det är inte alltid som arbetet behöver innefatta alla faser, detta styrs främst av vilka mål och vilket syfte som föreligger.

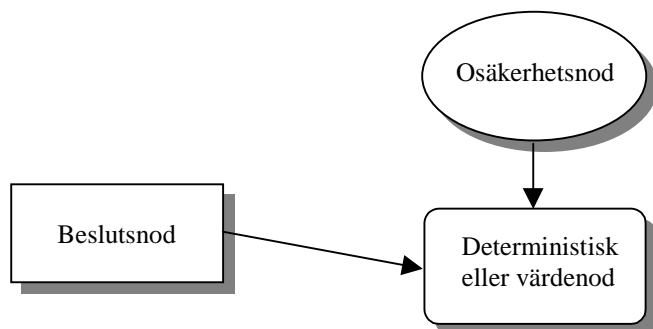


Figur 3.1: Arbetsgång för beslutsanalysen.



### 3.2.1 Formuleringsfas

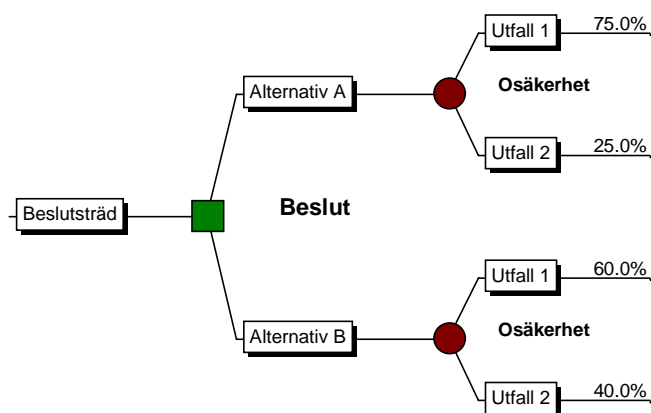
Målet med formuleringsfasen är att definiera beslutsproblemet och att utveckla en bättre förståelse för alternativen och osäkerheterna. Detta moment är väldigt viktigt då det lägger grunden för det fortsatta arbetet. I de flesta fall kan det här vara lämpligt att ta hjälp av ett så kallat influensdiagram. Ett influensdiagram är en grafisk beskrivning av hur olika faktorer som påverkar modellen förhåller sig till varandra. Tre olika noder används för att beskriva faktorernas egenskaper; beslutsnoder, osäkerhetsnoder och deterministiska eller värdenoder. En beslutsnod innebär att beslutsfattaren står inför ett val mellan olika alternativ, en osäkerhetsnod innebär att indata ej kan bestämmas exakt eller påverkas av någon annan händelse och en deterministisk nod innebär att värdet kan beräknas utifrån de ingående värdena. Förhållandet mellan de olika besluten, osäkerheterna och resultaten redovisas med pilar (för exempel se figur 3.2).



Figur 3.2: Olika noder i ett influensdiagram.

### 3.2.2 Deterministisk fas

Under den deterministiska fasen används det i formuleringsfasen konstruerade influensdiagrammet för att överföra beslutsmodellen till matematisk form. Detta involverar t.ex. att hitta sådana matematiska samband så att utfall med olika enheter kan jämföras inbördes på samma grunder, sk värdefunktioner. Under den deterministiska fasen bestäms också hur modellen (beslutsträdet) skall utformas (se figur 3.3) med avseende på ordningsföljd mm. I beslutsträdet representeras beslutspunkter av kvadrater och osäkerheter av cirklar. Genom att sedan beräkna utfallet för de olika alternativen kan en prioritering av det följande arbetet göras. Ett av verktygen för att prioritera är den deterministiska känslighetsanalysen. Denna utförs genom att ändra på en eller flera variabler samtidigt som övriga indata är konstanta. Ändringens inverkan på resultatet avgör vilka variabler som skall betraktas som osäkra i det följande arbetet. Till hjälp med arbetet kan kommersiellt tillgänglig mjukvara användas.



Figur 3.3: Exempel på beslutsträd.

#### 3.2.3 Probabilistisk fas

Resultatet av den deterministiska fasen är en beslutsmodell som specificerar de utfall (eller värden) som tillhör respektive alternativ för alla former av indata. Under den probabilistiska fasen kan de osäkerheter som visar sig under den deterministiska känslighetsanalysen behandlas. Detta utförs genom att värdena tilldelas en statistisk fördelningsfunktion (se Appendix D.2). Vid bestämning av en variabels fördelningsfunktion finns två sätt att gå till väga; antingen genom expertutlåtande eller via insamlade frekvensdata som extrapoleras. Ofta kräver kontinuerliga fördelningsfunktioner numeriska lösningar varför de i de allra flesta fall bör diskretiseras. Modellen kan nu representeras i ett nytt beslutsträd för att utvärderas med osäkerheterna.

#### 3.2.4 Utvärderingsfas

Första steget i utvärderingsfasen blir att finna den optimala besluts policyn. Vanligast är att fatta sina beslut baserade på förväntade värden (se Appendix D.4). Som ytterligare stöd kan så kallade riskprofiler (se vidare avsnitt 5.2) användas med vilkas hjälp du kan få svar på frågor så som; Vad blir största möjliga intäkt? Hur mycket kan vi som mest förlora? Vad är sannolikheter att vi går med förlust? och Vilket alternativ innebär det största risktagandet? Behöver företaget dessutom ta hänsyn till sin inställning till risk kan en sk nyttofunktion (se avsnitt 5.1) användas för att få ytterligare belägg för vilket beslut som skall fattas, alternativt så märks behovet av att utöka informationsinsamlingen.

#### 3.2.5 Kommunikationsfas

Resultatet av en beslutsanalys utgörs i de flesta fall av grafiska presentationer vilket lämpar sig alldeles utmärkt för en vidare kommunikation inom företaget. Det är viktigt att inte bara presentera resultatet utan också bakgrunden i form av influensdiagram, beslutsträd, riskprofiler mm. Presentationen måste dessutom anpassas till den aktuella målgruppen.

För personer som är insatta i den beslutsanalytiska metodiken, t.ex. experter som skall konsulteras, kan följande punkter rekommenderas att ingå:

- ◆ Ett fullständigt influensdiagram
- ◆ Värdefunktionen ( $T = I + C + p \cdot x$ )
- ◆ Tornadodiagram som visar på känsliga delar i modellen (se vidare avsnitt 4.8)
- ◆ Hela beslutsträdet
- ◆ Riskprofiler
- ◆ Värdet av ytterligare information

För presentation för företagsledningen eller risk management funktionen, som istället behöver en helhetssyn på problemet, kan följande rekommenderas:

- ◆ Influensdiagram, begränsat till de viktigaste delarna i modellen
- ◆ Tornadodiagram
- ◆ Förenklat beslutsträd
- ◆ Riskprofiler
- ◆ Rekommendation av fortsatt arbete

Dessutom, om det är aktuellt, skall givetvis den förväntade nyttan presenteras för att visa hur riskinställningen hos företaget påverkar problemet. Vill man ytterligare belysa de problem som finns kan sk "What-if" analyser vara ett bra sätt. Dessa kan t.ex. innefatta; vad händer om sprinklern inte fungerar?, vad händer om vi inte investerar i ett adresserbart larm? etc.



## 4 Nollstudie av en typindustri

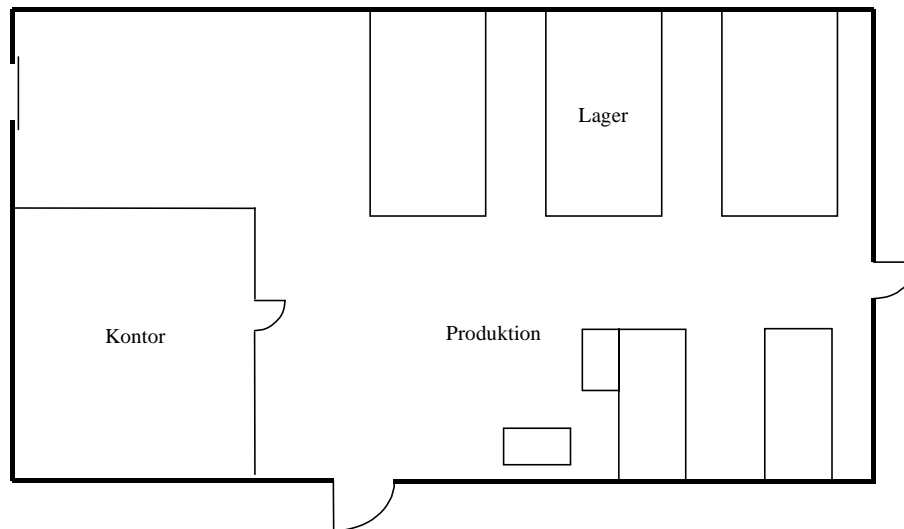
Detta avsnittet syftar till att visa på den beslutsanalytiska metodikens potential inom industriellt beslutsfattande. Beskrivningen av arbetet kommer att ske parallellt med ett fiktivt exempel; Termoplast AB. Detta är ett mindre företag varför arbetet i vissa avseende har anpassats för att mer konkret visa på användningen inom större företag med en väl utvecklad risk management funktion.

### 4.1 Introduktion till Termoplast AB

Termoplast AB är ett mindre företag som sysslar med formsprutning av plastmoduler. Nyligen har företaget fått en stororder som medfört expansion på annan ort. Expansionen består i en ny kombinerad produktions- och lagerlokal.

#### 4.1.1 Beskrivning av lokalen

Lokalen har måtten 24x18x4,5 meter (LxBxH). I den ena långsidan finns ett fönsterparti i anslutning till taket med en höjd av 1,5 meter. Ytterligare två likadana fönsterpartier finns i de kortare väggarna med en längd om 9 meter. Det finns två små dörrar, 2,1 meter höga och 1 meter breda, och en stor dörr med måtten 4x3 meter. Stommen är uppbyggd av sk PREFAB-element i betong och taket består av papp-mineralull-plåt.



Figur 4.1: Principskiss över lokalen.

#### 4.1.2 Problembeskrivning

På grund av expansionen har Termoplasts ekonomiska situation i form av rörelsekapital mm försvagats. Företaget är dessutom i startskedet för en ny marknad med stor konkurrens varför känsligheten för produktionsavbrott är mycket stor. För att på ett bättre sätt få grepp om hotbilden har en riskanalys utförts. Av denna framgår det att risken för brand inte kan accepteras då det kan få förödande konsekvenser, dels beroende på de direkta skadekostnaderna och dels beroende på att ett eventuellt produktionsstopp kan medföra tappade marknadsandelar till följd av att deras rykte skadas. Med detta som bakgrund vill Termoplast kunna kontrollera de kostnader som är förbundna med framtida brandrisker. En beslutsgrupp tillsätts för att analysera problemet.

## 4.2 Deltagare i arbetsgruppen

De deltagare som kan tänkas ingå i arbetsgruppen är:

- ◆ Riskmanager
- ◆ Produktionschef
- ◆ Ekonomichef
- ◆ Försäkringsbolag, försäkringsmäklare eller representant från captive (ger uppgifter)
- ◆ Brandingenjör (kan vara representant från räddningstjänsten)
- ◆ Miljöchef
- ◆ Säkerhetschef

Vilka deltagare som skall finnas i beslutsgruppen är helt beroende på problemets art och företagets organisation.

I Termoplasts fall kommer gruppen att bestå av VD:n och produktions- respektive ekonomiansvariga.

## 4.3 Formulering av problemet

Under formuleringsfasen är det viktigt att konkretisera problemet. Detta kan ske genom att systematiskt sätta upp mål och syfte, begränsa arbetet, ta fram företagets preferenser och genom att ta fram relevanta alternativ.

Efter att beslutsgruppen för Termoplast är tillsatt och ansvarsområdena bestämda sätter de sig ned för att diskutera problemet. Under diskussionen uppstår det en del frågor av typen:

- ◆ Vilket brandskydd skall vi välja eller skall vi välja att försäkra istället för att förebygga?
- ◆ Vilka brandrisker finns?
- ◆ Hur stora blir skadorna vid en brand?
- ◆ Hur påverkas företaget vid ett produktionsstopp (brandavbrott)?
- ◆ Vilken storlek på självriskan skall vi välja?

För andra typer av företag kan frågeställningarna skilja sig en del beroende på vilka preferenser som finns.

Efter ytterligare en tids funderande inom gruppen kommer man fram till en slutgiltig frågeställning:

**”Vilket är det mest kostnadseffektiva skyddssystemet för vår del?”**

Nästa fråga som uppkommer är vilka brandskyddsalternativ som är aktuella för lokalen. Gruppen vänder sig därför till en brandskyddskonsult för att få svar på frågan. Efter att snabbt ha besökt lokalerna föreslår de följande alternativ:

1. 2 st rökluckor á 2 m<sup>2</sup> för brandgasventilation. Dessa är utrustade med smältbleck 70°C.
2. En totalsprinkling av byggnaden. Sprinklerhuvudena har ett RTI-värde om 165(ms)<sup>1/2</sup> och utlöser vid 68°C. Vattenförsörjningen klaras av det kommunala vattenledningssystemet.
3. Lagstiftningen kräver inget ytterligare brandskydd varför Termoplast kan välja att ej förebygga.

Efter att gruppen har definierat målet och listat de olika alternativen övergår arbetet till att identifiera de osäkerheter som företaget ställs inför samt bestämma med vilka preferenser som effektiviteten skall mätas. De osäkerheter Termoplast står inför är:

- ◆ Om en brand uppstår, vilka direkta skador kommer denna att ge upphov till?
- ◆ Hur stora indirekta kostnader kommer branden att generera?
- ◆ Vad kommer brandskyddsalternativet att kosta årligen i form av t.ex. underhåll, kapitalkostnad m.m.?
- ◆ Vilka brandrisker finns?

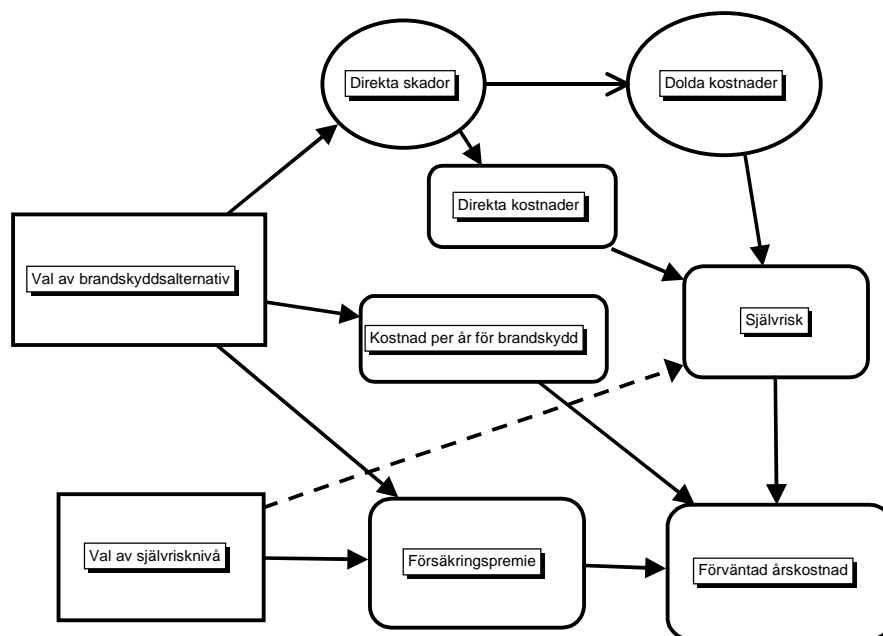
Eftersom produktionen till stor del är automatiserad arbetar där endast ett begränsat antal människor med god lokalkännedom varför personsäkerheten inte kommer att behöva beaktas. Dessutom är läget sådant att inga skador på varken miljö eller omkringliggande byggnader bör uppkomma. Istället kommer gruppen fram till att följande faktorer är viktiga:

- ◆ Årlig kostnad
- ◆ Marknadsandel
- ◆ ”Goodwill”
- ◆ Ekonomisk stabilitet

Andra faktorer som kan vara aktuella är t.ex. miljöpåverkan, arbetsmiljö etc.

Detta innebär m.a.o. att företaget vill finna den åtgärdsstrategi som innebär en minimering av riskkostnaden enligt figur 1.2.

När arbetet har kommit så här långt att problemet är definierat, alla alternativen är listade och de faktorer som är viktiga är framtagna tar beslutsgruppen fram ett influensdiagram som stöd för det fortsatta arbetet. I Termoplasts fall får det följande utseende:



Figur 4.2: Influensdiagram för Termoplast AB.

Av influensdiagrammet framgår det att valet av brandskydd påverkar de direkta skadorna samt den årliga kostnaden för brandskyddet. De direkta skadorna påverkar i sin tur givetvis de direkta kostnaderna men även de indirekta kostnaderna eftersom dessa är beroende av vilka komponenter som skadas i branden. Som exempel kan nämnas att en skada på formsprutningsmaskinerna kan innebära ett långt produktionsstopp och stora indirekta kostnader medan en skada på den lagrade volymen kanske kan kompenseras genom en förhöjd produktionstakt. Vidare så påverkar valet av självrisknivå givetvis premiesättningen, men även valet av brandskydd får en inverkan här. Givetvis bör premien bli lägre om företaget har en hög riskmedvetenhet och på så sätt förebygger brand genom utbildningar och fasta installationer av brandskydd. Alla beroende och ingående faktorer är inte utritade i figuren med hänsyn till åskådligheten.

## 4.4 Kostnadsidentifiering

Fortsättningsvis är alla kostnadsuppskattningar fiktiva och gjorda enbart för att få fram ett räkneexempel.

Värdefunktionen för Termoplast AB kommer alltså att bli  $T = I + C + p \cdot x$ .

Första steget i kostnadsidentifieringen (= insamling av indata) blir att ekonomiansvarig tar kontakt med företagets försäkringsbolag för att reda ut vilka förhållanden som råder. Efter att ha besökt lokalen sammanträder försäkringssäljaren med beslutsgruppen och klargör därvid villkoren som gäller.

Det föreligger ett strikt tariffsystem. Grundpremien baseras på basbeloppet 15 000 kkr som erhållits genom en bedömning av EML-skadan. En reduktion till 30% respektive 60% av grundpremien kan erhållas om företaget investerar i sprinkler respektive brandgasventilation. Dessutom erhålls en reduktion av premien om företaget ökar det egna risktagandet. Den minsta självrisk som Termoplast måste bära är dock 100 kkr per skadetillfälle. Denna nivå är beräknad som en procentandel av basbeloppet. De exakta premienivåerna presenteras i tabell 4.1.

<i>Självrisknivå (kkr)</i>	<i>100</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>750</i>	<i>1 000</i>	<i>5 000</i>
Inget brandskydd	5,8	5,2	4,4	3,2	2,1	0,6
Sprinkler	1,6	1,2	0,8	0,5	0,2	0,2
Brandgasventilation	3,6	3,1	2,5	1,7	0,8	0,4

*Tabell 4.1: Försäkringspremie i promille.*

Beslutsgruppen tittar sedan på vilken ekonomisk belastning de förebyggande åtgärderna kommer att ge. Man kommer fram till att oavsett vilket brandskyddsalternativ Termoplast väljer så kommer riskhanteringen att kosta företaget cirka 15 000 kr per år. Övriga kostnader som tillkommer redovisas nedan.

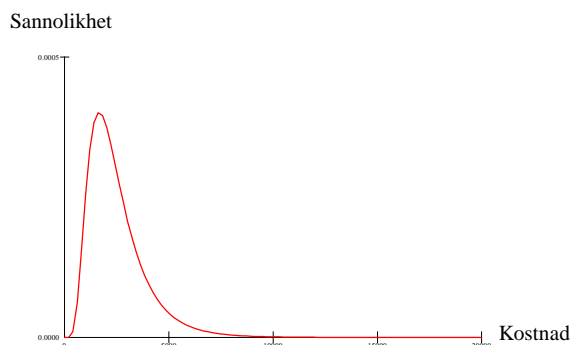
### *Brandgasventilation*

Rökluckorna kostar 5000 kronor stycket inklusive montering. Denna kostnad kan företaget förhandla sig till att ingå i entreprenadkontraktet och kommer därför inte att belasta företaget. Kostnaden för den årliga tillsynen och underhållet beräknas uppgå till cirka 8 000 kr.

### *Sprinkler*

Kostnaden för en totalsprinkling kommer att uppgå till 250 kr/m<sup>2</sup>. Dessutom tillkommer en sprinklercentral som kostar 250 kkr. Termoplast tvingas här till att ta ett rakt lån på 358 000 kr med 8 procents ränta. Den årliga kostnaden för detta alternativet (amorteringar, ränta, underhåll och avskrivningar) kommer att uppgå till cirka 57 000 kr.

Det blir nu dags att få grepp om riskbilden, d.v.s. bestämma vilka typbränder som skall analyseras. Allmänt sett kan skadekostnaden för bränder beskrivas enligt figur 4.3, Ramachandran<sup>39</sup>.



*Figur 4.3: Skadekostnadens fördelning.*

Om ett antal typbränder skall väljas ut för att på så sätt försöka spegla skadebilden på företaget måste dessa vara väl spridda i kostnadsintervallet. Antalet scenarier som måste utvärderas skiftar från fall till fall. En riskanalys baserad på värderingar av sannolikheten respektive konsekvensen för en brand kan vara en bra grund för att identifiera de typbränder som bör studeras.

Gruppen väljer att återgå till den utförda riskanalysen. Denna innehåller en del brister avseende exakt vilka brandrisker som finns. Företaget väljer därför att förbättra analysen med avseende på dessa. Man använder därvid en riskvärderingsmetod som bygger på en riskmatris där konsekvensen respektive sannolikheten är indelade i 5 olika nivåer. Resultatet blir att följande typbränder bör analyseras:

- ◆ En brand orsakad av kortslutning i en av kabelstegarna som löper längs väggarna.
- ◆ Brand i ett hydrauloljeläckage från en av maskinerna som antänds av gnistbildning.
- ◆ En brand i lagerhyllorna orsakad av ovarsamhet.

Efter en studie av statistik på tillbud och olyckor som uppkommit på liknande objekt samt en diskussion med produktionschefen på Termoplasts gamla fabrik kommer beslutsgruppen fram till att bränder uppkommer i liknande objekt med en frekvens av cirka 1 gång på 20 år. Cirka 40% av dessa var orsakade av ovarsamhet vilket ledde till en brand i lagerhyllorna. Resten av bränderna var ungefär lika fördelade mellan brand i kablar respektive hydraulolja.

## 4.5 Beräknade skadeutfall

För att få en uppfattning om vilka kostnader en brand genererar måste något form av verktyg användas för att beräkna konsekvenserna, m.a.o. en tillväxt- och påverkansmodell. Som tidigare nämnts är det viktigt att denna är anpassad till de behov och den kunskap som finns att tillgå samt att resultatet är utformat så att en bedömning av skadekostnaderna kan göras. De självrisker som företaget får stå för kan sedan beräknas som:

Om de direkta (d.v.s. försäkrade) brandskadorna understiger självrisknivån blir:

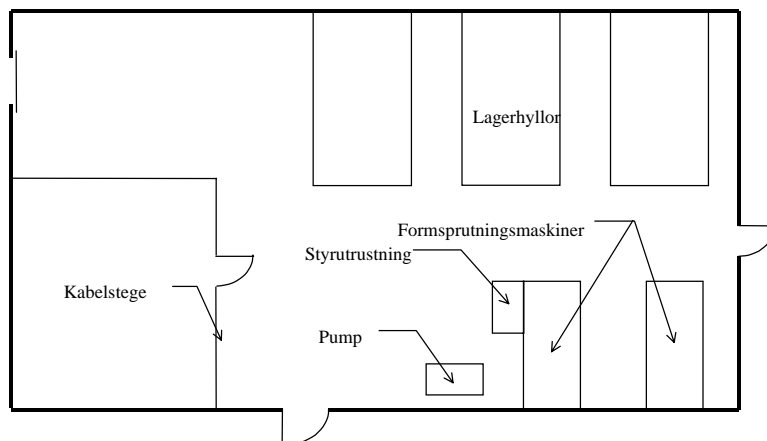
$$x = \text{direkt skadekostnad} + \text{indirekta (oförsäkrade) kostnader}$$

Om de direkta brandskadorna överstiger självrisknivån blir:

$$x = \text{självrisken} + \text{indirekta kostnader}$$

Den totala förväntade *skadekostnaden* beräknas sedan som summan av  $p_i \cdot x_i$ , där  $p_i$  står för sannolikheten av att händelse  $i$  inträffar och  $x_i$  står för den totala skadekostnaden.

Efter att Termoplasts beslutsgrupp rådfrågat en del experter på området kommer de fram till att programmet FREIA passar bäst för deras behov (se avsnitt 2.4.2). FREIA förutsätter att de komponenter som har störst inverkan på skadekostnaden kan identifieras. Dessutom måste skadekriterier för komponenterna uppskattas. Genom att noga analysera processscheman för den nya lokalen kommer gruppen fram till att följande komponenter i första hand måste studeras:



Figur 4.4: De komponenter som skall analyseras i FREIA.



### *Pump*

Pumpen är en tryckförhöjningspump för hydraulolja till formsprutningsmaskinerna. Den har en massa på 470 kg och enligt tillverkaren tål den 60°C kontinuerligt i omgivningstemperatur och max 100°C i inre temperatur vid pumpning. Den kritiska kontinuerliga strålningen blir 2 kW/m<sup>2</sup> och den största energidosen den tål blir 291 kJ/m<sup>2</sup> enligt ekvation C.12.

### *Formsprutningsmaskiner*

Maskinerna används för att formspruta plastmodulerna som företaget tillverkar. Maskinerna har en massa på 1500 kg och tål enligt tillverkaren 60°C kontinuerligt i omgivningstemperaturen och max 80°C i inre temperatur. Skadekriterierna kan beräknas med ekvation C.12 och blir 2 kW/m<sup>2</sup> för långtidspåverkan och en max dos om 207 kJ/m<sup>2</sup>.

### *Styrutrustning*

Utrustningen, som är innesluten i ett plåtskåp, styr hela processen och utgörs av diverse elektriska komponenter. Skåpet tål max 55°C i omgivningen. Detta ger enligt ekvation C.13 skadekriterier på 4,5 kW/m<sup>2</sup> och 600 kJ/m<sup>2</sup>.

### *Lagerhyllor*

Färdigvarulagret är utformat så att plastmodulerna ligger förpackade i plastfolie på hyllor. Dessa paket tål en strålning på 5 kW/m<sup>2</sup> och en dos om 300 kJ/m<sup>2</sup>. Beräkningarna baseras på ekvation C.10.

### *Kabelstege*

I kabelstegen finns ett antal olika kablar sammanpackade. Den viktigaste av dessa kommer att tåla en strålning om 10 kW/m<sup>2</sup> och en kritisk dos om 6 000 kJ/m<sup>2</sup>.

Nästa steg blir att genomföra simuleringar av de tänkta förloppen i tillväxt- och påverkansmodellen. Huruvida en expert skall anlitas till detta beror på kunskapsnivån inom företaget.

Termoplast väljer att anlita en brandingenjör vid en lokal konsultfirma. Utifrån resultatet anser gruppen att de har en möjlighet att bedöma både de direkta och indirekta skadekostnaderna. De indirekta kostnaderna väljer man att uppskatta som en procentuell andel av den direkta skadekostnaden (jfr ekvation 2.3).

Olika simuleringar av brandförloppen måste göras, dels beroende på vilket brandskyddsalternativ som är aktuellt och dels beroende på vilka ventilationsförhållanden som föreligger. I dessa simuleringarna har det antagits att alla ventilationsförhållandena är lika sannolika varför skadenivån på komponenterna har beräknats som ett medelvärde av de olika utfallen. I vissa fall kan det vara av vikt att inte gå till väga på detta sättet utan simuleringarna av brandförloppen måste nysansera mer för att få ett korrekt utfall. Resultaten blev enligt följande delkapitel (Observera att skadepåverkan  $\geq 1$  innebär total skada och 0 innebär en skadefaktor  $< 0,01$ ).

## **4.5.1 Brand i hydrauloljeläckage**

<b><i>Komponent</i></b>	<b><i>Inget</i></b>	<b><i>Sprinkler</i></b>	<b><i>Ventilation</i></b>
Kabelstege	0	0	0
Lagerhylla 1	0,6	0	0,8
Lagerhylla 2	0,6	0	0,8
Lagerhylla 3	0,6	0	0,8
Pump	59,3	59,1	59,3
Formsprutningsmaskin 1	1,2	0,3	0,6
Formsprutningsmaskin 2	0,8	0,2	0,2
Styrutrustning	2,0	1,2	2,4

*Tabell 4.2: Komponentpåverkan vid brand i hydraulolja.*

Vid en brand i ett hydrauloljeläckage visar det sig att pumpen och styrutrustningen skadas oavsett vilket brandskydd som finns. En formsprutningsmaskin kommer också att skadas om man inte investerar i något brandskydd. Övrig utrustning erhåller endast sekundära skador. Beslutsgruppen uppskattar driftsstoppet till cirka 2 veckor. Eftersom färdigvarulagret klarade sig kan de flesta leveranserna klaras genom att köra dygnet runt då produktionen startar och de indirekta skadorna bör därmed kunna begränsas. Det bör nämnas att även om sprinkleralternativet visar på mindre skador kan vattenskadorna bli ganska stora om sprinklern/sprinklerna som

utlöst ligger över någon vattenkänslig komponent. Med detta som bakgrund uppskattar gruppen skadekostnaderna till följande:

<b>Brandskyddsalternativ</b>	<b>Direkt kostnad (kkr)</b>	<b>Indirekt kostnad (% av direkt kostnad)</b>
Inget	5 000	35
Sprinkler	2 500	30
Ventilation	4 500	35

Tabell 4.3: Skadekostnader vid brand i hydraulolja.

### 4.5.2 Brand i färdigvarulager

<b>Komponent</b>	<b>Inget</b>	<b>Sprinkler</b>	<b>Ventilation</b>
Kabelstege	0	0	0
Lagerhylla 1	58,0	57,7	58,2
Lagerhylla 2	3,3	1,2	3,1
Lagerhylla 3	0,9	0,6	0,7
Pump	0,8	0,3	0,7
Formsprutningsmaskin 1	1,1	0	0
Formsprutningsmaskin 2	1,1	0	0
Styrutrustning	0,3	0,1	0,1

Tabell 4.4: Komponentpåverkan vid brand i färdigvarulager.

Vid en brand i färdigvarulagret kommer skadorna på maskinerna att bli begränsade. Det är endast då det inte finns något brandskydd som de bägge formsprutningsmaskinerna skadas. Däremot blir det naturligtvis skador på lagret, både genom strålningsverkan och genom rökskador. Simuleringen i FREIA förutsätter att det är i det mittersta (se figur 4.4) stallaget som branden startar. De slutsatser som gruppen kan dra är att de tre stallagen kommer att skadas och de planerade leveranserna kommer ej att kunna genomföras och de indirekta kostnaderna kan därför bli relativt stora, speciellt om det inte finns något brandskydd då detta genererar ett produktionsstopp med följden att lagerförlusten inte kan kompenseras. Skadorna av släckningsarbetet kan även bli stora då branden har en ganska stor spridning och därför kan bli svårsläckt. Gruppen uppskattar kostnaderna till följande:

<b>Brandskyddsalternativ</b>	<b>Direkt kostnad (kkr)</b>	<b>Indirekt kostnad (% av direkt kostnad)</b>
Inget	9 000	75
Sprinkler	5 000	35
Ventilation	8 000	35

Tabell 4.5: Skadekostnader vid brand i färdigvarulager.

### 4.5.3 Kabelbrand

<b>Komponent</b>	<b>Inget</b>	<b>Sprinkler</b>	<b>Ventilation</b>
Kabelstege	7,1	7,0	7,1
Lagerhylla 1	0,5	0,3	0,4
Lagerhylla 2	0	0	0
Lagerhylla 3	0	0	0
Pump	0,27	0,1	0,2
Formsprutningsmaskin 1	0	0	0
Formsprutningsmaskin 2	0	0	0
Styrutrustning	0	0	0

Tabell 4.6: Komponentpåverkan vid kabelbrand.

Kabelbranden genererar mindre skador dels därför att det är en mindre brand och dels därför att den är belägen cirka 2 meter upp vilket minskar strålningsskadorna. Inga komponenter förutom kabeln själv skadas. Kabeln som försörjer produktionskedjan kommer att behöva bytas ut med ett kortare produktionsstopp som följd. Men inga leveranser bör försenas av detta. Följande skadekostnader har gruppen kommit fram till:

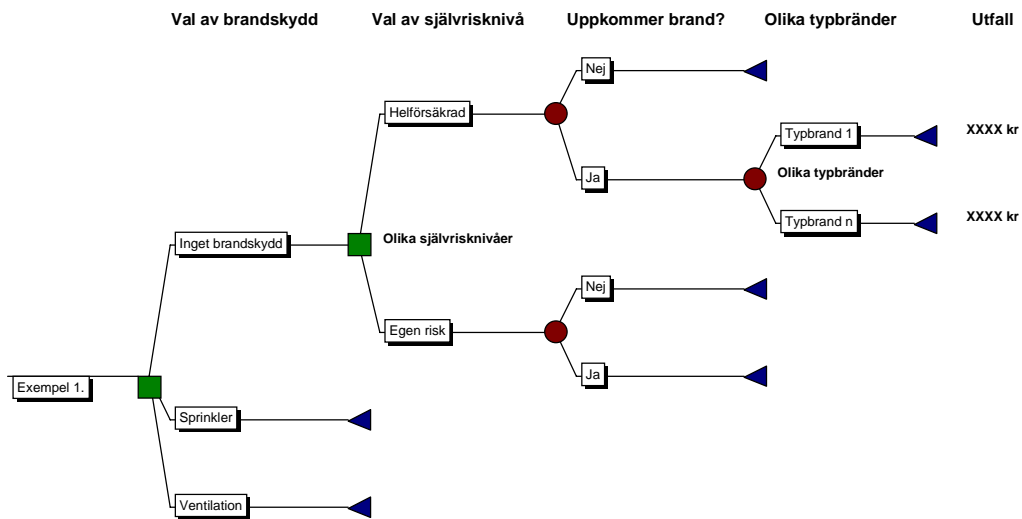
<b>Brandskyddsalternativ</b>	<b>Direkt kostnad (kkr)</b>	<b>Indirekt kostnad (% av direkt kostnad)</b>
Inget	700	10
Sprinkler	700	10
Ventilation	600	8

Tabell 4.7: Skadekostnader vid kabelbrand.

## 4.6 Val av beslutsmodell

Utvärderingsprocessen måste kunna presenteras på ett logiskt och överskådligt sätt. Därför skapas ett beslutsträd. Hur beslutsträdet skall utformas är väldigt individuellt. Det finns många alternativ med både för och nackdelar. För att bättre visa på både för och nackdelar med olika alternativ presenteras några olika förslag nedan. Det som skiljer dessa åt är i huvudsak ordningsföljden mellan de olika besluts- och osäkerhetsnoderna.

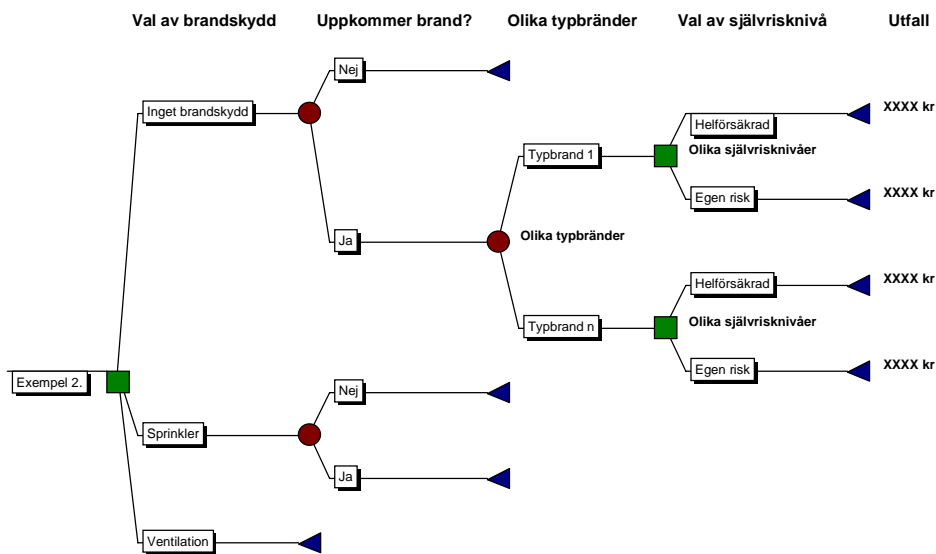
Exempel 1.



Figur 4.5: Exempel 1 på beslutsträd.

Fördelen med detta beslutsträd är att hela beslutsförandet kan redovisas i en logisk följd. Detta gör det lätt att följa beräkningar och resultat. Nackdelen är den att då många alternativ utvärderas har trädet en tendens att växa och bli oöverskådligt. Alternativt kan "val av brandskydd" och "val av självrisknivå" byta plats i detta trädet, allt efter vilka behov och preferenser som finns.

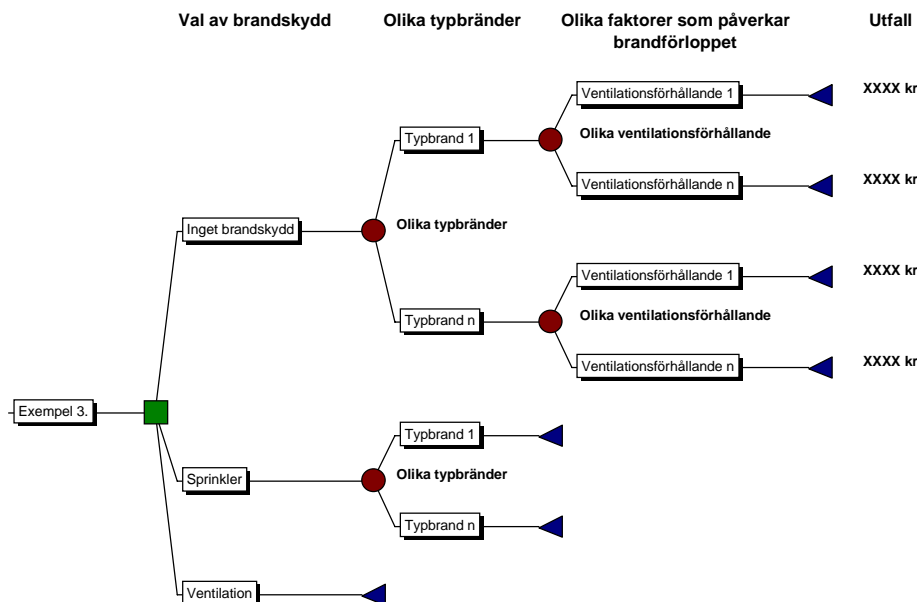
## Exempel 2.



Figur 4.6: Exempel 2 på beslutsträd.

Detta beslutsträd har en annorlunda logisk följd. Fördelen med detta är att det blir lättare i slutändan att hålla reda på vad anläggningsägaren verkligen får betala eftersom självrisnivån och den direkta skadekostnaden blir tätt sammankopplade. En negativ aspekt är den att beslutsföljden inte blir logisk på samma sätt som i exempel 1. Det bör observeras att även ventilationsförhållanden och andra faktorer som påverkar brandförloppet kan redovisas i detta träd. Precis som i exempel 1 har också detta träd en tendens att växa och bli oöverskådligt.

## Exempel 3.



Figur 4.7: Exempel 3 på beslutsträd.

I detta beslutsträd förutsätts det att en brand har inträffat. Dessutom är en självrisnivå vald, d.v.s. ett beslutsträd för varje självrisnivå måste utformas, alternativt så spelar försäkringsfrågan ingen roll i detta fallet. Fördelen med detta är att ett brandförlopp kan undersökas i mera detalj utan att trädet blir för stort. Denna metoden är t.ex. lämplig att använda då tidigare analyser har uteslutit ett antal alternativ och en mer noggrann analys av de återstående alternativen skall utföras. En stor nackdel är att flera steg i beslutsprocessen (t.ex. val av självrisk) inte redovisas varför den logiska följderna bryts.

## 4.7 Deterministisk utvärdering av förväntad årskostnad

En utvärdering kan utföras på olika grunder, allt efter vilka behov som finns. Det vanligaste sättet är att utvärdera enligt förväntade värden. Detta är den enklaste delanalysen och torde alltid utföras. Räcker inte detta som beslutsunderlag kan t.ex. riksprofiler eller nyttofunktioner vara ett komplement. Dessa metoder beskrivs närmare i kapitel 5.

Efter att ha vägt fördelar mot nackdelar så väljer beslutsgruppen att primärt arbeta efter modellen i exempel 1 (avsnitt 4.6). Det sista som måste göras innan ett fullständigt beslutsträd kan sättas upp är att beräkna hur stora självriskerna blir vid varje typbrand och försäkringsalternativ.

### *Exempel*

*Alternativet är inget brandskydd och en självrisknivå på 100 kkr. Enligt bedömningarna från FREIA-simuleringarna genererar de olika brandscenarierna följande kostnader:*

<b>Brandscenario</b>	<b>Direkt skadekostnad (kkr)</b>	<b>Indirekt skadekostnad (kkr)</b>
<i>Oljebrand</i>	5 000	$0,35 * 5\ 000 = 1750$
<i>Lagerbrand</i>	9 000	$0,75 * 9\ 000 = 6750$
<i>Kabelbrand</i>	700	$0,10 * 700 = 70$

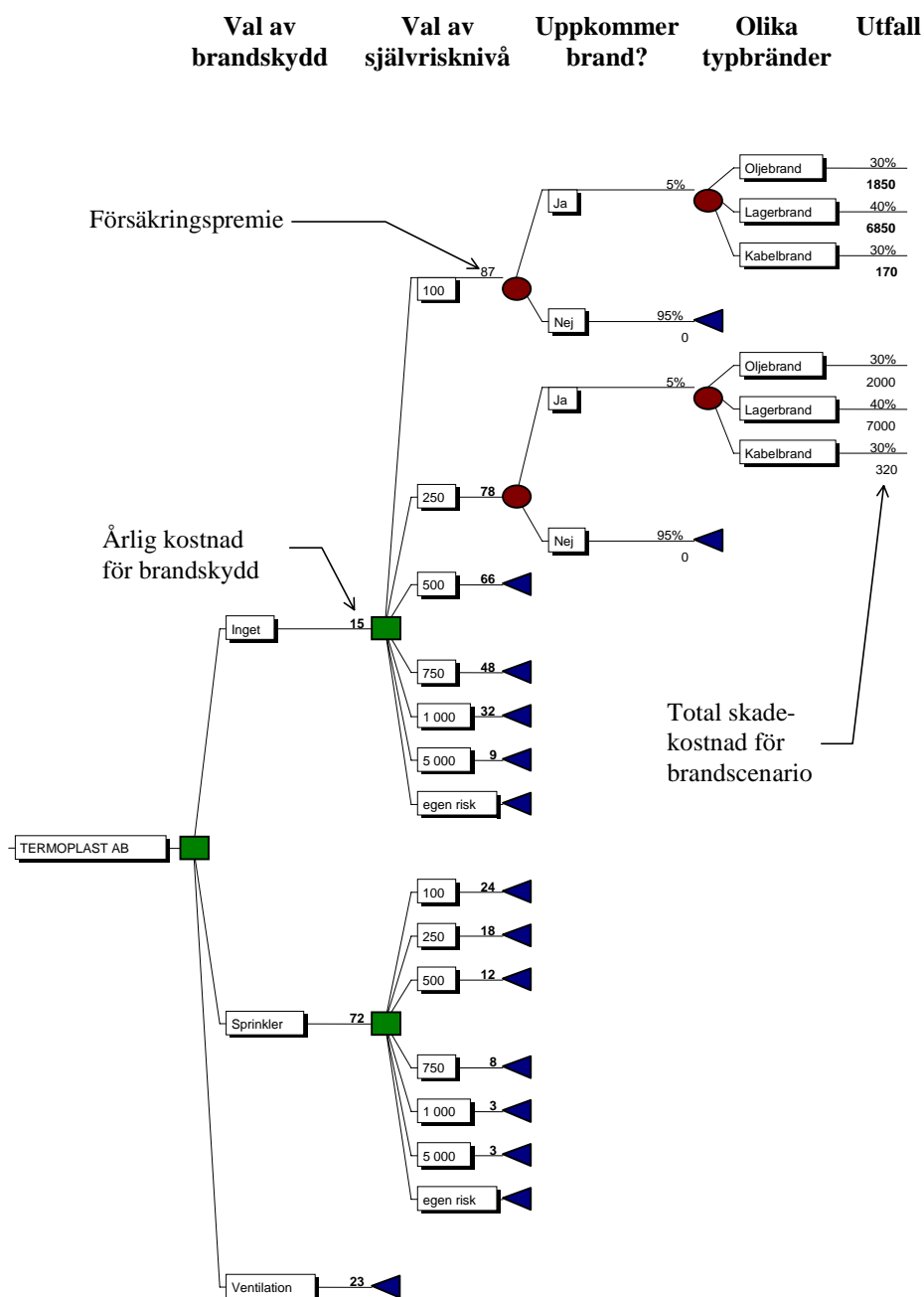
*Tabell 4.8: Direkta och indirekta kostnader när brandskydd saknas.*

*I alla fallen överstiger den direkta skadekostnaden självriskbeloppet på 100 kkr varför Termoplasts kostnader i detta fallet blir:*

<b>Brandscenario</b>	<b>Skadekostnad (kkr)</b>
<i>Oljebrand</i>	$100 + 1750 = 1850$
<i>Lagerbrand</i>	$100 + 6750 = 6850$
<i>Kabelbrand</i>	$100 + 70 = 170$

*Tabell 4.9: Totala kostnaden när brandskydd saknas.*

Självriskerna förs sedan in i slutet på varje gren och beslutsträdet blir enligt figur 4.8 (beräkningsexempel markerad med fetstil).



Figur 4.8: Vissa delar av beslutsträd för Termoplast AB.

Utvärderingen av alternativen kan nu, som tidigare nämnts, utföras på olika sätt. Det som behandlas här är att det mest optimala alternativet är det med det lägsta förväntade utfallet (EMV, expected monetary value). Det förväntade utfallet, eller EMV, är helt enkelt det vägda medelvärde för alla möjliga utfall (se Appendix D.4).

Som ett exempel kan vi fortsätta på alternativet med inget brandskydd och en självrisknivå på 100 kkr. Innan beräknades den totala kostnaden som respektive brandscenario orsakade och nu skall den förväntade skadekostnaden om en brand uppstår beräknas.

## Kostnad-nytta av industrins brandskyddsåtgärder

Exempel

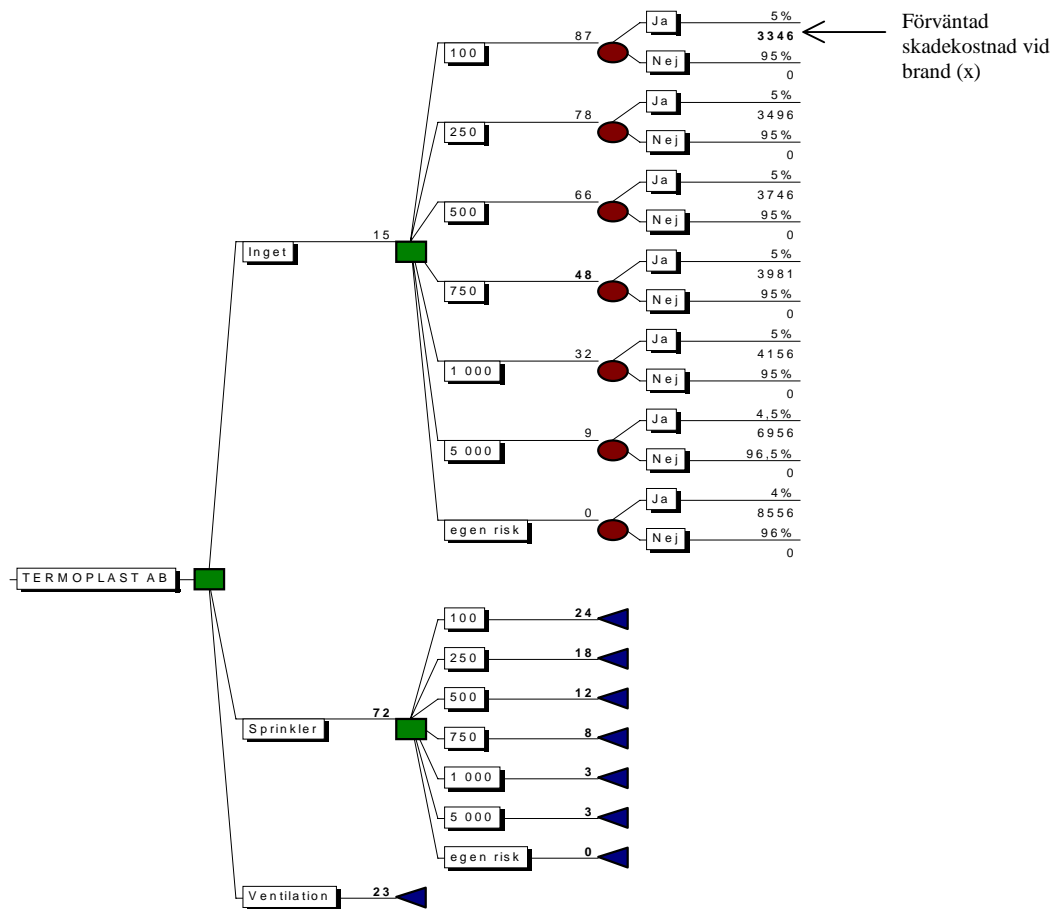
Brandscenarier	Skadekostnad (kkkr)	Sannolikhet (%)
Oljebrand	1850	30
Lagerbrand	6850	40
Kabelbrand	170	30

Tabell 4.10: Kostnad och sannolikheter för om brand inträffar.

EMV blir då helt enkelt enligt följande

$$EMV (\text{skadekostnad vid brand}) = 1850 \cdot 0.30 + 6850 \cdot 0.40 + 170 \cdot 0.30 = 3346 \text{ kkr}$$

EMV beräknas sedan för alla grenar där brand inträffat och beslutsträdet reduceras till figur 4.9.



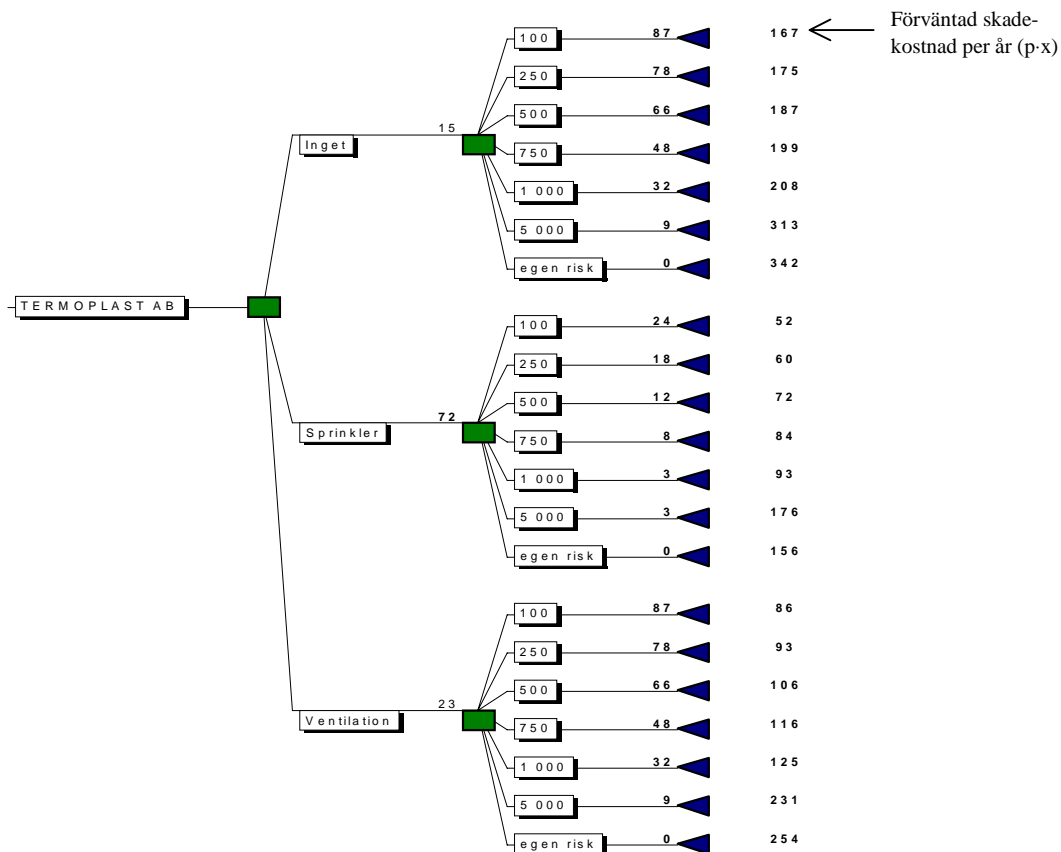
Figur 4.9: Beslutsträd för Termoplast AB.

Det föregående steget förutsatte att brand har inträffat. Sannolikheten för att det brinner under ett år är 0,05 ( $1/20 \text{ år}^{-1}$ ). På samma sätt som i föregående exempel kan nu den förväntade årliga skadekostnaden beräknas.

Exempel

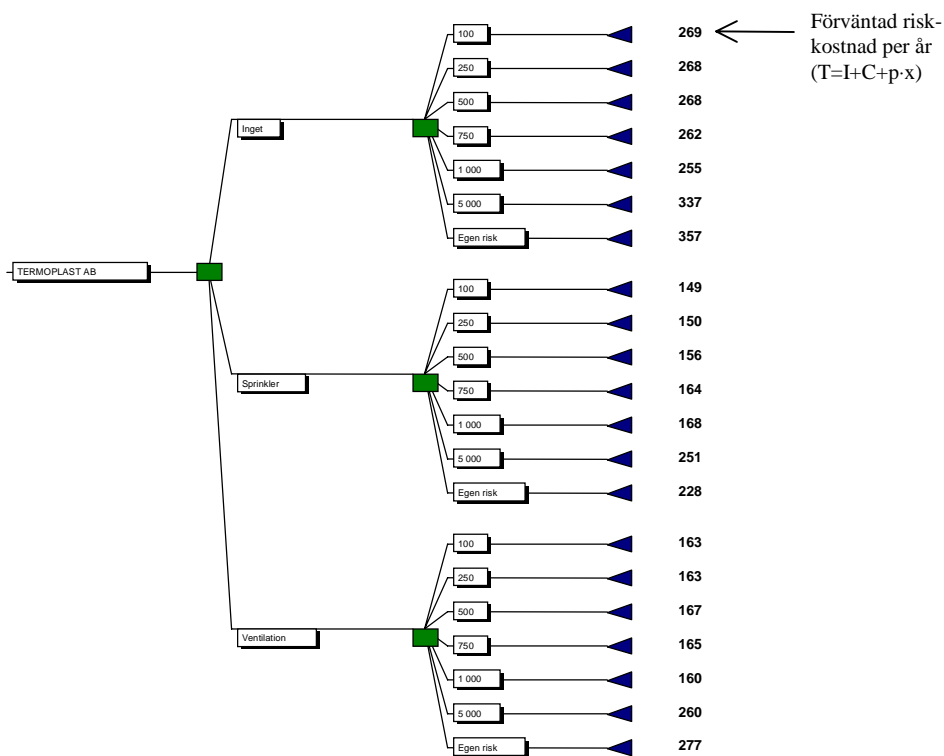
$$EMV (\text{skadekostnad/år}) = 3346 \cdot 0.05 + 0 \cdot 0.95 = 167 \text{ kkr}$$

Och beslutsträdet reduceras ytterligare till figur 4.10.



Figur 4.10: Beslutsträd för Termoplast AB.

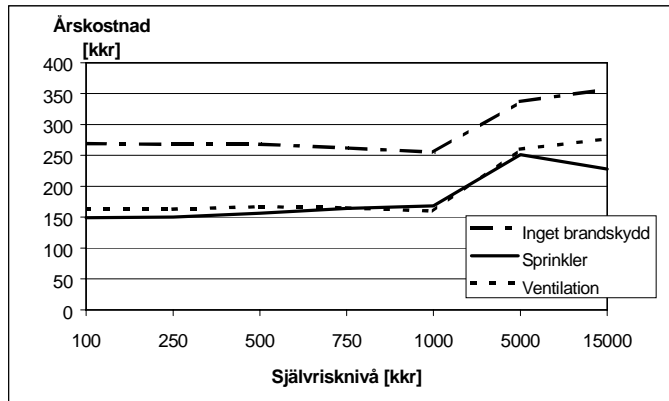
Alternativens kostnad per år kan nu enkelt beräknas genom att summera kostnaden för förebyggande åtgärder, försäkringspremien och den förväntade skadekostnaden. Resultatet blir enligt figur 4.11.



Figur 4.11: Den förväntade årskostnaden för de olika alternativen.



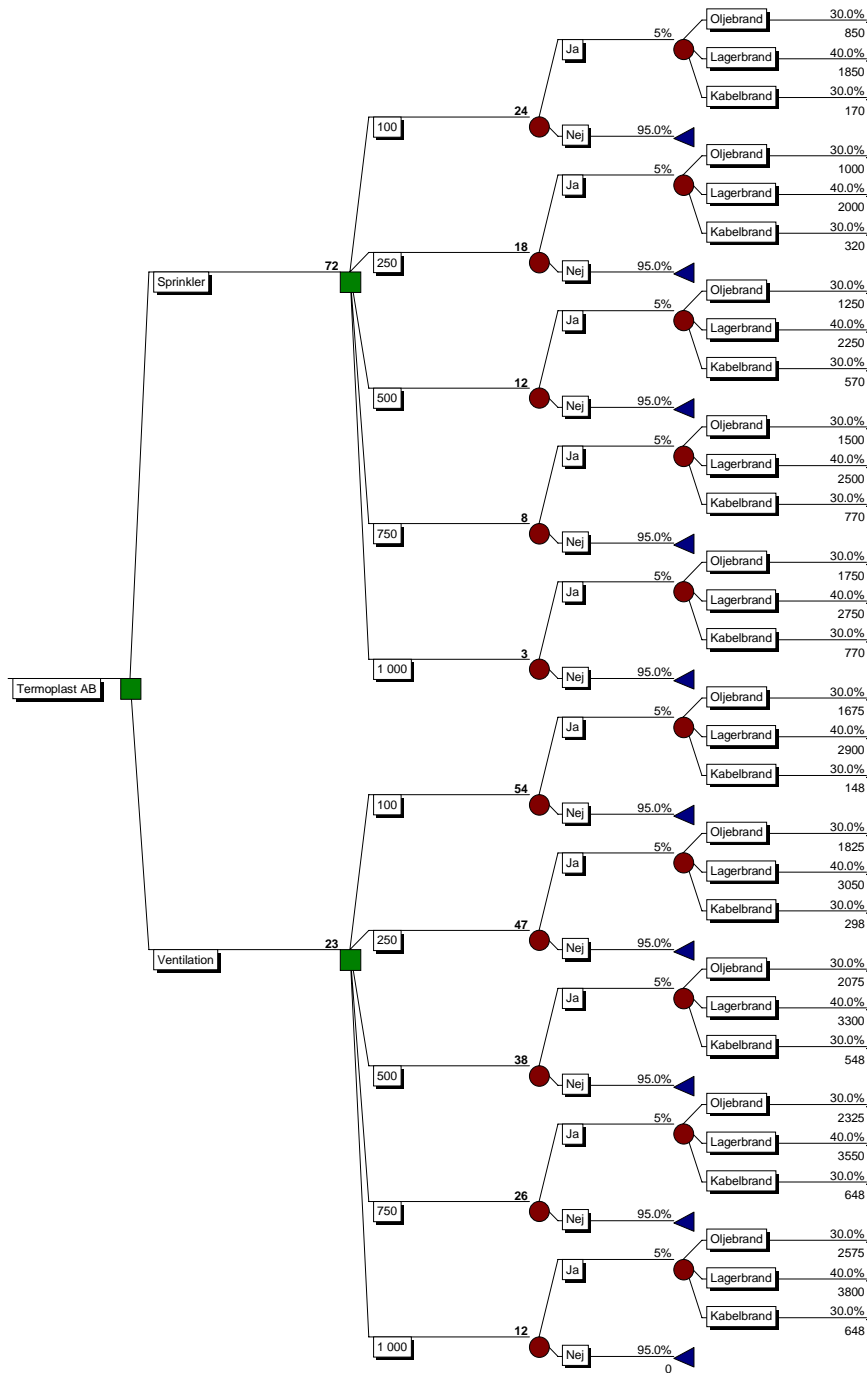
Av beslutsträdet framgår det att sprinkleralternativet med en självriskenivå på 100 kkr ger den lägsta årskostnaden på 149 kkr. Nyttan av att välja sprinkleralternativet i jämförelse med andra alternativ kan enkelt beräknas som skillnaden i årskostnad. Detta åskådliggörs bättre i figur 4.12.



Figur 4.12: Årskostnadens variation med självriskenivå för olika brandskyddsalternativ.

Om detta beslutsunderlaget är tillräckligt beror naturligtvis på de mål som beslutsfattarna hade med arbetet. Om målet bara var att verifiera att det inte var fel att satsa på ett brandskyddsalternativ eller en viss självriskenivå räcker kanske detta men för att göra ett korrekt val mellan sprinkler och ventilation krävs ytterligare analyser.

I figur 4.12 framgår det tydligt att alternativet att försäkra istället för att förebygga samt självriskenivåer på 5 000 kkr och högre inte är några kostnadseffektiva alternativ. Men figuren visar också på svårigheten att finna det mest optimala alternativet av de kvarvarande, speciellt med tanke på de osäkerheter i form av uppskattningar som finns i modellen. Ett naturligt steg i det fortsatta beslutsarbetet blir då att ta reda på vilka, och hur, de olika parametrarna inverkar på slutresultatet. Första steget i det fortsatta arbetet blir att reducera beslutsträdet till de kvarvarande alternativen (se figur 4.13).



Figur 4.13: Nytt, reducerat, beslutsträd.

Det inses snabbt att för att få ett bättre beslutsunderlag måste osäkerheterna i indatan minskas genom hitta bättre underlag. Att hitta bättre underlag kan t.ex. innebära informationsinsamling, konsultation av experter, matematiska eller statistiska analyser mm. Eftersom arbetet hela tiden är en avvägning mellan kostnad och nytta är det viktigt att veta var i modellen det är mest effektivt att lägga ned arbete. För att få svar på detta utförs en deterministisk känslighetsanalys.

## 4.8 Deterministisk känslighetsanalys

En deterministisk känslighetsanalys svarar på frågan: Vilka och hur mycket påverkar de ingående parametrarna modellens giltighet? Resultatet av analysen utgör en bra grund för en prioritering av det fortsatta arbetet, m.a.o. en minskning av osäkerheter i indata.

Vilka typer av indata finns i modellen? Generellt så finns det två typer; ”säkra” och ”osäkra”. Säkra indata är sådana som kan hämtas från publicerade data och/eller från standardiserade beräkningsmetoder. Detta innefattar t.ex. å-prislistor eller olika allmänt accepterade beräkningsformler. Osäkra indata är däremot baserade på expertbedömningar utifrån tillgänglig faktabaser. De sanna värdena kommer först att visa sig i framtiden (eller kanske aldrig). Ett bättre alternativ är då att, istället för att sätta ett ”fast” värde, behandla dessa som sannolikhetsfördelningar. För att under den deterministiska känslighetsanalysen ta hänsyn till dessa osäkerheter ansätts ett lågt, normalt och högt värde på parametern. Med andra ord så uppskattas det lägsta respektive högsta värdet som t.ex. en frekvens eller kostnad kan ha. Fördelen med att behandla osäkerheter på detta sättet är att en bättre bild av hur parametern inverkar på resultatet kan erhållas.

Under förutsättning att korrekta uppgifter från försäkringsbolaget angående premien och uppgifter om t.ex. underhåll av brandskydd kan erhållas från liknande objekt så bör dessa kunna behandlas som säkra.

I de andra fallen (brandfrekvens, direkt och indirekt skadekostnad) så finns det idag inga allmänt accepterade metoder för att beräkna/bedöma dessa. Alltså måste dessa behandlas som osäkra.

När det gäller Termoplast så har ju beslutsgruppen i det tidigare arbetet fått fram uppgifter på alla ingående parametrar. Dock är värdena på brandfrekvenserna och skadekostnaderna endast expertbedömningar. Gruppen gör därför en grov uppskattning på att de normala värdena kan variera så pass mycket som 50 % både högre och lägre (se tabell 4.11).

<i>Osäker variabel</i>	<i>Låg</i>	<i>Normal</i>	<i>Hög</i>
<b>Antal bränder per år (år<sup>-1</sup>)</b>	0,025	0,05	0,075
<b>Fördelningen mellan olika typbränder</b>	Slh 2	Slh 1	Slh 3
	Olja 60%	Olja 30%	Olja 30 %
	Lager 10%	Lager 40%	Lager 10%
	Kabel 30%	Kabel 30%	Kabel 60%
<b>Direkt skadekostnad (kk)</b>			
Oljebrand + sprinkler	1 250	2 500	3 750
Oljebrand + ventilation	2 250	4 500	6 750
Lagerbrand + sprinkler	2 500	5 000	7 500
Lagerbrand + ventilation	4 000	8 000	12 000
Kabelbrand + sprinkler	350	700	1 050
Kabelbrand + ventilation	300	600	900
<b>Indirekt skadekostnad (% av direkt)</b>			
Oljebrand + sprinkler	15	30	45
Oljebrand + ventilation	17,5	35	52,5
Lagerbrand + sprinkler	17,5	35	52,5
Lagerbrand + ventilation	17,5	35	52,5
Kabelbrand + sprinkler	5	10	15
Kabelbrand + ventilation	4	8	12

*Tabell 4.11: De osäkra variabelernas fördelning.*

Själva känslighetsanalysen genomförs sedan genom att en parameter ändras till det låga/höga värdet, samtidigt som alla andra har sitt normala värde. Den förväntade årskostnaden beräknas sedan med samma metod som innan. Förändring som variationen av indatan genererade på basbeloppet av den förväntade skadekostnaden kan sedan bestämmas. Proceduren upprepas för alla indata och tenderar att bli arbetsamt varför någon form av datorstöd är att rekommendera (t.ex. PRECISION TREE, se Appendix E.1).

*Exempel*

Vi ansätter först att antalet bränder per år har minskat till en på 40 år (=0,025). En ny beräkning av förväntade utfall i beslutsrådet ger att det mest optimala alternativet blir sprinkler och en självrisknivå på 100 kkr. Låter vi istället antalet bränder per år öka till en på 13 år (0,075) blir det mest optimala alternativet ventilation med en självrisk på 1 000 kkr. Vi har här alltså en mycket osäker parameter eftersom den dels inverkar på det förväntade beloppet men även då den gör att det mest optimala beslutsalternativet ändras.

Resultatet kan med fördel presenteras i olika grafiska former; t.ex. tornadodiagram eller en sk ”spider graph”.

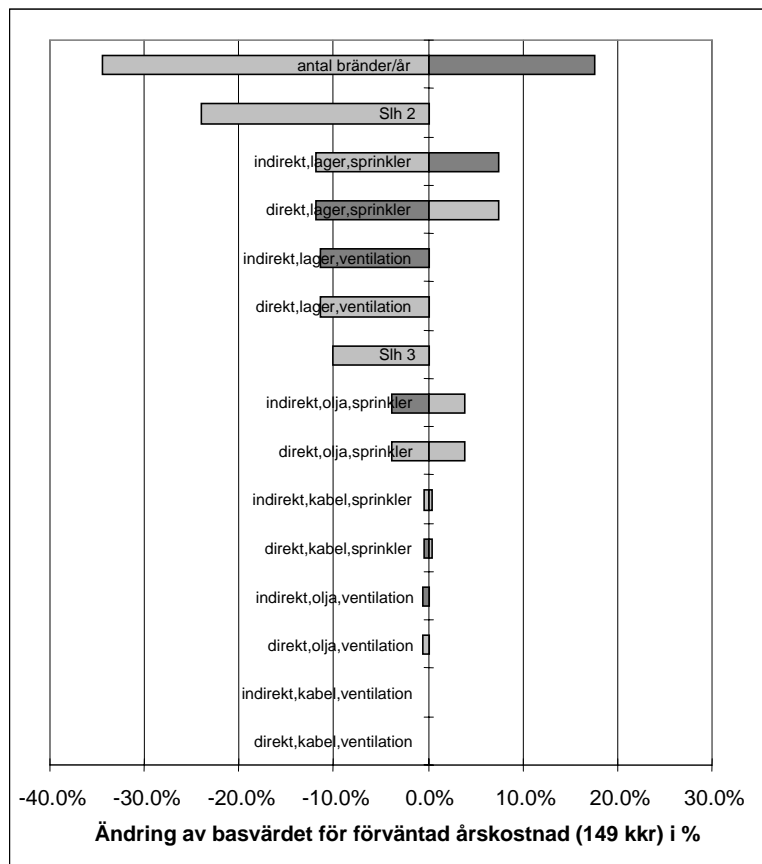
*Tornadodiagram*

Ett tornadodiagram<sup>36</sup> jämför multipla analyser. Med multipla analyser menas att ett antal indata analyseras för ett givet antal värden mellan gränserna. X-axeln visar hur stor ändringen av basvärdet av den förväntade årskostnaden blir då en parameter ändras. För varje parameter som har analyserats finns det sedan en stapel som anger ändringen. Desto större stapel desto större inverkan har parametern.

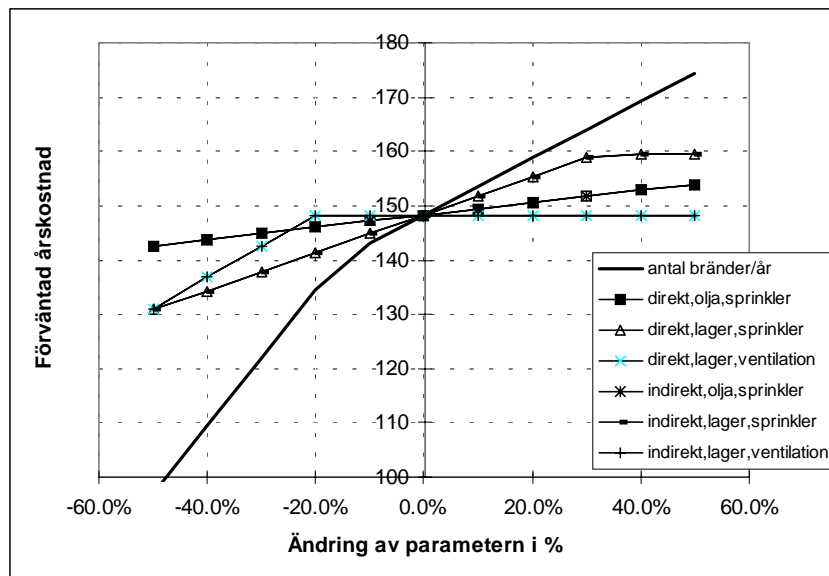
*Spider graph*

En Spider graph<sup>36</sup> jämför också olika parametrars inverkan vid multipla analyser. En spider graph innehåller dock mer information än ett tornadodiagram. X-axeln visar den procentuella ändringen av parametern själv och y-axeln visar ändringen av basvärdet för den förväntade årskostnaden. Här kan också den relativa ändringen mellan olika parametrar jämföras. Exempelvis så kan absolutvärdet av ändringen av basbeloppet vara lika för två parametrar men ändringen av själva parameter är kanske bara 20% på den ena och 60% på den andra. I tornadodiagrammet framgår ingen skillnad på dessa och resultatet blir alltså att de är lika känsliga. En spider graph visar istället på storleken av den ändring från det normala värdet som görs i känslighetsanalysen. Ju större lutning linjen får desto större inverkan får den aktuella parametern i modellen. Spider graph har en tendens att bli rörig om för många parametrar är representerade. Ett bra sätt kan därför vara att först rita ett tornadodiagram och endast ta med de känsligaste parametrarna i denna.

Tornadodiagram och spider graph för Termoplast AB finns i figur 4.14 och 4.15.



Figur 4.14: Tornadodiagram för Termoplast AB (mörkare stapel avser att mest optimal alternativ har ändrats till ventilation med självrisknivå på 1000 kkr).



Figur 4.15: Spider graph för Termoplast AB.

Slutsatserna som kan dras från den deterministiska känslighetsanalysen är de att följande parametrar bör anses som osäkra och alltså prioriteras i det fortsatta arbetet:

- ◆ Antal bränder per år
- ◆ Hur stor andel av dessa bränder som genererar respektive typbrand
- ◆ De indirekta och direkta kostnaderna vid en lagerbrand då lokalen är sprinklad eller ventilerad
- ◆ De indirekta och direkta kostnaderna vid en oljebrand då lokalen är sprinklad

Det framgår tydligt genom denna analys att de känsliga delarna i modellen är det statistiska underlaget samt beräkningsmodellerna för dels brandförlopp (inverkan av brandskyddsalternativ) och dels för termisk och icke-termisk skada (direkta och indirekta skadekostnaden).

Hur arbetet skall fortsätta styrs, precis som nämnts innan, av vilket mål företaget har med arbetet eller hur mycket tid (kostnad) man vill lägga ned. Här krävs en ingenjörsmässig bedömning av nyttan av att fortsätta. Om en noggrannare utvärdering skall utföras är det naturligtvis av stor vikt att hitta så representativa värden som möjligt på de osäkra parametrarna. Detta kan göras på två sätt: antingen så försöker man få bättre värden på de osäkra parametrarna genom att göra bättre utvärderingar (kanske genom att anlita en expert på området) eller så väljer man att representera de osäkra parametrarna med sannolikhetsfördelningar (vilket behandlas i den probabilistiska fasen).

## 4.9 Sammanfattning av den deterministiska utvärderingen

Resultatet av den deterministiska utvärderingen blev att lägsta förväntade årskostnad erhöles för alternativet att investera i en sprinkleranläggning samtidigt som självriskan skall vara minimibeloppet 100 kkr. Årskostnaden visade sig vara relativt okänslig för alternativet att försäkra istället för att förebygga samt höga självrisknivåer. Tidigare nämndes att indata var uppskattade och i en del fall i verkligheten behäftade med osäkerheter. För att göra en studie av inverkan av dessa uppskattningar (osäkerheter) utfördes en deterministisk känslighetsanalys. Denna resulterade i att, se figur 4.14 och 4.15, följande indata får stor betydelse för utfallet:

- ◆ Antal bränder per år
- ◆ Hur stor del av dessa bränder som resulterar i respektive typbrand
- ◆ De direkta och indirekta kostnaderna vid en lagerbrand då lokalen är sprinklad eller ventilerad.
- ◆ De direkta och indirekta kostnaderna vid en oljebrand då lokalen är sprinklad.

Sammanfattningsvis är alltså det *statistiska underlaget* samt *beräkningsmodellerna* för tillväxt, påverkan och skador känsliga delar.

De delar av den beslutsanalytiska teorin som utnyttjats hitintills utgör de absolut grundläggande och nödvändiga delarna. Vid en mer förfinad och detaljerad analys kan det finnas orsak att *vidare studera*:

- ◆ Att anläggningsägaren ej är kostnadsneutral (d.v.s. riskattityd ej neutral).
- ◆ Den deterministiska känslighetsanalysen kan kompletteras med en probabilistisk sådan (mer detaljerad sannolikhetsfördelning)
- ◆ Värdet av att förbättra kunskaps- och informations fasen.

Var och en av dessa aspekter kommer att närmare beskrivas i kapitel 5.



# 5 Metoder för att utföra en mer detaljerad analys

De delar som behandlats i kapitel 4 utgör de absolut grundläggande och nödvändiga delarna i en beslutsanalytisk utredning. Vid en mer förfinad och detaljerad analys kan det finnas orsak att vidare studera:

- ◆ Att anläggningsägaren ej är kostnadsneutral (d.v.s. riskattityden är ej neutral).
- ◆ De olika alternativens riskprofiler (kumulativa fördelningsfunktioner).
- ◆ Den deterministiska känslighetsanalysen kan kompletteras med en probabilistisk sådan (mer detaljerad sannolikhetsfördelning).
- ◆ Värdet av att förbättra kunskaps- och informationsfasen.

Användningen av riskprofiler är den metod som oftast bör användas utöver de grundläggande metoderna eftersom denna är ett bra komplement till den deterministiska utvärderingen och inte kräver någon större arbetsinsats. Behovet av att utnyttja de övriga metoderna varierar från fall till fall. Är t.ex. anläggningsägaren väldigt känslig för stora dolda kostnader kan det rekommenderas att använda sig av ”riskattityder” och är osäkerheterna stora kan en bättre kontroll erhållas med hjälp av en osäkerhetsanalys. Värdet av att förbättra kunskaps- och informationsfasen kan kvantifieras i ekonomiska termer och då utgöra en riktlinje för det fortsatta arbetet.

Dessa olika ”verktyg” kan användas separat eller kombineras.

## 5.1 Riskattityden

Utvärderingen har hittills utgått från att ägaren är kostnadsneutral och skall nu försöka spegla om så inte är fallet genom att behandla företagets riskattityd eller riskkänslighet. Att ta hänsyn till ett företags riskattityd är en metod för att, istället för att bara beräkna den faktiska kostnaden, räkna fram vad ett risktagande egentligen innebär beträffande överlevnadspotential mm för företaget. Som framgår av kapitlet är här bl.a. företagets storlek av betydelse. Med hjälp av nyttoteorin kan alltså värdet av skilda utfall för olika individer mätas.

### 5.1.1 Nyttoteori

Nytta kan enligt Ramachandran<sup>39</sup> definieras som ett ”verkligt” värde av pengar, som kan kvantifieras i ekonomiska frågor för att tillfredsställa sina behov. I en beslutsanalytisk mening kan nyttan beskrivas som en faktor som beskriver ”attraktionen” av ett utfall – desto större nyttovärde, desto mer tillfredsställande är utfallet.

Bakgrunden kan enklast beskrivas genom ett exempel baserat på deltagande i ett ”lotteri” (egentligen ett val under osäkerheter). Låt oss anta att en person deltar i en vadslagning kopplat till slantsingling: Om kronan kommer upp vinner han eller hon 500 kronor, blir det däremot klave förlorar denne istället 300 kronor. Den förväntade vinsten blir

$$\frac{1}{2} \cdot 500 + \frac{1}{2} \cdot (-300) = 100 \text{ kronor}$$

om personen deltar i vadet och 0 kronor om vadet inte antas. Enligt beslutsteorin skall vadet antas eftersom det förväntade värdet är större än noll, och intuitivt verkar fördelaktigt. Antag nu istället att det handlat om en vinst av 50 000 kronor respektive en förlust av 30 000 kronor. Den förväntade vinsten blir nu istället 10 000 kronor om vadet antas och 0 kronor om det inte antas. Enligt ”förväntade värdet” kriteriet skall vadet antas även här, speciellt då vinsten kan bli stor. Kommer personen att anta vadet? Förmodligen inte, såvida han eller hon inte är så pass förmögna att förlusten av 30 000 kronor inte påverkar dennes ekonomiska ställning. Möjligheten att



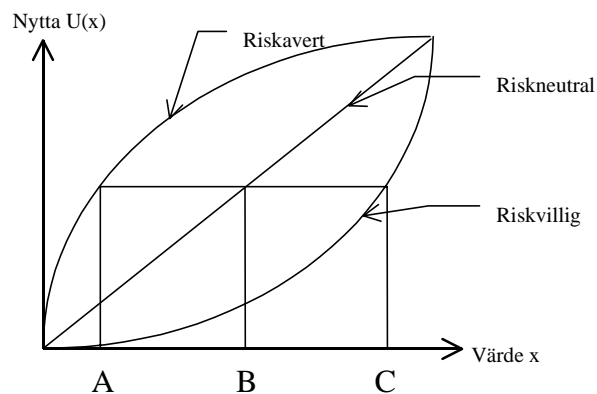
vinna 50 000 är lockande men chansen att förlora 30 000 är för stor. Slutsats: problemet med att välja mellan olika alternativ är inte bara beroende av utfallen utan även vilka tillgångar som beslutsfattaren har.

Antag nu att det finns en (årlig) sannolikhet,  $p$ , för att brand uppkommer och att det finns en förväntad skadekostnad,  $x$ , då det brinner. Den förväntade skadekostnaden per år blir då  $p \cdot x$ . För att finansiera denna skadan kan fastighetsägaren ta en försäkring och får då betala en försäkringspremie  $I$  (försäkringen antas täcka alla skadekostnader). Ägaren står alltså inför två val; att försäkra eller inte försäkra. Den förväntade kostnaden per år blir  $I$  (premien) om försäkringsalternativet väljs. På basis av förväntade värden skall ägaren endast välja att försäkra då  $p \cdot x$  överstiger  $I$ . Detta fallet kan egentligen aldrig uppkomma eftersom, enligt grundläggande principer för försäkringar, premien alltid måste vara större än den förväntade skadekostnaden per år. Försäkringsbolaget kommer dessutom att lägga på vissa typer av merkostnader. Den stora skillnaden är att försäkringspremien är en känd ("säker") kostnad medan den förväntade skadekostnaden,  $p \cdot x$ , är "osäker". Ägaren skulle med all säkerhet föredra den mindre, säkra, kostnaden istället för den osäkra som kan bli väldigt stor. Denna riskaversion grundar sig på den psykologiska innebörden som ordet "osäkerhet" har. På grund av detta så är, i detta fallet, beslut baserade på förväntade värden inte är tillräckligt. Parallellt från detta resonemanget kan dras till riskaversionen mot indirekta kostnader där förlusten av t.ex. goodwill motsvarar den okända (osäkra) kostnaden.

Dessa två exempel illustrerar faktumet att för ett specifikt företag är "värdet" av ett utfall inte alltid vad värdet av pengar varierar alltså från företag till företag beroende på t.ex. ekonomiska tillgångar. Om det på något sätt gick att exakt bestämma det sanna värdet av ett ekonomiskt utfall vid val under osäkerhet skulle utvärderingen baseras på dessa sanna värden istället för förväntade värden.

### 5.1.2 Nyttofunktioner

Ett företags inställning till risk uttrycks oftast som en nyttofunktion vars matematiska struktur är central för användandet av begreppet "riskattityd". Figur 5.1 visar tre typiska nyttofunktioner som brukar användas. Nyttofunktionen som representeras av den räta linjen är representativ för en beslutsfattare som arbetar efter förväntade värden (alltså på samma sätt som i kapitel 4) d.v.s. han eller hon är riskneutral. Den konkava kurvan representerar på samma sätt en riskavert beslutsfattare, medan den konvexa representerar en riskvillig sådan. För en riskvillig person överstiger alltid nyttan av att delta i ett "lotteri" nyttan av att inte delta. En riskavert person undviker alltid, eller har inte råd, att delta i ett "lotteri".



Figur 5.1: Olika individers inställning till risk i grafisk form.

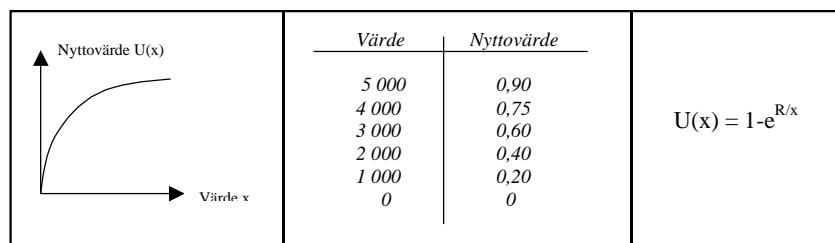
Nyttofunktionen behöver inte ha just detta utseende, utan det viktiga i dess funktion är att beskriva den relativa nyttan mellan olika alternativ. Figur 5.1 kan dock vara ett hjälpmedel för att förstå metodiken.

#### Exempel

Antag att den förväntade vinsten av ett "lotteri" är  $B$  (se figur 5.1). Om man från detta värdet går till den riskneutrala kurvan erhålls nyttan  $U(B)$ . Motsvarande monetära värde (d.v.s. det värde man är beredd att satsa) för detta nyttovärde är  $A$  för den riskaverta personen och  $C$  för den riskvilliga. Den riskaverta personen är då villig att betala riskpremien  $B-A$  för att ej delta i lotteriet. Den riskvilliga personen är däremot villig att betala  $C-B$ , utöver det förväntade värdet, för att delta.

Med detta exempel som bakgrund finns det orsak till att definiera riskpremien som är den summa som beslutsfattaren är villig att betala för att undvika att delta i en osäker händelse med utgångspunkt från hans/hennes attityd till risk.

Nytta  $U$  kan ha en godtycklig skala, exempelvis 0-1 eller 0-100, då detta värde endast uttrycker den relativa skillnaden av olika utfall. Nyttovärdet kan alltså uttryckas i matematisk form men kan redovisas på olika sätt; som en graf, som en tabell eller som ett matematiskt uttryck (se figur 5.2).



Figur 5.2: Olika sätt att presentera riskattityden.

Nyttofunktionen är helt individuell för företaget, men har den fördelen att den kan återanvändas i andra beslutssituationer för att på så sätt systematiskt behandla dess inställning till risk.

Resonemanget i detta avsnitt leder fram till två frågor; Hur skall företaget producera nyttofunktionen och hur skall denna användas i den beslutsanalytiska metodiken?

### 5.1.3 Riskattityder mot skadekostnader

När det gäller ett företags inställning till skadekostnader vid brand kan nyttofunktionen skrivas som, Ramachandran<sup>39</sup>:

$$U(x) = \log(B-x) \tag{5.1}$$

där

- $U(x)$  = nyttovärdet
- $B$  = företagets tillgångar
- $x$  = skadans storlek

Ett annat alternativ är:

$$U(x) = -\left(\frac{x-m}{M-m}\right)^\theta \tag{5.2}$$

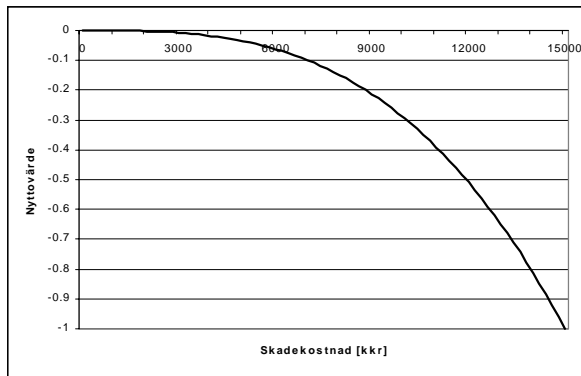
där

- $U(x)$  = nyttovärdet
- $m$  = den skadekostnad som minst uppstår vid brand
- $M$  = största skadan som kan uppstå, t.ex. EML
- $x$  = skadans storlek
- $\theta$  = en individuell parameter som beskriver hur pass riskavert företaget är

Ekvation 5.2 har den fördelen att denna bättre kan anpassas till företagets egna preferenser medan ekvation 5.1 är mera allmän för riskaversion mot skador.

Beslutsgruppen väljer att för Termoplasts fall att beskriva deras riskaversion som ekvation 5.2.  $\theta$  bestäms genom att sätta in vissa skadekostnader och uppskatta nyttovärdet för dessa. Genom att på detta sätt ta ett antal representativa punkter kan  $\theta$  sedan lösas ut. I Termoplasts fall blir faktorn ungefär 3. Den minsta skadekostnaden ( $m$ ) som kan uppkomma uppskattar beslutsgruppen till 100 kkr. Nyttofunktionen kan nu beskrivas grafisk enligt

figur 5.3. Notera att denna nyttofunktion ej har samma utseende som i figur 5.1. Detta eftersom denna beskriver riskattityden med ett ökande negativt utfall på x-axeln.



Figur 5.3: Nyttfunktion för Termoplast AB.

Av figur 5.3 framgår det att skadekostnader upp till cirka 3 000 kkr, d.v.s. kostnader som ofta är mindre eller något större än självrisk, innebär det största nyttovärdet eller de alternativ som Termoplast är minst riskaverta mot. Då kostnaderna överstiger 3 000 kkr medför detta att de oförsäkrade eller indirekta kostnaderna har blivit omfattande. Nyttovärdet kommer därför också att minska exponentiellt, allt för att uttrycka den ökande riskaversionen mot stora oförsäkrade kostnader. Nyttofunktionen kan också användas för att bestämma riskpremien vid olika utfall, d.v.s. hur mycket Termoplast är villigt att satsa för att undvika osäkerheten med de dolda kostnaderna.

Det följande arbetet blir att nu utvärdera beslutsträdet med nyttovärde istället för kostnader. Metodiken är dock densamma. Det första steget blir att summera utfallet för alla grenar.

### Exempel

För alternativet med sprinkler, självrisknivå 100 kkr och en oljebrand blir summan:

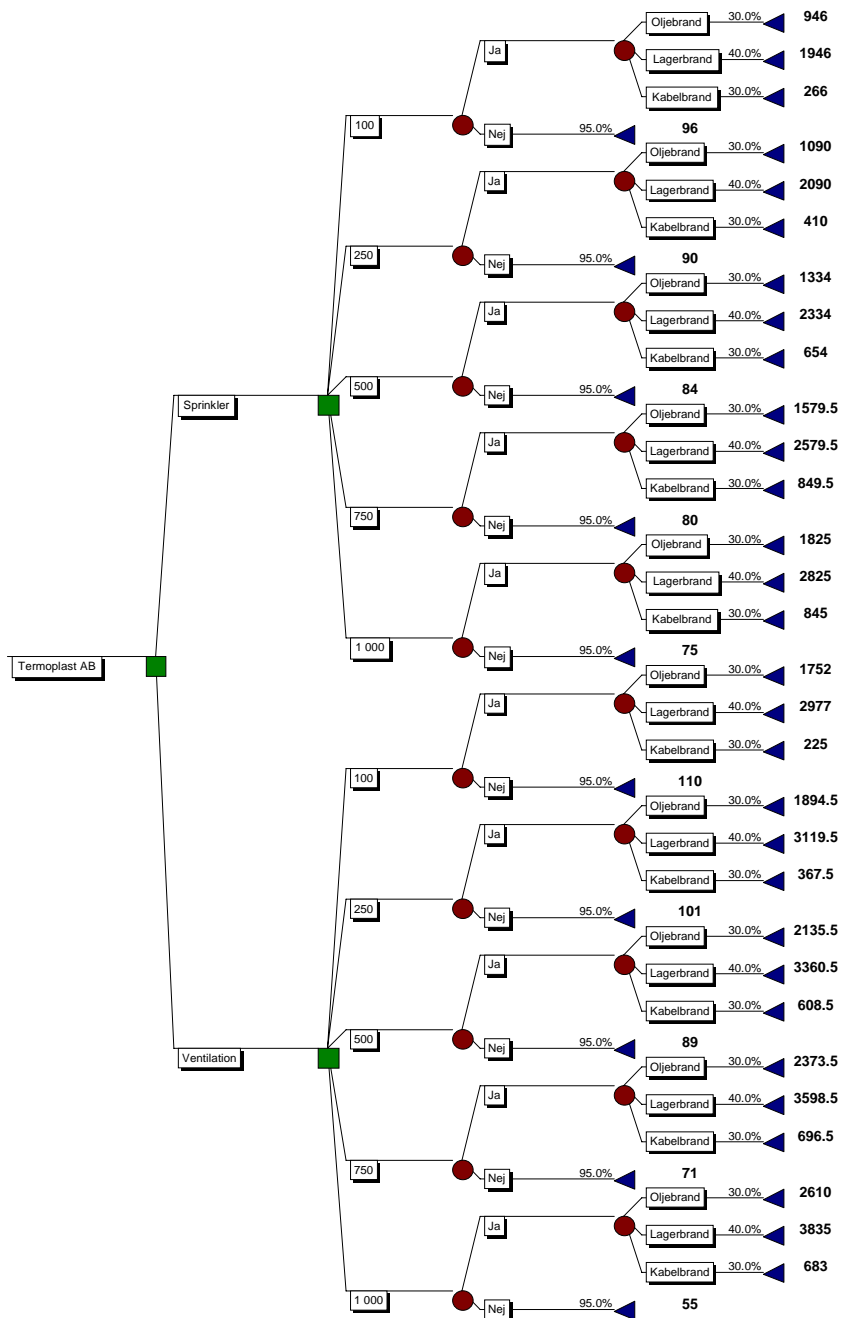
$$\text{Årlig kostnad} + \text{premie} + \text{självrisk} = 72 + 24 + 850 = 946 \text{ kkr}$$

Nyttovärdet som motsvarar 946 kkr beräknas enligt ekvation 5.2:

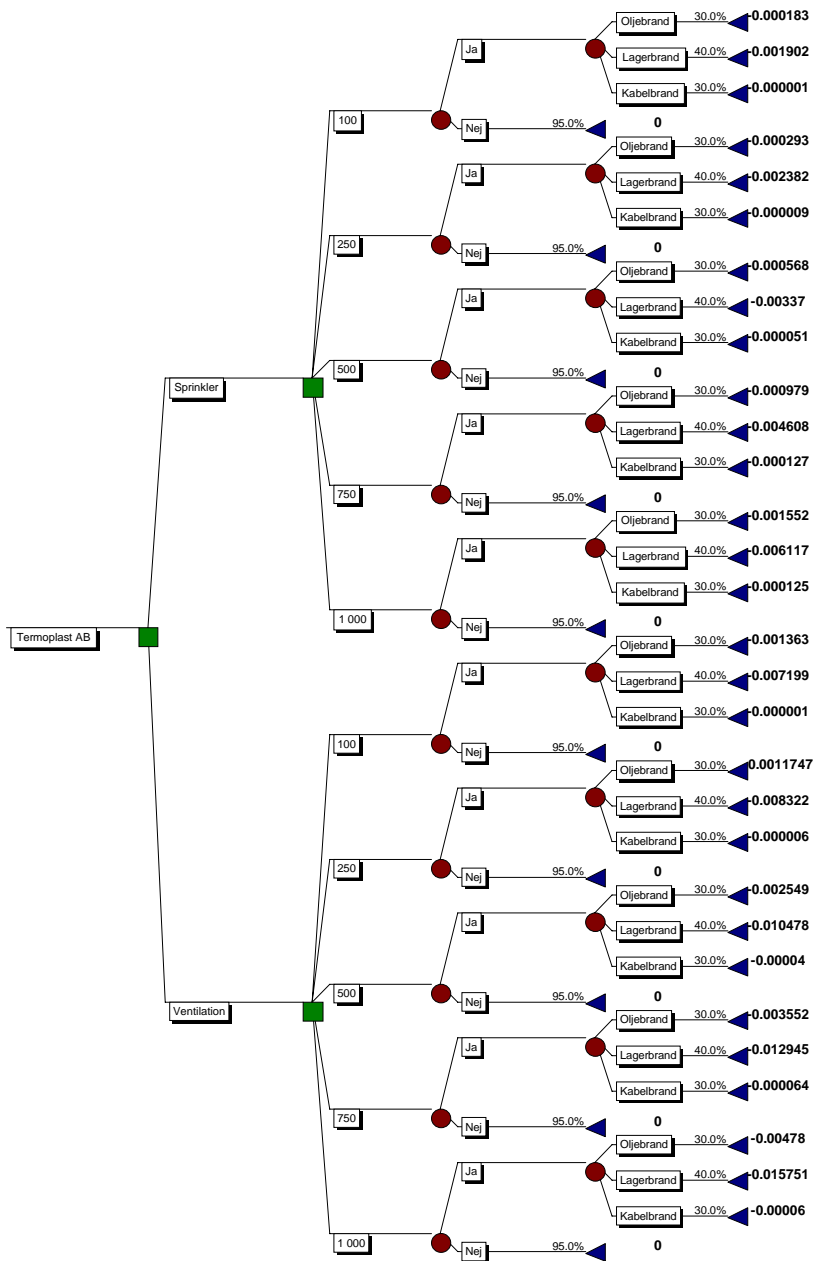
$$U(x) = ((946 - 100) / (15\,000 - 100))^3 = -0.000183$$

Notera att då brand ej uppkommer kommer kostnaden att uppgå till årlig kostnad + premie. Beslutsträd med det totala utfallet respektive motsvarande nyttovärde redovisas i figur 5.4 respektive 5.5 (Observera att nyttovärdet = 0 innebär att det är  $< 0,000001$ ).

## 5. Metoder för att utföra en mer detaljerad analys

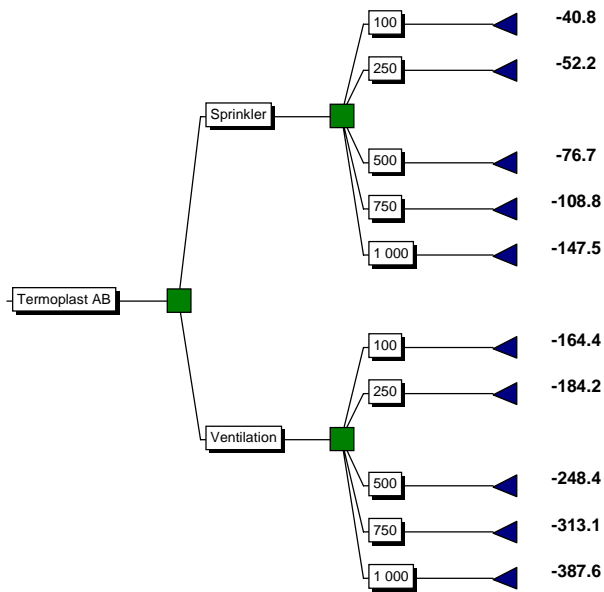


Figur 5.4: Beslutsträd med totala utfallet för varje delscenario.



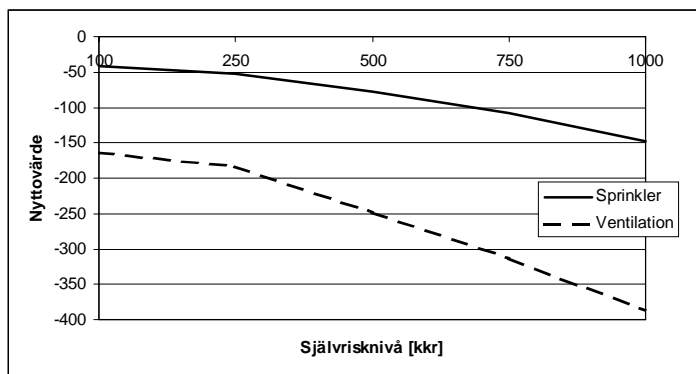
Figur 5.5: Förväntade nyttovärden för de olika alternativen.

Beslutsträdet utvärderas sedan med samma metodik som har beskrivits i kapitel 4, avsnitt 4.7. Resultatet blir enligt figur 5.6.



Figur 5.6: Förväntade nyttovärden ( $\times 10^{-6}$ ).

Resultatet åskådliggörs bättre i figur 5.7.



Figur 5.7: Jämförelse mellan förväntade nyttovärden.

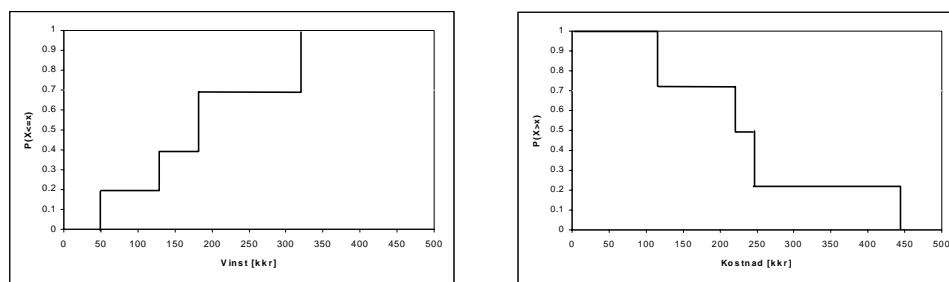
Av denna figuren framgår det klart och tydligt att sprinkler är det mest kostnadseffektiva alternativet. Valet av självrisknivå är inte lika entydigt då nyttovärdena är i samma storleksordning för de lägre nivåerna. Metoden med nyttovärden ger alltså ett bra komplement till de mer grundläggande underlagen som presenterades i kapitel 4 och visar också på den effekt som en riskaversion mot indirekta kostnader får.

## 5.2 Riskprofiler

Att utvärdera efter förväntade värden (EMV) är oftast enkelt och ger ett tilltalande svar, exempelvis så säger den deterministiska utvärderingen i kapitel 4 att det optimala alternativet blir sprinkler med en självrisknivå på 100 kkr (årlig kostnad = 149 kkr). Sanningen är egentligen inte så enkel eftersom osäkerheter är involverade. Genom att använda riskprofiler kan alternativen i vissa fall bättre jämföras med varandra då dessa tar hänsyn till osäkerheterna. Dessutom kan en riskprofil ge svar på frågor av typen; Vad är sannolikheten att kostnaden blir större än X? Vad är sannolikheten att vi inte går med förlust? eller Vilket alternativ innebär störst risktagande?

### 5.2.1 Olika typer av riskprofiler

Alla osäkerheter kan beskrivas i form av en riskprofil då denna helt enkelt utgörs av de ackumulerade sannolikheterna för de olika delhändelserna. Beroende på vilken form av konsekvens som behandlas brukar profilen ha två utseende, se figur 5.8.



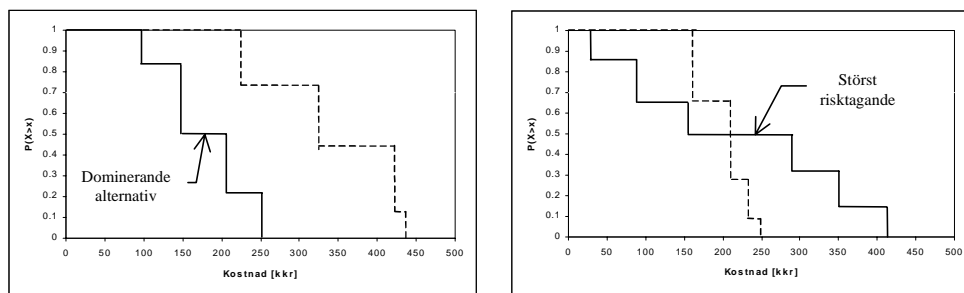
Figur 5.8: Olika typer av riskprofiler (vänster: CDF höger: CCDF).

Alternativet till vänster i figur 5.8 anger hur stor sannolikheten är för att utfallet skall bli mindre än eller lika med ett visst givet värde och lämpar sig därför bäst då risker med positiva utfall behandlas (t.ex. vinst av att göra en nyinvestering). Det högra alternativet anger istället hur stor sannolikheten är för att utfallet blir större än ett givet värde. Detta alternativet passar bäst då sk statiska risker behandlas (d.v.s. risker med enbart negativa utfall). I engelsk litteratur används beteckningarna CDF (Cumulative Distribution Function) respektive CCDF (Complementary Cumulative Distribution Function), se vidare Appendix D.

Eftersom det endast är konsekvenser med negativa utfall som behandlas i denna rapport kommer fortsättningsvis en riskprofil att innebära en CCDF, d.v.s. det högra alternativet i figur 5.8.

### 5.2.2 Jämförelse av riskprofiler

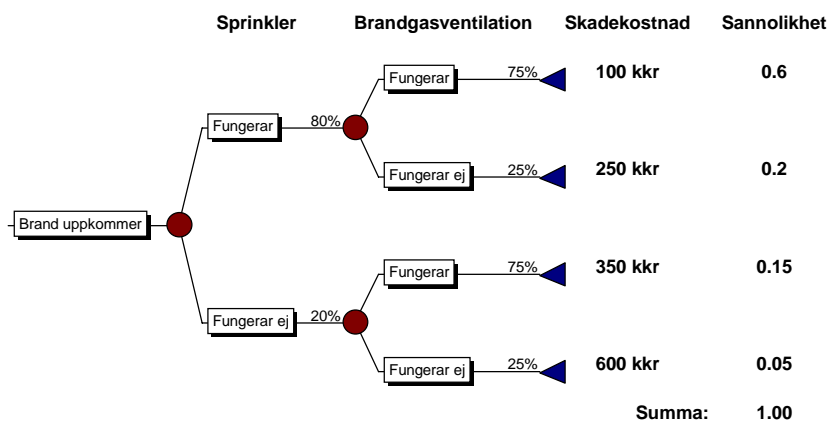
Om två, eller fler, riskprofiler jämförs i samma figur är det inte alltid självklart vilken som är det bästa alternativet. Det enklaste fallet är om en profil uteslutande ligger till vänster om en annan eftersom den då kan anses dominera (stokastisk dominans) den senare (se figur 5.9). Detta då sannolikheten för ett visst värde alltid är mindre än för den andra. Att ett alternativ är dominerande innebär också att det är det mest optimala. Om två kurvor korsar varandra kan en sådan slutsats inte dras direkt. I detta fallet får istället en kvalitativ bedömning göras genom att jämföra exempelvis det förväntade värdet tillsammans med vilket av alternativen som innebär störst risktagande. Med störst risktagande menas det alternativ som har störst utfallsområde (se figur 5.9).



Figur 5.9: Dominerande alternativ respektive alternativ med störst risktagande.

### 5.2.3 Konstruktion av en riskprofil

Metodiken för att ta fram en riskprofil beskrivs enklast genom ett exempel, figur 5.10.



Figur 5.10: Händelseträd för exempel.

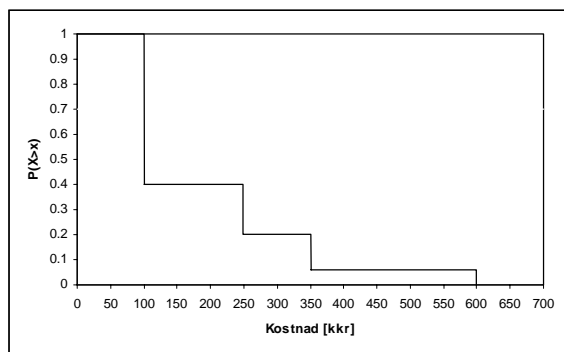
Nästa steg blir att sätta upp de olika delhändelserna i en tabell, sorterade efter stigande konsekvens. Riskprofilen konstrueras sedan genom subtrahera föregående delhändelses sannolikhet från summan av alla delhändelser som återstår (se tabell 5.1).

Delhändelse	Konsekvens	Sannolikhet	Subtraherad sannolikhet
1	100	0,6	1,0
2	250	0,2	0,4 (1,0-0,6)
3	350	0,15	0,2 (0,4-0,2)
4	600	0,05	0,05 (0,2-0,15)
			1,00

Tabell 5.1: Framtagande av riskprofil.

Riskprofilen kan sedan ritas upp och blir enligt figur 5.11.





Figur 5.11: Riskprofil för exemplet i figur 5.10.

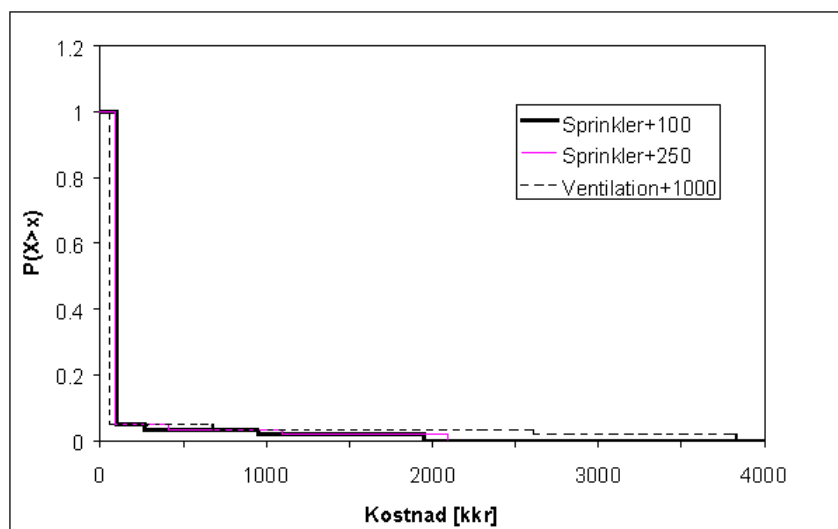
Användningen av riskprofiler lämpar sig bäst då ett begränsat antal alternativ skall jämföras eftersom det tenderar att bli rörigt i figurerna.

I Termoplast fall vill beslutsgruppen, efter den deterministiska utvärderingen, göra en lite noggrannare analys av alternativen sprinkler med självrisknivå på 100 och 250 kkr samt ventilation med en självrisknivå på 1000 kkr. Detta eftersom de enligt figur 4.12 ligger på ungefär samma årliga kostnad. Ventilationsalternativet ligger i och för sig något högre men skiljer sig så pass mycket i självrisknivå att en ytterligare analys kan vara intressant. De olika utfall som finns för respektive alternativ är ingen brand, oljebrand, lagerbrand och kabelbrand. Kostnaden vid varje utfall kan hämtas från figur 5.4. Konstruktionen av riskprofilerna redovisas i tabell 5.2.

Alternativ	Sprinkler+100			Sprinkler+250			Ventilation+1000		
	kostnad	p	sub. p	kostnad	p	sub. p	kostnad	p	sub. p
Ingen brand	96	0,95	1,0	90	0,95	1,0	55	0,95	1,0
Kabelbrand	266	0,015	0,05	410	0,015	0,05	683	0,015	0,05
Oljebrand	946	0,015	0,035	1090	0,015	0,035	2610	0,015	0,035
Kabelbrand	1946	0,02	0,02	2090	0,02	0,02	3835	0,02	0,02
		1,0			1,0			1,0	

Tabell 5.2: Konstruktion av riskprofiler för olika alternativ.

Dessa profiler ritas sedan upp i figur 5.12.



Figur 5.12: Riskprofiler för Termoplast AB.

Figur 5.12 ger mycket lite information i detta fallet. Riskprofilerna är alldeles för lika för att dra några slutsatser utöver att ventilationsalternativet verkar innebära ett större risktagande.

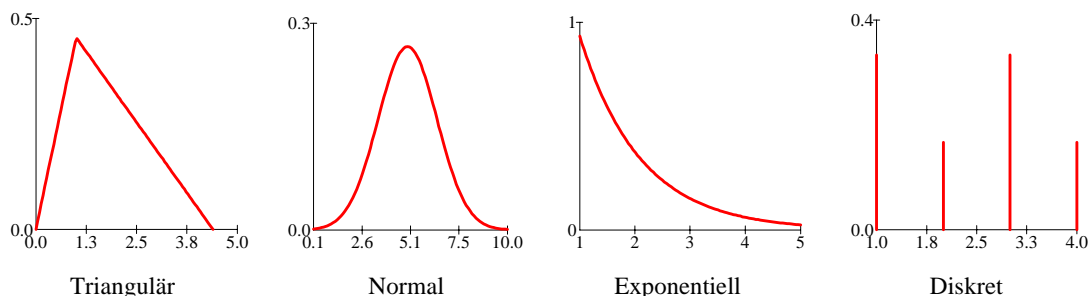
Trots att detta exemplet inte ger någon större information skall inte riskprofilernas användning underskattas. Genom att rita upp dessa erhålls inte bara en form av ranking mellan alternativen utan också en bättre förståelse för de olika alternativen i modellen. Detta kan underlätta det följande arbetet.

## 5.3 Osäkerhetsanalys (Probabilistisk känslighetsanalys)

Resultatet från beslutsmodeller är ofta behäftade med stora osäkerheter. Orsaken till detta är att många av de variabler som utgör indata antingen inte kan skattas tillräckligt bra med det underlag som finns eller också att de t.ex. varierar med tiden och därmed inte låter sig skattas med ett punktvärde. Den deterministiska känslighetsanalysen (se figurerna 4.14 och 4.15) är en identifiering av utslagsgivande indata där osäkerheten i dessa är ofullständigt beskriven (lägsta och högsta värde). Osäkerheten i indata kan också vara av en mer komplex form, t.ex.; vi vet att det inte blir mindre än  $X$  och större än  $Y$ , däremellan kan vi uppskatta att det mest troliga värdet ligger närmare  $X$  än  $Y$ . För problem av denna typ är det bättre att representera värdet som en fördelning, d.v.s. ett antal möjliga utfall inom ett intervall med olika sannolikhet. Detta ger en heltäckande beskrivning av osäkerheten. Beräkningar med fördelningar brukar ofta benämnas probabilistiska och en variabel som beskrivs med en fördelning benämns stokastisk eller slumpmässig. I en osäkerhetsanalys studeras hur osäkerheten i indata påverkar resultatet (m.a.o. beslutsalternativet). Osäkerheten kan sedan beskrivas på olika sätt; som en fördelning, som en CDF eller som en sannolikhet att ett visst värde inte överskrids (se Appendix D). Det finns idag en god tillgång av mjukvara för att analysera osäkerheter.

### 5.3.1 Statistiska fördelningar

Stokastiska (slumpmässiga) variabler beskrivs i form av en statistisk fördelning med tillhörande parametrar (fördelningar kan också benämnas: frekvens-, täthets- respektive masstäthetsfunktion). Fördelningen visar hur vanligt förekommande vissa värden är av variabeln. En triangelfördelning (se figur 5.13) beskrivs t.ex. av lägsta och högsta värde samt det värde som har störst chans att inträffa. Om t.ex. skadekostnaden beskrivs som en triangelfördelning så är det mer troligt att kostnaden kommer att bli kring toppen av fördelningen än ute i kanterna. Det finns en stor mängd standardiserade fördelningar (för exempel se figur 5.13), dessa behandlas inte vidare i denna rapport utan den intresserade hänvisas till t.ex. Blom<sup>4</sup> eller IAEA<sup>21</sup>. Andra läges- respektive spridningsmått för att beskriva en fördelning kan vara väntevärde och standardavvikelse (se vidare Appendix D).



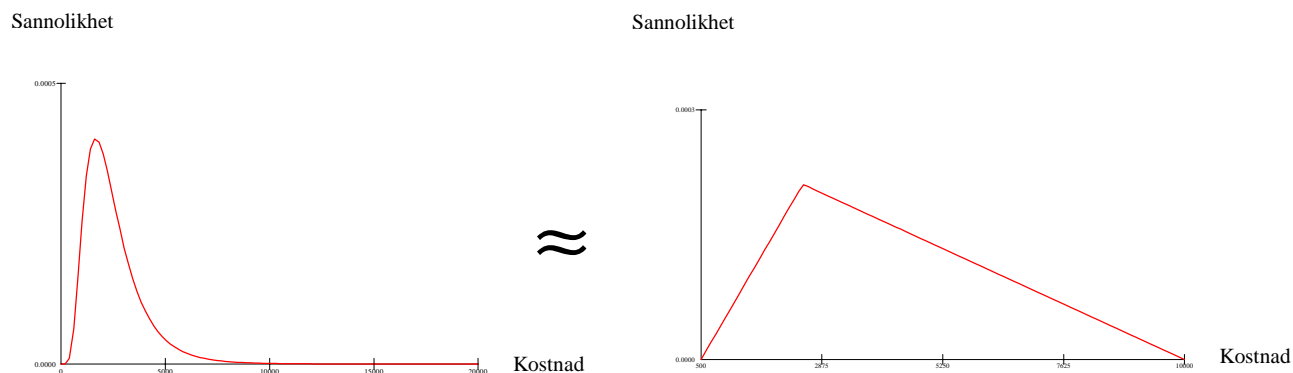
Figur 5.13: Olika standardiserade fördelningar.

Hur fördelningen tas fram beror på den bakgrundsinformation som finns att tillgå. Finns det tillgång till datamaterial kan en statistisk skattning göras. Ofta är dock informationen ej fullständig eller anpassad att använda i denna form av arbete. Fördelningen måste då uppskattas, vilket kräver en viss kunskap om sannolikhets och statistik teori. Några grundregler för hur en fördelning skall tas fram finns inte, dock bör de värden som användes i den deterministiska utvärderingen också ingå i variabelernas osäkerhetsintervall.

Den statistiska fördelningen av ett värde kan antingen vara diskret eller kontinuerlig (se Appendix D). Vid beräkningar med kontinuerliga fördelningar krävs nästan alltid numeriska metoder (d.v.s. datorstöd), medan diskreta fördelningar låter sig behandlas ganska enkelt med handräkning.

### 5.3.2 Fördelningen av skadekostnaden

I litteraturen<sup>39</sup> brukar fördelningen för skadekostnaden vid brand beskrivas som log-normal. Denna fördelning kan modelleras efter brandskyddsalternativ och typindustri genom att standardavvikelsen och väntevärdet ändras. Dock är den log-normala fördelningen relativt komplicerad att anpassa för en specifik anläggning då den baseras på den totala populationen varför en förenkling till en enklare typ av fördelning t.ex. triangulär ofta är att föredra (se figur 5.14).



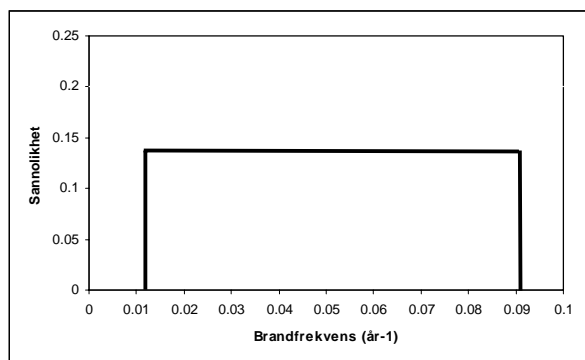
Figur 5.14: Förenkling av en fördelning.

Intervallat inom vilket variabeln kan variera har redan uppskattats i den deterministiska känslighetsanalysen. Det är viktigt att här inte glömma inverkan av tillförlitligheten hos skyddssystemen, vad händer t.ex. om sprinklern inte aktiveras? Toppvärdet, eller det mest sannolika, bör helt enkelt bli det värde som använts i den deterministiska utvärderingen.

Det behöver inte alltid vara en triangulär fördelning (eller log-normal) som är den bästa för att beskriva skadekostnaden. Vid typindustrier som har extrema (onormala) förhållanden krävs en ytterligare och mer noggrann utvärdering av osäkerhetsintervallet.

### 5.3.3 Fördelning av sannolikheten för brand

Brand uppkommer så sällan att det statistiska underlag som finns idag har stora brister. Ett annat problem kan vara att den statistik som finns ej är anpassad för ändamålet. På grund av det bristande underlaget kan variationen mellan olika källor skilja sig avsevärt varför det är mycket svårt att skatta någon fördelning. Ett alternativ kan vara, om det t.ex. finns ett antal källor med olika sannolikhet, att göra fördelningen likformig, d.v.s. att sannolikheten för alla utfall är lika (se figur 5.15).



Figur 5.15: Exempel på likformig fördelning av sannolikheten för brand.

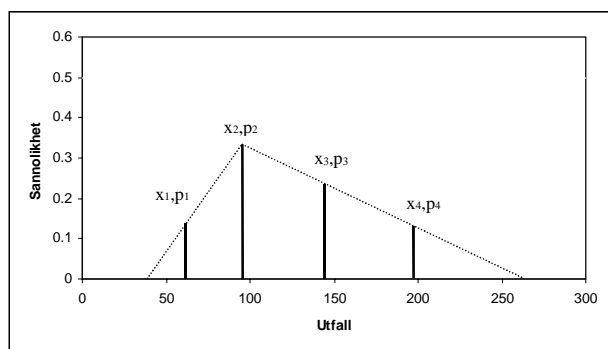
Ett annat fall kan vara om t.ex. flera källor pekar på en i stort sett lika sannolikhet medan endast några få avviker. I detta fallet kan en triangulär fördelning vara det bästa alternativet för att beskriva osäkerheten. Arbetet med att ta fram fördelningen får helt enkelt anpassas till den statistik som finns att tillgå

### 5.3.4 Osäkerhetsanalys

Som tidigare nämnts finns det två sätt att integrera osäkerheten i modellen; som en diskret fördelning eller som en kontinuerlig. Metodiken för att utföra en osäkerhets analys samt resultatet av en sådan skiljer sig något och kommer att presenteras i form av ett exempel. Exemplet är hämtat från Termoplast och kommer att behandla alternativet med sprinkler och en självrisknivå på 100 kkr, d.v.s. det mest optimala alternativet enligt den deterministiska utvärderingen. Eftersom endast ett alternativ behandlas här kommer en diskussion om hur osäkerhetsanalysen kan användas för att ranka alternativ att avsluta avsnittet.

#### Diskret statistisk fördelning

Förutom i de fall då indatan verkligen har en diskret fördelning kan även denna metod användas då en kontinuerlig fördelning diskretiseras (jämför val av typbränder i avsnitt 4.4). En diskretion innebär att olika representativa värden på fördelningen välj ut antingen genom en uppskattning eller genom olika metoder, t.ex. Gaussisk kvadrering eller vertikal integration<sup>8</sup>, (se figur 5.16).



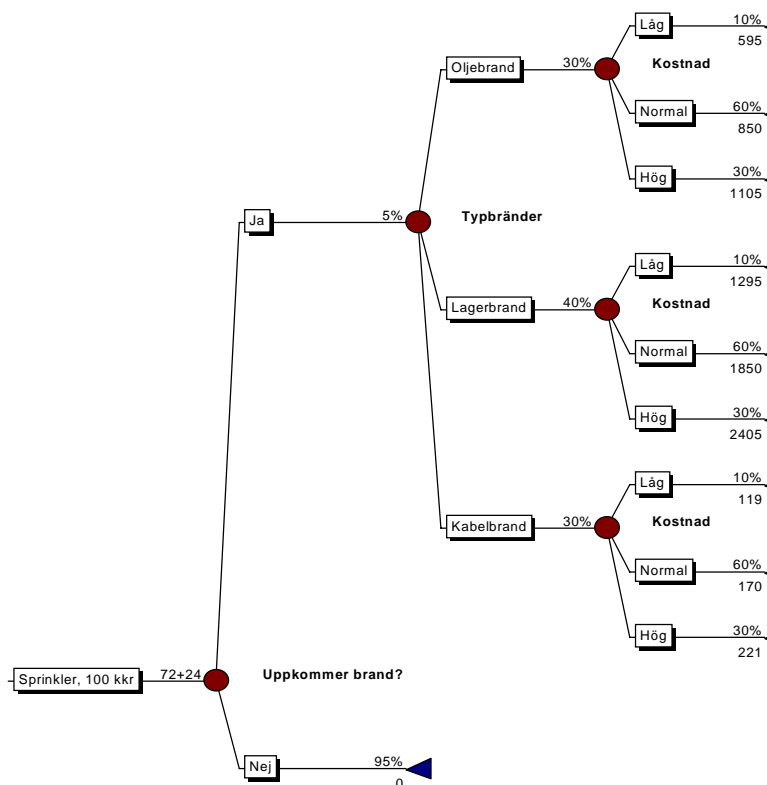
Figur 5.16: Diskretisering av en kontinuerlig fördelning.

I Termoplast fall används ändpunkterna från den deterministiska känslighetsanalysen för att skatta den diskreta fördelningen av skadekostnaden. Uppskattningsvis tror beslutsgruppen att den kostnad som räknats fram kommer att stämma i 60 % av fallen. Om utfallet av skadorna efter branden blir annorlunda kommer det framförallt att vara de indirekta kostnaderna som kommer att påverka företaget. Detta då en självrisknivå på 100 kkr gör att de direkta kostnaderna täcks av försäkringen. Förmodligen kommer sannolikheten att kostnaden blir större att vara högre än sannolikheten för att den blir lägre, då risken att de indirekta skadorna kan vara underskattade är stor. Beslutsgruppen gör en bedömning att den kostnad som företaget får betala som mest kan variera 30 % uppåt och nedåt. De oförsäkrade kostnaderna redovisas i tabell 5.3.

Typbrand	Normal kostnad (60% av fallen)	Låg kostnad (10% av fallen)	Hög kostnad (30% av fallen)
Oljebrand	850	595	1105
Lagerbrand	1850	1295	2405
Kabelbrand	170	119	221

Tabell 5.3: Oförsäkrade kostnaders variation.

Beslutsträdet för alternativet sprinkler samt 100 kkr kan nu omformas till figur 5.17.



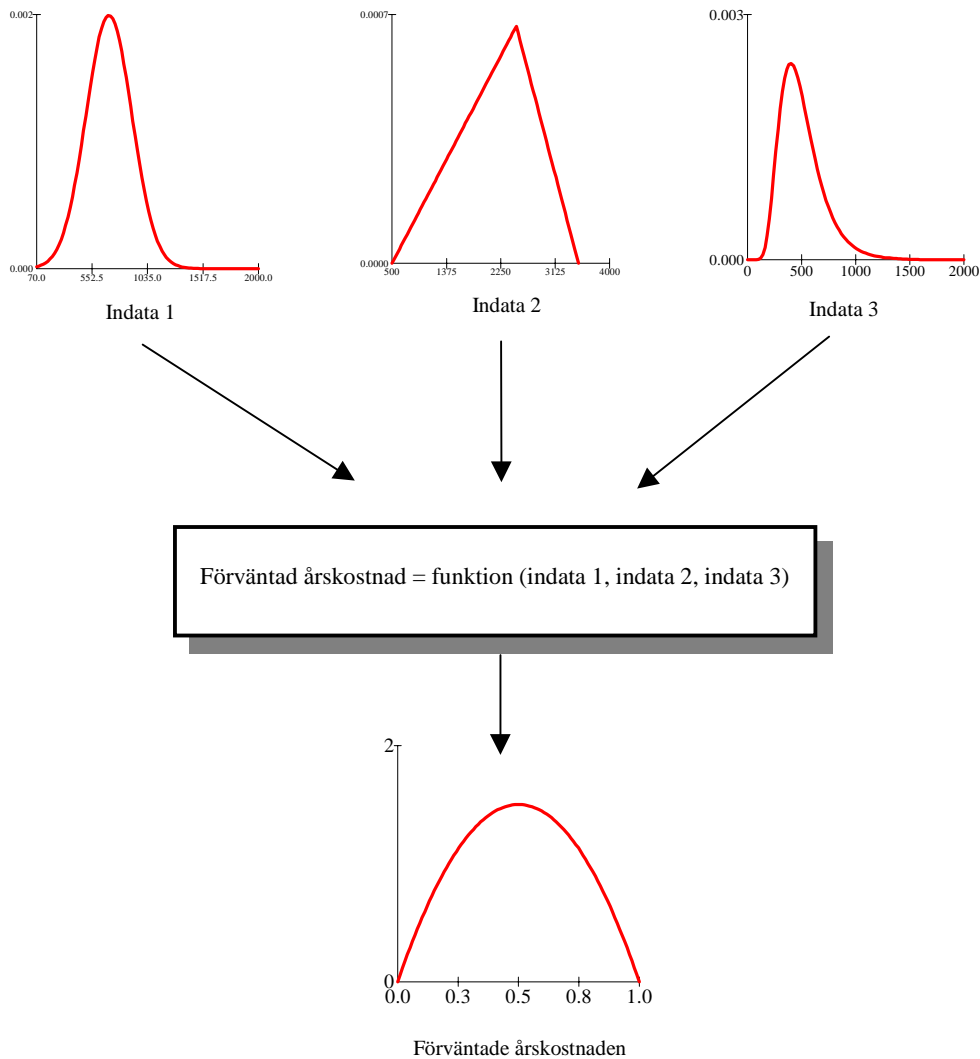
Figur 5.17: Diskretiserade osäkerheter för Termoplast AB.

Beslutsträdet utvärderas sedan på nytt, enligt tidigare beskriven metodik, och den förväntade årskostnaden blir nu 152 kkr, alltså en ökning. En liknande utvärdering utförs sedan av resterande alternativ och ett bättre beslutsunderlag erhålls. Observera att endast en osäker parameter (kostnaden) har behandlats i detta exempel. Naturligtvis skall alla osäkra indata behandlas som en fördelning för att få ett korrekt beslutsunderlag.

**Kontinuerlig statistisk fördelning**

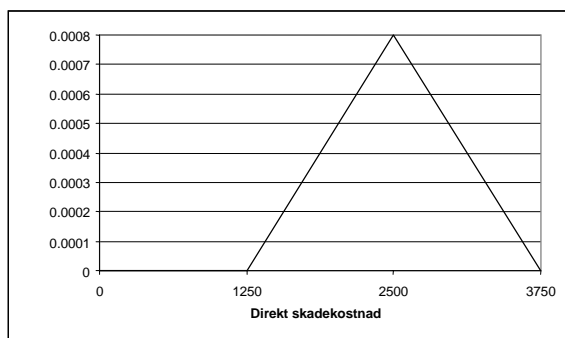
Oftast är emellertid osäkra parametrar kontinuerligt fördelade och det är endast då dessa är matematiskt enkla som handräkningar kan utföras. Istället för handräkning kan då numeriska lösningar med datorstöd användas.

Osäkerheten i den förväntade årskostnaden erhålls genom upprepade numeriska beräkningar där hänsyn tas till slumpmässigheten i indata genom sk Monte Carlo-simulering eller Latin Hypercube sampling (se Appendix D). I denna rapport har Monte Carlo-simuleringen använts för att bättre spegla vikten av att de slumpmässigt valda värdena oftare skall hamna kring det mest sannolika värdet i respektive indatas fördelning. Simuleringen i sig innebär att för varje ny beräkning hämtas ett värde från indatas fördelningar. Upprepas detta ett stort antal gånger, t.ex. 1000 gånger, kan resultatet av årskostnaden erhållas som en fördelning (se figur 5.18).



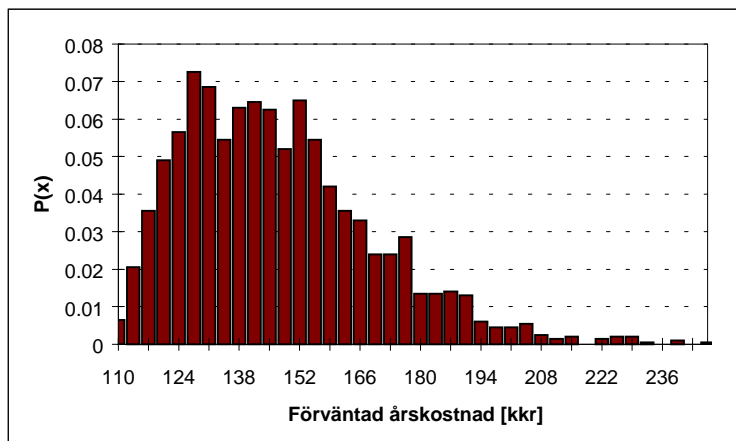
Figur 5.18: Monte Carlo-simuleringens metodik.

I Termoplasts fall kan det vara lämpligt att välja triangulära täthetsfunktioner för skadekostnaderna och en likformig fördelning för brandfrekvensen. Figur 5.19 visar på hur en sådan ser ut för den direkta skadekostnaden vid en oljebrand då sprinkler är installerad. Som ändpunkter används de kostnader/sannolikheter som parametrarna uppskattats kunna variera inom i den deterministiska känslighetsanalysen. Som mest sannolikt värde används den beräknade kostnaden (det normala utfallet).



Figur 5.19: Triangulär fördelning för direkt skadekostnad vid en oljebrand då sprinkler finns.

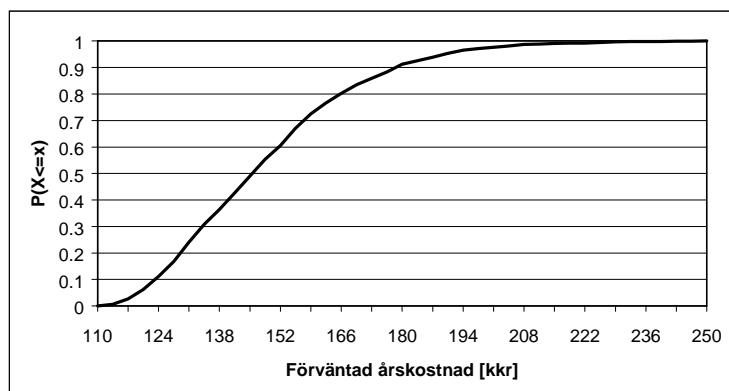
Vid simuleringen har programmet @RISK från Palisade Corp, USA, använts (se vidare Appendix E.2). Istället för indata i form av punktvärde används här fördelningarna. En Monte Carlo-simulering av den förväntade årskostnaden utförs sedan med 2000 iterationer. Resultatet blir enligt histogrammet i figur 5.20.



Figur 5.20: Resultatet av Monte Carlo-simulering för den förväntade årskostnaden.

I figuren framgår den förväntade årskostnadens variation. Utfallen med störst sannolikhet ligger omkring 149 kkr. Men blir utfallen antingen extremt gynnsamma eller extremt ogynnsamma kan kostnaden minska eller stiga till 110 kkr respektive 250 kkr. Standardavvikelsen för årskostnaden blir 22 kkr. Figur 5.20 visar på att det statistiska underlaget samt de bedömda skadekostnaderna är mycket känsliga indata som kan medföra en ökning respektive minskning av resultatet med 70% respektive 30%.

Resultatet i figur 5.20 kan också åskådliggöras som en kumulativ fördelning (CDF), se figur 5.21.



Figur 5.21: Kumulativ fördelning (CDF) för den förväntade årskostnaden.

Som besluts-kriterier då osäkerheter behandlas används ofta den sk 95%-kvantilen (se Appendix D.3). 95%-kvantilen är det värde som motsvarar att sannolikheten för att utfallet blir mindre än detta är just 95% m.a.o. om 1000 liknande brandförlopp uppkommer så blir den förväntade årskostnaden lägre än 95%-kvantilen i 950 fall och högre i 50 fall. I exemplet blir 95%-kvantilen 190 kkr. Av figur 5.21 kan också utläsas att sannolikheten är större för att den förväntade kostnaden skall bli lägre än 149 kkr, vilket kan vara bra att ha i åtanke då självriskenivån skall bestämmas.

För att kunna jämföra olika beslutsalternativ krävs alltså en liknande simulering som beskrivits ovan för var och en av dessa. Alternativen kan sedan rankas genom att jämföra t.ex. 95%-kvantilen, min- och max-värde (d.v.s. utfallsområde) eller förväntat värde. Alternativt kan en subjektiv jämförelse göras utifrån respektive beslutsalternativs statistiska fördelning.

### 5.3.5 Vilken metod skall användas?

Rätt använt är osäkerhetsanalysen ett mycket bra verktyg för att på ett metodiskt sätt kunna kontrollera osäkerheter. Som tidigare nämnts, och som inte nog kan påpekas, måste kostnaden och nyttan av arbetet noga övervägas eftersom en osäkerhetsanalys kräver relativt mycket arbete och kan, om den inte är korrekt utförd, ge felaktiga svar. Vilken metod, diskret eller kontinuerlig, som skall användas styrs i allra högsta grad av om datorstöd finns tillgängligt. Att behandla fördelningarna kontinuerligt ger fler besluts-kriterier, men kan samtidigt

också göra problemet mer komplext än vad det behöver vara. Valet måste helt enkelt styras av den kunskapsnivå som finns att tillgå.

### 5.4 Värdet av ytterligare information

Som har nämnts tidigare i rapporten brukar beslutsfattare som står inför osäkerheter samla mer information för att minimera denna. En del av de metoder som har beskrivits innan, t.ex. deterministisk känslighetsanalys, är verktyg för att kunna prioritera arbetsinsatsen. Men hur mycket arbete är det lönt att lägga ned på informationsinsamlingen? Denna metoden tillåter beslutsfattaren att på ett logiskt sätt beräkna värdet av att öka kunskaps- och informationsnivån.

#### 5.4.1 Bakgrund

Innan den teoretiska metodiken presenteras kan det vara värt att studera några fundamentala delar i teorin för att visa på hur värdet av ytterligare information kan behandlas på ett probabilistiskt sätt.

Det finns två typer av information; perfekt och ej perfekt. Med perfekt information avses att den information som erhålls aldrig slår fel. För att modellera detta fallet kan betingade sannolikheter (se Appendix D.4) användas. Antag att utfallet  $S$  alltid uppkommer om experten säger så (med expert avses t.ex. konsulter, utbildning, informationsinsamling mm). Sannolikheten för att brand uppkommer kan då skrivas som:

$$P(\text{Expert säger att "Brand uppkommer"} \mid \text{Brand uppkommer}) = 1$$

Efter som summan av komplementära händelser alltid måste vara ett blir:

$$P(\text{Expert säger att "Brand ej uppkommer"} \mid \text{Brand uppkommer}) = 0$$

Men detta är bara halva sanningen eftersom experten aldrig får förutsäga att  $S$  uppkommer om någon annan (vilken som helst) händelse ( $\bar{S}$ ) uppkommer. Sannolikheten för att experten säger att brand uppkommer när det i verkligheten inte gör så måste alltså också vara noll:

$$P(\text{Expert säger att "Brand uppkommer"} \mid \text{Brand uppkommer ej}) = 0$$

Notera skillnaden mellan de två sista uttrycken; båda är betingade sannolikheter men betingelserna är olika. Observera att sannolikheten för  $P(\text{Brand} \mid \text{Exp säger "Brand"})$  är 1 oavsett vad sannolikheten för att brand uppkommer är. Naturligtvis är verkligheten inte så enkel som detta exemplet visar. En experts information är mycket sällan perfekt, d.v.s. sannolikheterna ovan kommer inte att vara 0 eller 1.

#### 5.4.2 Förväntat värde av information

Nästa steg blir att på något sätt värdera den information (kunskap) som kan erhållas. Är t.ex. expertens information precis densamma som antagits redan innan kan inte investeringen anses som lönsam. Medför däremot informationen att mest optimala alternativ ändras eller att utfallet (kostnaden) kan minskas finns det ett stort värde i densamma. Tillgången till information kan behandlas som ovan men har ett större värde om det behandlas innan utfallet visar sig ( $P(\text{Brand uppkommer} \mid \text{Expert säger att "Brand uppkommer"})$ ), m.a.o. en beräkning av det förväntade värdet av informationen. På detta sättet kan den maximala kostnaden som skall accepteras för att t.ex. anlita en konsult värderas.

Termoplast har tre alternativ kvar som visar på ungefär lika förväntade årskostnader; "Sprinkler+100", "Sprinkler+250" och "Ventilation+1000". Eftersom den deterministiska känslighetsanalysen visade på att det statistiska underlaget (antal bränder/år) fick stor inverkan på resultatet skall det fortsatta arbetet på detta området prioriteras. Beslutsgruppen funderar nu på hur mycket extra arbete det är värt för att finna ett så representativt värde som möjligt på denna variabel. Det finns två metoder att tillgå; En metod där informationen anses perfekt

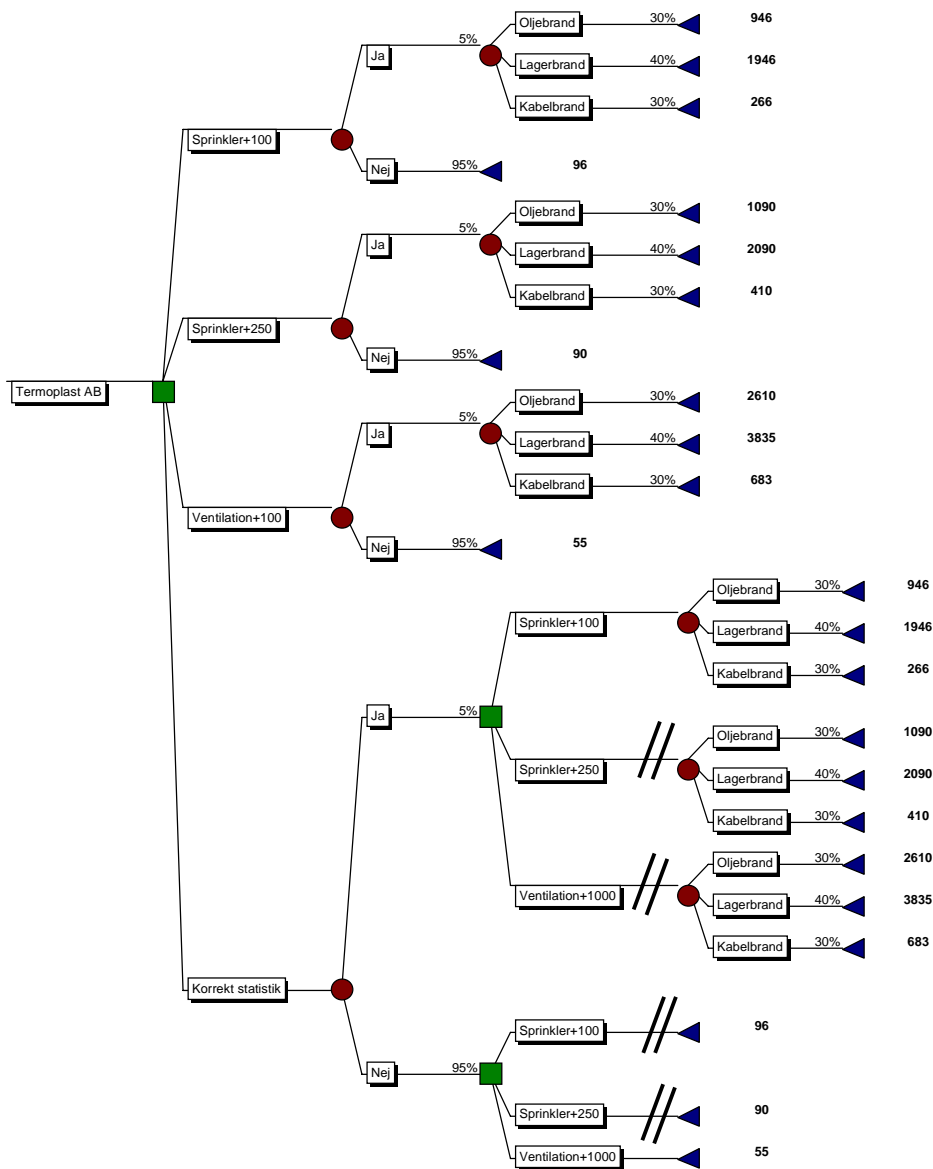


## Kostnad-nytta av industrins brandskyddsåtgärder

och en metod där informationen anses vara ej perfekt. Information av det berörda slaget kan aldrig anses vara perfekt. För att behandla den ej perfekta informationen krävs det uppgifter om vad sannolikheten är för att denna ej skall stämma. Sådant underlag finns väldigt sällan att tillgå. Istället kan värdet av perfekt information beräknas och sedan användas som ett ”takvärde”.

### Förväntat värde av perfekt information

Det förväntade värdet av perfekt information brukar betecknas EVPI (Expected Value of Perfect Information). För en beslutsfattare som baserar sina beslut på förväntade värden kommer alternativet ”Sprinkler+100” att vara det optimala eftersom den förväntade årskostnaden blir lägst. Antag nu istället att det går att få tag på perfekt statistik som kan förutsäga hur ofta en brand uppkommer. Detta innebär att beslutsfattaren i förväg (d.v.s. innan beslutet är fattat) vet vad den årliga skadekostnaden blir (se figur 5.22).



Figur 5.22: Beslutsträd då korrekt statistik finns att tillgå.

Alternativen med högre förväntat värde kan då strykas (//) direkt och EVPI kan beräknas som EMV av det optimala alternativet utan tillgång till perfekt information minus EMV av att tillgång till perfekt statistik. I Termoplasts fall blir EMV av tillgången till perfekt information 109 kkr och EVPI blir då  $149 - 109 = 40$  kkr. Termoplast skall alltså i detta fallet vara beredda att som högst betala 40 000 kronor för ytterligare information avseende brandinitieringsstatistiken.

# 6 Sammanfattning, slutsatser och framtida forskningsbehov

## 6.1 Sammanfattning

Målet med denna pilotstudie har varit att visa på den potential i det praktiska beslutsfattandet som ett rationellt användande av beslutsanalytiska metoder har samt att utreda vilket underlag som måste tas fram för att dessa praktiskt skall kunna användas (d.v.s. en undersökning av vilka ingående parametrar som är utslagsgivande).

För att visa på dessa faktorer har en typverksamhet definierats, Termoplast AB. Detta exempel är helt fiktivt och syftar endast till att klargöra de förutsättningar som föreligger. Resultatet av analysen visade på att lägsta förväntade årskostnad erhöles för skyddsalternativet sprinkler med en självrisknivå på 100 kkr. Analysen visade vidare på att problemet blev relativt okänsligt för alternativen att försäkra istället för att förebygga samt för höga självrisknivåer. Som tidigare nämndes var indata uppskattade och i en del fall i verkligheten behäftade med osäkerheter. En deterministisk känslighetsanalys utfördes för att undersöka vilken betydelse dessa osäkerheter får för slutresultatet. Analysen resulterade i att följande indata får stor betydelse för utfallet:

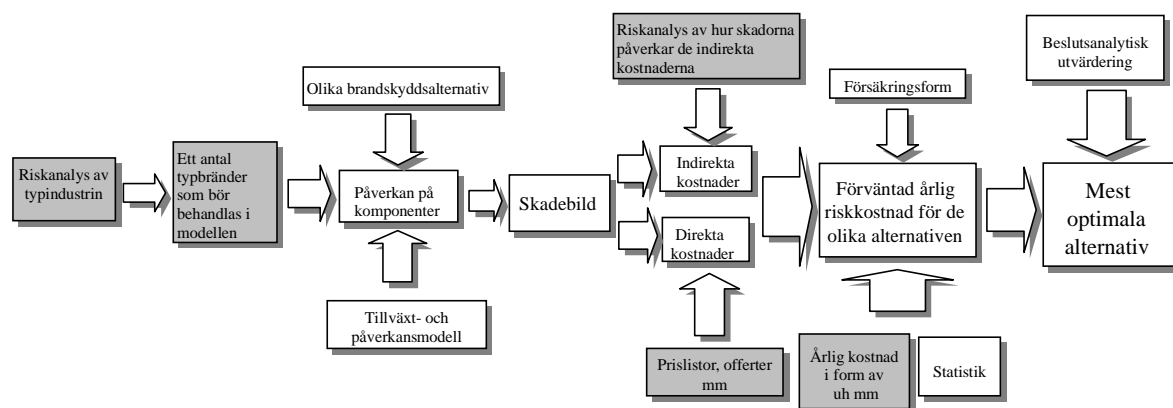
1. Brandinitierings- och brandorsaksstatistiken.
2. Indirekta och direkta skadekostnader.

Sammanfattningsvis är alltså det statistiska underlaget samt beräkningsmodellerna för brandtillväxt, brandspridning, påverkan och skador känsliga delar.

De delar av den beslutsanalytiska metodiken som presenteras i kapitel 4 utgör de mest grundläggande och nödvändiga delarna. För att utreda betydelsen av t.ex. att anläggningsägaren ej är kostnadsneutral (d.v.s. riskattityd ej neutral), osäkerheter och värdet av ytterligare information presenterades ett antal metoder för förfinade analyser. Resultatet av dessa visade på att ett beslutsproblem inte bara är beroende av storleken hos utfallet utan också på tillgångar respektive känslighet för indirekta skador hos anläggningsägaren. Analysen visade också återigen på värdet av att minska osäkerheterna avseende statistik och beräkningsmodeller.

## 6.2 Praktiska slutsatser och en sammanställning av input från referensgruppen

Den industriella sektorn är idag mycket dynamisk. Användningen och villkoren för olika anläggningar skiftar ständigt. I motsats tenderar arbetet med en beslutsanalytisk utredning ofta till att bli omfattande och detaljerad. För att en beslutmodell därvid skall få någon praktisk användbarhet bör slutprodukten således utgöras av någon form av datorprogram. Modellen kan då, eftersom arbetet effektiviseras, få en större praktisk användning i det riskförebyggande arbetet. Den beslutsanalytiska metodiken som beskrivs i denna rapport är därvid tänkt att utgöra ett teoretiskt underlag. Hur modellen är tänkt att användas i den praktiska beslutsprocessen redovisas i figur 6.1.



Figur 6.1: Beslutsprocessen (gråa rutor avser moment som ej behandlas i rapporten).

Kraven och preferenserna skiljer sig från företag till företag bl.a. avseende de indirekta kostnaderna och känsligheten för termiska och icke-termiska skador. För att den färdiga modellen på ett bättre sätt skall kunna spegla dessa faktorer krävs en uppdelning i ett antal typindustrier. Denna indelning bör vara utformad så att det finns förutsättningar för att kunna anpassa statistik, tillväxt-, påverkans- och skademodeller. Ett förslag baserat på indelningen som finns i *Fire Protection Handbook*<sup>34</sup> ges nedan.

### 1. Tillverkningsindustrier

Med tillverkningsindustrier avses både delsteg i en process eller kompletta industrilokaler. Som exempel på industrier som ryms inom denna kategori kan följande nämnas: textilfabriker, plastfabriker, gummifabriker, träindustri, möbelfabriker, massfabriker, tryckerier, verkstäder etc. Dessa karakteriseras ofta av stora lokaler och har enligt undersökningar<sup>24</sup> ej visat på någon större känslighet för indirekta kostnader.

### 2. Industriella processer

Med industriella processer avses precis som innan både delsteg och hela processer. Exempel i denna kategori kan vara: värme- och kraftverk, värmeöverföringsprocesser, ugnar, smältverk, torkningsprocesser, kylanläggningar, ytbeläggingsprocesser, svetsning och beskärningsprocesser, kemiska processer, utvinningsprocesser, kärnbränsle anläggningar, behandling av farligt avfall etc. Dessa industriella delar kan vara av stor betydelse för företagets produktion och ett avbrott kan få stora konsekvenser.

### 3. Lagerlokaler

Med lagerlokaler avses i huvudsak lagring inomhus. Exempel kan vara: fri lagring inomhus, lagring i pallstallage inomhus, kylagring, lagring av brandfarlig vara, lagring av gaser, lagring och behandling av kemikalier, spannmålsagring, lagring av fasta bränsle, arkiv etc. Ett lager utgör ofta en stor värdekoncentration. Förluster i detta kan orsaka stora indirekta kostnader om förlusten ej kan kompenseras med förhöjd produktionstakt. Lager utgör också ett specifikt brandtekniskt problem då en brand ofta karakteriseras av mycket höga effektutvecklingar samt inverkan av sprinkler och ventilation. Vissa delar kan dessutom också vara mycket känsliga för icke-termiska skador.

### 4. Specialindustrier med komplexa miljöer och stora värdekoncentrationer

Med specialindustrier avses bl.a. industrier med speciella krav på t.ex. renhet. Exempel kan vara: laboratorier, bekämpningsmedel, dator/telekommunikations miljöer, läkemedelsindustrier etc. Dessutom innefattas också verksamheter som karakteriseras av nyckelprojekt med en mycket stor betydelse för företagets överlevnad, t.ex. läkemedelsindustrin, flyg- och rymdfart mm. Verksamheter av denna typen är mycket känsliga för indirekta och icke-termiska skador.

Den modell som avses bli slutprodukt bör innehålla statistik och skademodeller anpassat och kopplat till dessa typindustrier.

Samtidigt som nollstudien av Termoplast AB visar på att det statistiska underlaget och beräkningsmodellerna för skadekostnader är de ingående variabler som får störst utslag på slutresultatet visar också rapporten på att bristerna är stora inom dessa områden. En kostnad-nytta värdering kräver en total kontroll av riskekonomin

varför tillgängliga beräkningsmodeller måste kunna nyansera och värdera den förändrade riskbilden som erhålls av förebyggande åtgärder. Kunskapsbasen är stor men osystematiserad.

På grundval av vad som framkommit under arbetet med rapporten finns det avslutningsvis anledning att ställa vissa krav på slutprodukten för att denna skall bli praktiskt användbar:

1. Det måste finnas färdiga databaser avseende statistik, dimensionerande initialbränder, typkomponenter, skadekriterier och materialspecifikationer för varje typindustri.
2. Modellen måste vara så pass flexibel att företaget tillåts modellera just deras situation (dock förutsatt vissa grundkrav, t.ex. att nyttan mäts som en minimering av riskkostnaden).
3. Modellen bör kunna kopplas till en utförd riskanalys av något specificerat slag, m.a.o. någon form av riskidentifikation som kan ligga till grund för de värderingar som måste utföras.
4. Kopplat eller explicit måste en brandmiljömodell finnas. Denna måste vara anpassad för att kunna utvärdera de brandtekniska fall som är aktuella för respektive typindustri (stora volymer, icke-termiska skador, komplexa geometrier, sprinkler mm).

### 6.3 Framtida forskningsbehov

I denna rapport har undersökningen av potentialen hos en beslutsanalytisk utredning gjorts genom en nollstudie av ett fiktivt exempel. Detta medför vissa begränsningar avseende den praktiska tillämpbarheten. För att vidare utreda och samla kunskap om de olika typindustrierna samt för att slutgiltigt utreda den beslutsanalytiska metodikens potential krävs ett antal fördjupade fältstudier. Dessa studier bör ha som mål att:

1. Fastställa ett "grundverktyg" för kostnad-nytta analyser.
2. Identifiera ett antal nyckelkomponenter för varje typindustri. Dessa skall vara av den karaktären att en skada kan få stora inverkan på företagets möjlighet till fortsatt drift efter en brand. Utifrån dessa nyckelkomponenter bör ett antal dimensionerande skadescenarier kunna definieras.
3. Att utveckla en brandmiljömodell väl anpassad för industriella lokaler.
4. Att samla kunskap och data om de olika industrierna. Detta kan t.ex. innefatta statistik, skadekriterier, känslighet för dolda kostnader mm. Resultatet bör sammanställas i någon form av databas.

Den fortsatta forskningen bör sedan koncentreras till området termiska respektive icke-termiska skador. Detta området har en mycket långsiktig karaktär men samtidigt också stor betydelse. Arbetet bör innefatta följande delmoment:

1. En sammanställning av de skadekriterier hos olika typkomponenter som finns tillgängliga.
2. En identifikation av olika skadenivåer hos främst nyckelkomponenter, m.a.o. så måste den funktionalitet som är viktigt för den fortsatta driften definieras.
3. En utveckling och standardisering av provningsmetoder. Det bör här utredas huruvida provning skall ske i ugn och/eller med extern strålningskälla och om den skall utföras under belastning.
4. En insamling och sammanställning, dels genom litteraturstudier och dels genom experiment, av möjligheterna för att kunna konstruera en beräkningsmodell för termiska och icke-termiska brandskador. Målet bör sedan vara att kvantifiera osäkerheterna och utifrån detta konstruera en beräkningsmodell som ger en realistisk bedömning av skadebilden.
5. Avslutningsvis bör allt material samlas och sammanställas i en databas som företrädesvis kan kopplas till den brandmiljö- och skademodell som utvecklats.

## ***Kostnad-nytta av industrins brandskyddsåtgärder***

---

Som ett sista delmoment måste kunskapen kring de dolda kostnaderna utökas. Detta bör innefatta en uppföljning av ABB-studien<sup>42</sup> med målet att skaffa internationella erfarenheter om icke försäkringsbara kostnader i samband med brand. Det bör dessutom undersökas hur dessa kostnader påverkar överlevnadspotentialen hos företag efter en storbrand.

Avslutningsvis så sammanfaller många av dessa problemområden med programpunkterna i BRANDFORSKS program för 1997-99<sup>5</sup> varför det vidare arbetet inom kostnad-nytta av industrins brandskyddsåtgärder bör utgöra en given ståndpunkt för att kunna sammanställa, syntetisera och praktiskt utnyttja resultat från avslutade, pågående och framtida forskningsprojekt.

# 7 Referenser

1. Andersson, P., "Evaluation and Mitigation of Industrial Fire Hazards", Department of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology, Lund University, 1997.
2. Andersson, P. et al, "A Technical Reference Guide to FREIA – A Risk Analysis Tool for Accidental Releases and Fires in Industrial Buildings", Institutionen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, 1993.
3. Bayley, J. et al, "Heat Transfer", University of Sussex, 1972.
4. Blom, G., "Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar", Fjärde upplagan, Studentlitteratur, Lund 1980, 1989.
5. BRANDFORSK, "BRANDFORSKning 1997-99, program", Stockholm, 1996.
6. Bryan, J., "Damageability of Buildings, Contents and Personnel from Exposure to Fire", Fire Safety Journal 11, 1986, s 15-31.
7. Bukowski, R.W., "Applications of FASTLite", NIST Building and Fire Research Lab, Gaithersburg, 1996.
8. Center for Chemical Process Safety, "Tools for Making Acute Risk Decisions with Chemical Process Safety Applications", American Institute of Chemical Engineers, 1995.
9. Clemen, R.T., "Making Hard Decisions", Duxbury Press, California, 1991.
10. Danish Institute of Fire Technology, "ARGOS, Theory Manual", Köpenhamn, 1992.
11. Dansk Brandvaerns-Komit , "Brandteknisk Risikovurdering, Delrapporter", Köpenhamn, 1987.
12. Dansk Brandvaerns-Komit , "Brandteknisk Risikovurdering", Köpenhamn, 1987.
13. Davis, D., Notarianni, A. och McGrattan, K.B., "Comparison of Fire Model Predictions with Experiments Conducted in a Hangar with a 15 meter Ceiling", Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 1996.
14. Dimitros, K., "A Probabilistic Methodology for the Fire and Smoke Hazard Analysis of Electronic Equipment", Interflam '93, USA, 1993.
15. Drysdale, D., "An Introduction to Fire Dynamics", Department of Fire Safety Engineering, Edinburgh, 1985.
16. Eker, J. och Vlachos, S., "HSLAB – A program for one-dimensional heat flow problems", FOA Rapport 20827-2.4, 1990.
16. Engdal, M., "Brandteknisk Riskv rdering", Hansa Företag, 1984.
17. Frank, M. och Moieni, P., "A Probabilistic Model for Flammable Pool Fire Damage in Nuclear Power Plants", Reliability Engineering 16, 1986, s 129-152.
18. Haberman, W.L. och John, J.E.A., "Engineering Thermodynamics with Heat Transfer", Second Edition, Massachusetts, 1989.
19. Hamilton, G., "Risk Management 2000", Studentlitteratur, 1996.
20. Hicks, H. Och Liebermann, R. "A Study of Indirect Fire Losses in Non-Residential Properties", Fou-brand, 1979, s 8-15.

21. IAEA, "Evaluating the Reliability of Predictions Made Using Environmental Transfer Models", Vienna, 1989.
22. ITB, "Fire and Explosion Hazards in the UK Pharmaceutical Industry", London 1977.
23. ITB, "Fire and Explosion Hazards in the UK Aerospace industry", London 1976.
24. ITB, "Fire and Explosion Hazards in the UK Paint and Ink Manufacturing Industry", London 1978.
25. Jones, W., "Software User's guide for HAZARD I", NIST, 1991.
26. Jones, W., "The Evolution of HAZARD, the Fire Hazard Assessment Methodology", Fire Technology, Second Quarter 1997, s 167-181.
27. Jones, W. och Forney, G., "Comparison of CFAST Prediction to Real-Scale-Fire Tests", NIST Building and Fire Research Lab, 1996.
28. Karlsson, G. och Sonesson, T., "Kostnads – nyttoanalys av tekniska åtgärder mot industribränder", Försvarets Forskningsanstalt, 1981.
29. Knochenhauer, M. och Magnusson, S.E., "Optimering av industriellt brandskydd med hjälp av expertsystem för riskvärdering", ABB ATOM Rapport RPC 88-15, 1988.
30. Magnusson, S.E., "Att dimensionera för brandsäkerhet. Det industriella och samhällsekonomiska perspektivet, huvud PM", Institutionen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, 1995.
31. Magnusson, S.E., "Uncertainty analysis: Identification, Quantification and Propagation", Institutionen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, 1997.
32. Mathews, K., "A Performance-based Approach for Fire Safety Engineering: a Comprehensive Engineering Risk Analysis Methodology, a Computer Model, and a Case Study", Fire Safety Science – Proceedings of the Fifth International Symposium, s 595-606.
33. Miller, A.C. och Rice, T.R., "Discrete Approximations for Petroleum Exploration", PenWell Publishing Company, 1983.
34. NFPA, "Fire Protection Handbook", National Fire Protection Association, 1981.
35. Palisade Corporation, "@RISK, User's guide", 1996.
36. Palisade Corporation, "PRECISION TREE, User's guide", 1996.
37. Pettersson, O., "Några system för riskanalys av en byggnads totala brandförsvar", Institutionen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, 1991.
38. Ramachandran, G., "Consequential/Indirect Loss", The SFPE handbook of Fire Protection Engineering, 1988, kapitel 5 s 63-68.
39. Ramachandran, G., "Utility Theory", The SFPE handbook of Fire Protection Engineering, 1988, kapitel 5 s 76-86.
40. Reagor, T., "Smoke Corrosivity: General, Impact, Detection, and Protection", Journal of Fire Sciences, Vol. 10 – March/April 1992, s 169-179.
41. Riley, D., "Consequential Loss Insurance and Claims", Sweet and Maxwell Ltd, London, 1967.
42. Sidmar, B., "Företagets Riskhantering", ABB, 1995.
43. Sidmar, N., "Kan brandskyddet påverka premien?", Brand & Räddning, nr 1-2, 1997, s 13.

44. Särdaqvist, S., "*Real Fire Data (Fires in commercial premises in London 1994-1997)*", Rapport 3096, Institutionen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, 1997.
45. Tewarson, A., "*Nonthermal Fire Damage*", Journal of Fire Sciences, Vol. 10 No. 3, 1992, s 188-242.
46. Wilmot, T., "*Indirect Losses – Time for the International Apathy to Be Overcome*", Fire Protection vol 42, 1979, s 22-23.





# ***APPENDIX A.***

*”Expertsystem – kvantitativ deterministisk konsekvensanalys”*

---

## **A.1 FREIA**

- A.1.1 Beskrivning av programmet
- A.1.2 Tillgänglighet – ekonomi

---

## **A.2 ARGOS**

- A.2.1 Beskrivning av programmet
- A.2.2 Tillgänglighet – ekonomi

---

## **A.3 HAZARD I**

---

## **A.4 EN JÄMFÖRELSE MELLAN FREIA OCH ARGOS**

---



# A Expertsystem – kvantitativ deterministisk konsekvensanalys

I detta Appendix kommer två tillgängliga expertsystemen, FREIA och ARGOS, att beskrivas. Avslutningsvis kommer en allmän problemidentifikation, en jämförelse mellan FREIA och ARGOS och framtida möjligheter att presenteras.

## A.1 FREIA

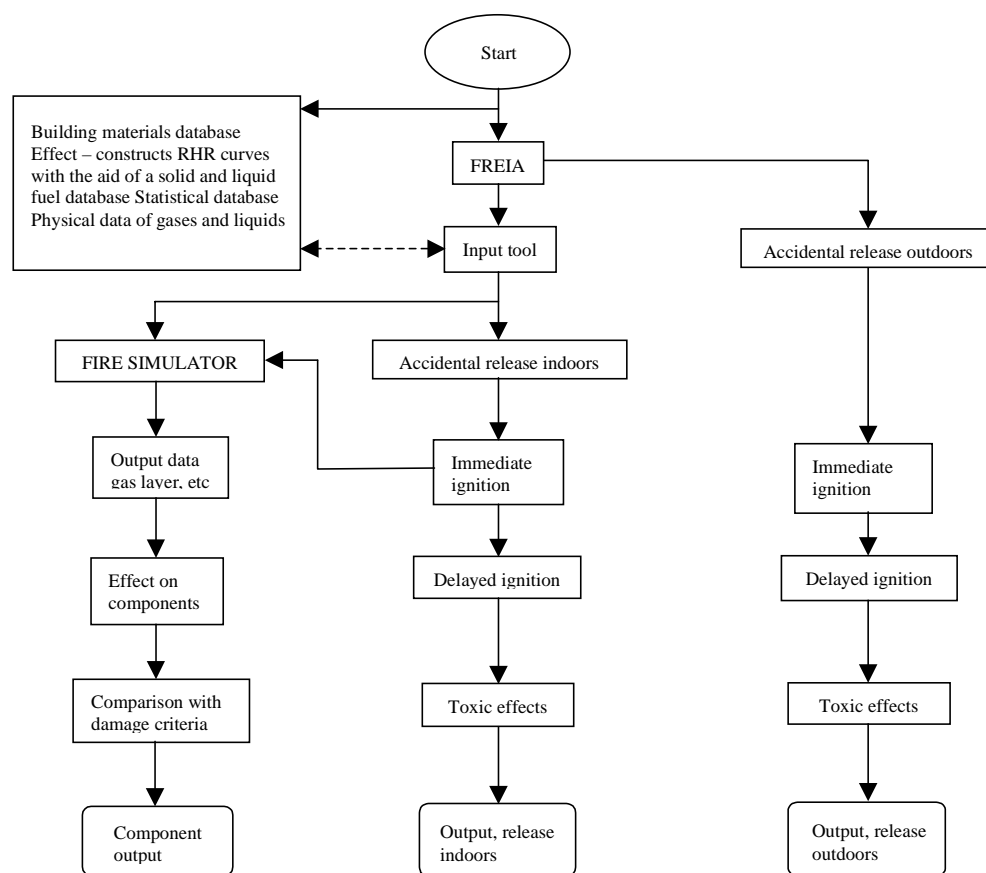
FREIA<sup>1,2</sup> (FiRe and ExplosIon hazard Analysis) är ett DOS-baserat expertsystem för att utvärdera bränder och utsläpp av brandfarliga och/eller toxiska ämnen inom industrin. Programmet är framtaget av Institutionen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, i ett nära samarbete med Sydkraft AB.

### A.1.1 Beskrivning av programmet

FREIA har fyra fördelar framför andra program som beräknar konsekvenserna av en brand, Andersson<sup>1</sup>:

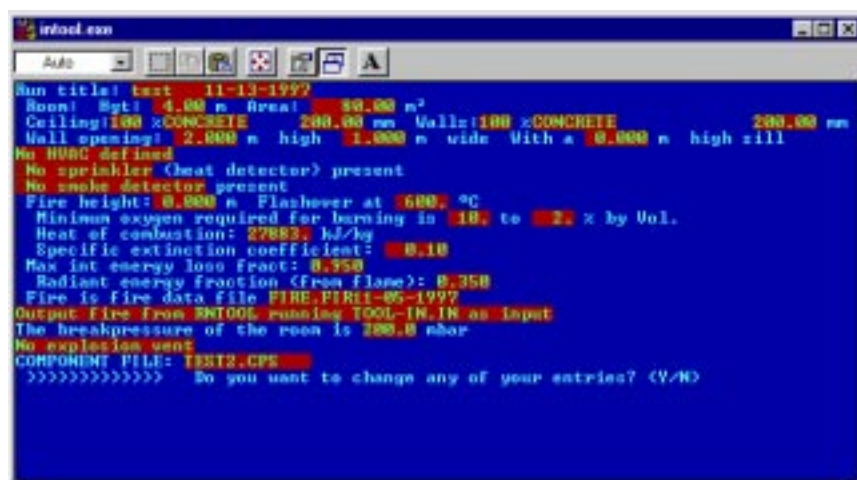
- ◆ Det behandlar *både* vanliga bränder, t.ex. kabelbränder, och utsläpp av brandfarliga och/eller toxiska ämnen.
- ◆ *Både* utsläpp inomhus och utomhus behandlas.
- ◆ Programmet ger användaren *uppskattningar* av konsekvenserna då dessa ej kan bestämmas exakt.
- ◆ Det behandlar *termisk påverkan* på komponenter.

Uppbyggnaden av programmet redovisas i figur A.1.



Figur A.1: FREIA:s uppbyggnad<sup>1</sup>.

Brandsimulatoren, som är mest aktuell i detta projektet, består av två delar; en tillväxtmodell och en påverkan - skadmodell. Tillväxtmodellen bygger på källkoder hämtade från FIRE SIMULATOR som ingår i FPETOOL, se vidare Appendix B.2. FIRE SIMULATOR är en sk två-zonsmodell som genom att beräkna ändringen av massa och energi mellan det övre varma och det undre kalla lagret kan simulera bl.a. temperaturförändringar och brandgasproduktion. Dessutom tar tillväxtmodellen hänsyn till luftflöden, syrekonzentrationens påverkan av effektutvecklingen, aktiveringen av sprinklers, rök- och värmedetektorer, mekanisk ventilation etc. Användaren kan antingen använda färdiga effektutvecklingar, materialspecifikationer och skadekriterier som finns i en databas eller välja att mata in egenhändigt konstruerade sådana. Indata utgörs dessutom av geometriska faktorer, ventilationsöppningar, eventuella tryckavlastningar mm.



Figur A.2: Exempel på indatafönster i FREIA..

Simuleringarna i FREIA är begränsade till ett rum, med möjlighet att lagra utflödet av varma rökgaser för att antingen göra en ny simulering av påföljande rum eller för att bedöma risken för brandspridning till detta. Programmet ger även användaren möjlighet att vid en viss specificerad tid eller vid en viss specificerad händelse (t.ex. detektoraktivering, övertändning mm) stanna simuleringen för att ändra ventilationsförhållandena.

Resultatet av tillväxtmodellen redovisas grafiskt, med hjälp av tilläggsprogrammet AFTER, i form av temperatur, rökgaslagrets höjd, syrehalten mm, alla som tidsberoende variabler.

Påverkansmodellen bygger på strålning och konvektiv värmeövergång dels från flammen och dels från rökgaslagret. Denna påverkan översätts sedan till en strålningsdos som komponenten har utsatts för. Dosen jämförs sedan med de skadekriterier som finns. Skadekriterierna för olika komponenter utgörs av en strålningsnivå som denna tål under en längre tid utan att bli påverkad och en strålningsnivå som denna tål under en kortare specificerad tid. Komponenterna kan antingen betraktas som punkter eller som linjer. Observera att FREIA endast tar hänsyn till termiska skador. Resultatet av påverkan- och skadmodellen utgörs av skadefaktorer (= kvoten mellan upptagen dos och kritisk dos). En skadefaktor som överstiger 1 innebär att komponenten är obrukbar.

```
DAMAGE CRITERIA FOR COMPONENT NO. 1
Long term damage criteria was set to 1kW/m^2
Short term damage criteria: 10kW/m^2 for 10seconds
Integrated damage criteria is 90kJ/m^2
Integrated received heat is 24288.2kJ/m^2
Ratio of received heat to damage criteria = 269.8689
Damage occurs for component no. 1
Hit any key to continue.
```

Figur A.3: Exempel på utdata från FREIA..

## A.1.2 Tillgänglighet – ekonomi

FREIA ägs idag av Sydkraft AB. Inom den närmaste tiden skall ett antal förbättringar av programmet utföras av Institutionen för Brandteknik. Efter att dessa förbättringar är utförda är det meningen att FREIA skall bli allmänt tillgänglig. När och hur detta sker styrs främst av ekonomiska faktorer. Det finns idag inga uppgifter om vad kostnaden för programmet kommer att bli.

## **A.2 ARGOS**

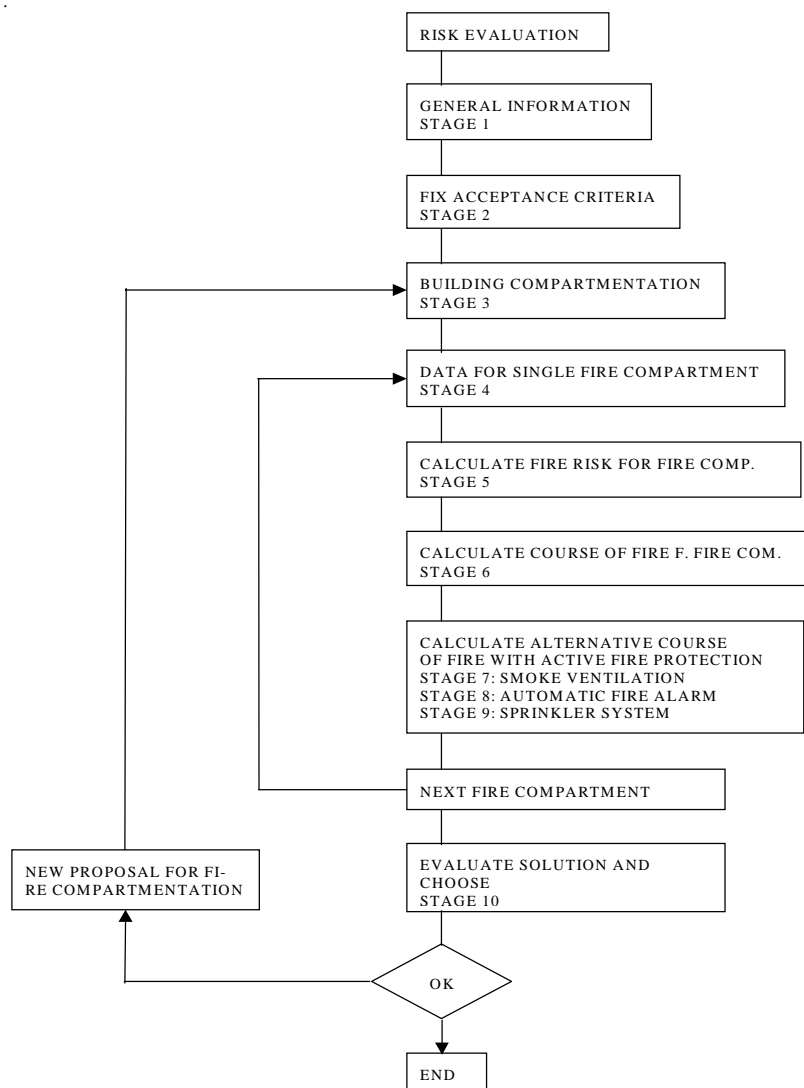
ARGOS<sup>10,11,12,37</sup> är utvecklat av Dansk Brandvaerns-Komit  och  r ett riskanalys- och riskv rderingssystem för industrin. Programmet  r DOS-baserat och anpassat för persondatorer.

### **A.2.1 Beskrivning av programmet**

ARGOS  r ett semi-kvantitativt system. Detta innebär att vissa delar baseras på fysikaliska förlopp och vissa baseras på erfarenhetsbed mningar. Programmet innehåller en beräkningsmetod eller beräkningsmodell med submodeller, som bestämmer sannolikheten för en brands uppkomst och för att olika faser i brandens utveckling skall inträffa (medelstor brand, övertändning, fullt utvecklade brand, brandens spridning till angränsande rum) samt konsekvenserna härav med hänsyn till personsäkerhet och skadekostnad. Modellen inkluderar effekten av automatisk brandventilation, brandlarm och sprinklersystem. ARGOS  r begränsad till fem rum/brandsektioner.

Programmet förutsätter att användaren har så pass stora brandtekniska kunskaper att han/hon kritiskt kan bedöma kvalitén i indata, delmodellens uppbyggnad och resultat. Den totala beräkningsmodellen innehåller följande delar (se figur A.4):

- ◆ Brandfrekvensmodell, som bestämmer sannolikheten för en brands uppkomst f r olika brandorsaksgrupper och för att olika karakteristiska faser i brandens utveckling skall inträffa.
- ◆ Tillv xtmodell, som beräknar brandtillv xtens tidsförlopp med avseende på termisk påverkan och rök.
- ◆ Skadev rderingsmodell, som bestämmer skadekostnaden i olika faser av brandförloppet från påverkan av värme, r k och släckmedel.
- ◆ Beräkningsmodeller och beräkningsprogram f r en värdering av effekten av olika aktiva och passiva brandf rsvars tg rder.



Figur A.4: ARGOS uppbyggnad<sup>37</sup>.

**Brandfrekvensmodellen** är strukturerad med avseende på olika brandorsaksgrupper; personers oförsiktighet, fasta installationer, produktionstekniska faktorer och yttre orsaker. Det statistiska underlaget som har använts är baserat på engelska uppgifter. Det material som finns idag är så pass bristfälligt att fördelningstalet mellan de olika kategorierna måste baseras på ingenjörsmässiga bedömningar.

**Tillväxtmodellen** är baserad på ASET (utvecklat av NBS) och DSLAY (Utvecklat av FOA och SBF) och innehåller en serie delprogram med koppling till initialbrandens storlek, utveckling och spridning; flamhöjd och värmestrålning; rökgaslagrets höjd, temperatur och strålning samt den fullt utvecklade rumsbrandens temperaturförlopp och varaktighet. Modellen är en zonmodell.

ARGOS möjliggör en beräkning eller bedömning av **effekten av följande aktiva brandskydd**:

- ◆ Brandgasventilation
- ◆ Automatiskt brandlarm
- ◆ Stationära släcksystem
- ◆ Sprinkleranläggning i kombination med släckinsats av kommunalt brandförsvaret

**Skadevärderingsmodellen** bygger på uppgifter från försäkringsbolag och saneringsföretag och tar hänsyn till rök- och värmeskador på lösöre och byggnadsdelar. Värderingen baseras på ett klassificeringssystem där komponenterna delas in efter skadekänslighet avseende rök, värme och släckmedelspåverkan. Den påverkan som komponenterna utsätts för kopplas sedan till tre olika faser i brandförloppet:



- ◆ Antändningsfas (Ringa skador på byggnadsdelar, lokala skador på lösöre)
- ◆ Utvecklingsfas (Moderata skador på byggnadsdelar, stora skador på lösöre nära brandkälla)
- ◆ Fullt utvecklad brand (Kraftiga skador på byggnadsdelar, totalskada på lösöre)

Genom att koppla de olika byggnadsdelarnas och komponenternas skadekänslighet till påverkan kan skadan (i form av % av anskaffningsvärdet) i de olika faserna bestämmas.

I resultatet ingår bl.a. följande delar:

- ◆ Tid till olika karakteristiska tillstånd under en brands utveckling.
- ◆ Sannolikheten per år för en brand av respektive storlek.
- ◆ Värderad skada i danska kronor för respektive brandförloppsfas.
- ◆ Brandriskskadestkostnad per år.

ARGOS har känslighetsanalyserats i begränsad omfattning med avseende på dess element.

### **A.2.2 Tillgänglighet – ekonomi**

ARGOS kan beställas från Dansk Brandvaerns-Komit  till en kostnad av cirka \$ 5000.

## **A.3 HAZARD I**

HAZARD I  r ett programpaket som  r utvecklat av National Institute for Standards and Technology (NIST), USA. En närmare beskrivning av detta finns i Appendix B.1. Enligt Jones<sup>26</sup> finns det planer på att i framtiden utöka HAZARD I till att innehålla en modell för fysisk påverkan av komponenter för att på så sätt kunna bedöma skadestkostnaden. Vid dags dato finns inga uppgifter på hur denna kommer att se ut varför en närmare utredning om modellen kan passa de behov som finns inom industrin måste göras.

## **A.4 Framtida möjligheter samt en jämförelse mellan FREIA och ARGOS**

Som kapitlet visar finns det idag två expertsystem att tillgå; FREIA och ARGOS. Det finns vissa skillnader och likheter:

1. **Tillväxtmodellen.** I tillv xtmodellerna finns ingen större skillnad, bägge  r zonmodellen och baseras på i stort sett samma grundläggande ekvationer. ARGOS tillåter däremot en simulering av upp till 5 rum (FREIA har endast 1 rum) vilket ger en bättre simuleringsm jlighet av bränder som startar i biutrymme och risken för dess spridning till andra rum.
2. **Brandpåverkan.** FREIA räknar på teoretiskt grundade p verkansfall (analytisk l sning enligt Appendix C.1) som tar hänsyn till dels strålning och dels konvektion. Fördelen med detta  r att det på ett bättre sätt speglar den faktiska påverkan på komponenter. Nackdelen är bristen på skadekriterier samt att väldigt f a industriella miljöer till ts generaliseras till ett antal typkomponenter. Dessutom finns det inga icke-termiska skademodeller. ARGOS använder istället en erfarenhetsbaserad databas f r påverkan. Detta g r att påverkan blir mindre detaljerad och karakteriseras istället av kvalitativa bedömningar. Skadekriterier av denna typen finns tillgängligt i större utsträckning. Eftersom ARGOS endast har k nslighetsanalyserats i begränsad utsträckning är det svårt att förutsäga vilken betydelse de olika antaganden för för slutresultatet.

Allmänt sett är skadebilden efter en brand så pass komplex att ett stort antal antaganden måste göras. Det  r dessutom svårt att verifiera resultaten från modellerna då bristen på fullskaleförsök är stor.

I framtiden kan en uppdatering av FREIA bli aktuell under förutsättning att källkoden till den nya versionen av FPETOOL är tillgänglig. Denna uppdatering kan t.ex. innebära möjlighet att simulera för upp till tre rum samtidigt. Dessutom skulle påverkans- och skademodellen kunna förbättras. Möjligheten att konstruera ett motsvarande expertsystem för HAZARD I är begränsad då källkoden inte är tillgänglig. Avseende påverkans- och skademodellen kan förbättringar göras med t.ex. numeriska lösningar i HSLAB (se Appendix E.3) eller sk superponering (se vidare Appendix C.1). Dessa förbättringar kräver dock ett omfattande programmeringsarbete. Eftersom industrin idag är så pass dynamisk krävs ofta enkla lösningar för att ha möjlighet att göra en uppskattning av t.ex. skadebilden. En så pass avancerad modell som kan byggas upp i HSLAB har därför troligen ingen praktisk tillämpbarhet.



# ***APPENDIX B.***

## *”Modeller för brandtillväxt och brandspridning”*

---

### **B.1 HAZARDI I v 2.0**

- B.1.1 Beskrivning av programmet
- B.1.2 Tillgänglighet – ekonomi

---

### **B.2 FPETOOL v3.2**

- B.2.1 Beskrivning av programmet
- B.2.2 Tillgänglighet – ekonomi

---

### **B.3 FASTLITE**

- B.3.1 Beskrivning av programmet
- B.3.2 Tillgänglighet – ekonomi

---

### **B.4 ALLMÄN PROBLEMIIDENTIFIKATION**

---

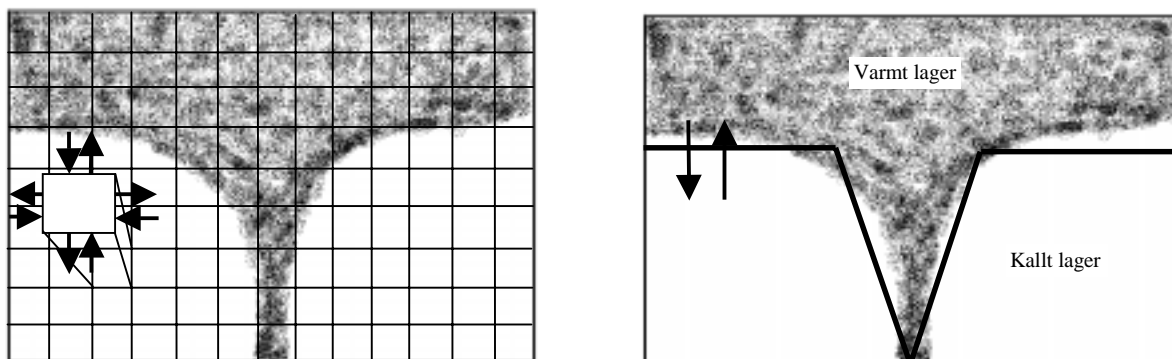


# B Modeller för brandtillväxt och brandspridning

Det finns idag två typer av brandspridnings- och brandtillväxtmodeller; fältmodeller och zonmodeller. Fältmodellerna (även kallade CFD-modeller, där CFD står för Computational Fluid Dynamics) delar upp rummet i ett antal små volymer (se figur B.1) och löser för varje sådan volym de partiella differentialekvationerna som beskriver balansen av massa, rörelsemängd, ämnen och energi för varje tidssteg. Beräkningarna blir mycket omfattande och simuleringarna kräver stora förberedelser. Fältmodeller används idag främst vid mycket komplicerade brandtekniska problem och har ingen större spridning inom industrin. Några fältmodeller som finns på marknaden idag är:

- ◆ PHOENICS
- ◆ JASMINE
- ◆ SOFIE
- ◆ FLUENT
- ◆ SHIVA

Mer kommersiellt spridda och användarvänliga är de sk zonmodellerna. Dessa förenklar rummet till att innefatta två lager (zoner); det övre varma och det undre kalla, där gastemperaturen och densiteten anses vara konstanta för respektive zon (se figur B.1). Programmet simulerar sedan bl.a. temperaturförändringar och ändringar i rökgaslagret genom att för varje tidssteg beräkna ändringen av massa och energi mellan zonerna. Modellerna har idag en stor spridning på marknaden och är i de flesta fall billiga.



Figur B.1: Vänster: fältmodell Höger: zonmodell

Alla zonmodeller är inte anpassade för de behov som finns inom industrin idag, dessutom är vissa svårtillgängliga och specialiserade till att analysera vissa brandtekniska fall som t.ex. brandgasventilation, sprinklerinverkan mm. Några av de som finns presenteras kort nedan och de som är vanligast och mest lämpade för detta projektet kommer att redovisas noggrannare i följande delkapitel.

**ASCOS** (Analysis of Smoke Control System) är framtaget för att analysera inverkan av olika rökkontroll system. Programmet kan även simulera den skorstenseffekt som kan uppkomma i höga byggnader.

**ASET** (Available Safe Egress Time) är ett program som beräknar temperaturen och höjden för rökgaslagret i ett rum. Resultatet används för att bedöma tid till att kritiska förhållanden uppstår.

**ASMET** (Atria Smoke Management Engineering Tools) består av ett antal ekvationer och en zonmodell för att analysera rökkontrollsystem i större volymer, t.ex. atrium, idrottsanläggningar, hangarer mm.

**CFAST** (Consolidate Fire and Smoke Transport) ingår i HAZARD I och presenteras närmare nedan.

FASTLITE är baserad på CFAST och FPETOOL. Programmet presenteras närmare nedan.

FPETOOL (Fire Protection Engineering Tool) presenteras närmare nedan.

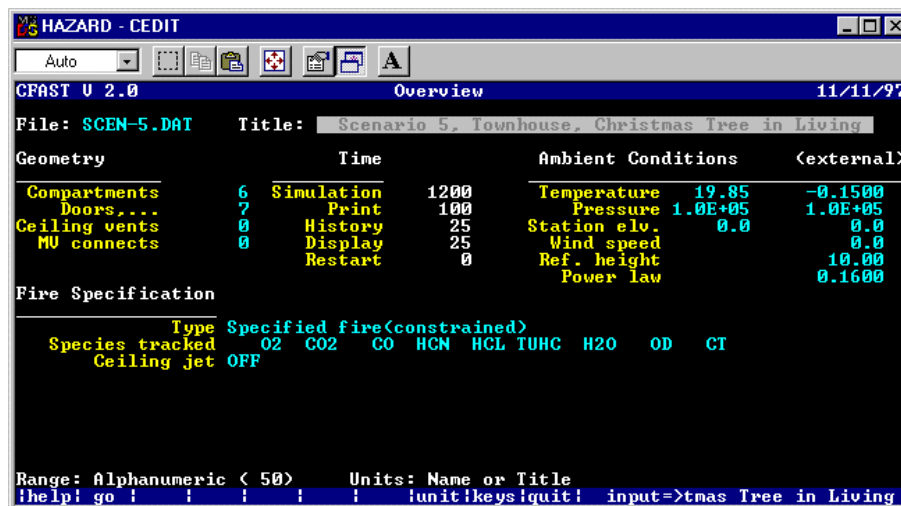
LAVENT är ett program som är utvecklat för att analysera sprinklers inverkan vid bostadsbränder.

## B.1 HAZARD I v 2.0

HAZARD I är ett DOS-baserat programpaket, framtaget av National Institute for Standards and Technology (NIST). Paketet innehåller bl.a. CFAST<sup>13,25,27</sup> som är en brandtillväxtmodell för analyser av bränder i multipla rum.

### B.1.1 Beskrivning av programmet

CFAST är en zonmodell och indata utgörs av geometriska faktorer, ventilationsförhållanden, effektutveckling och materialspecifikationer. Materialspecifikationerna kan även hämtas från en databas.

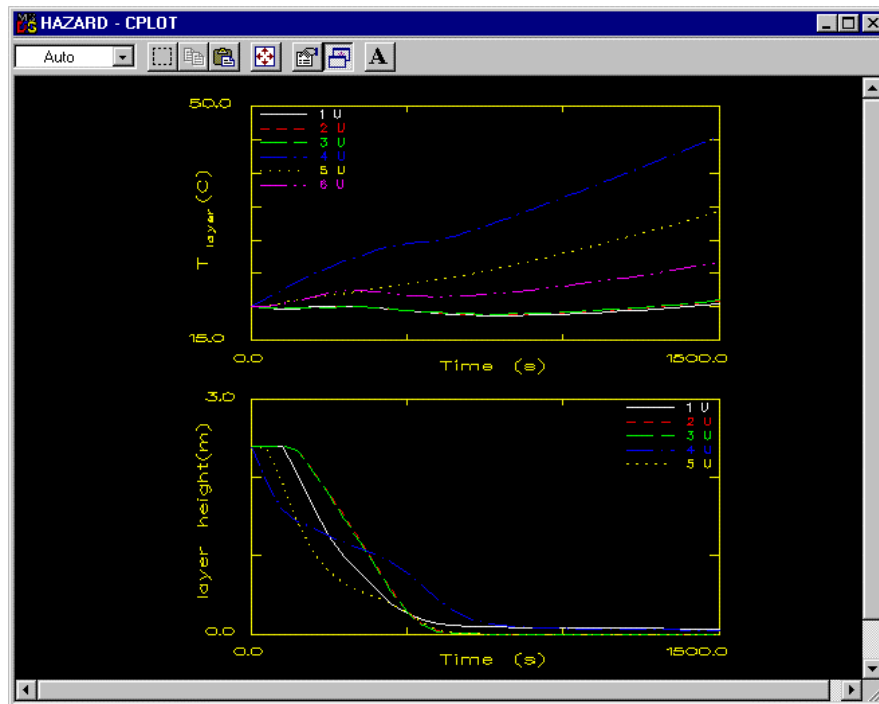


Figur B.2: Exempel på indatafönster i CFAST.

Programmet tillåter en simulering av upp till 15 rum avseende bl.a.:

- ◆ Rökspridningen
- ◆ Temperaturförhöjningar
- ◆ Siktbarheten
- ◆ CO/CO<sub>2</sub> produktionen
- ◆ Inverkan av mekanisk ventilation
- ◆ Inverkan av takventilation
- ◆ Tryckbild

Resultatet presenteras med hjälp av CPLOT i grafisk form och utgörs av de tidsberoende variationerna hos ovan nämnda faktorer (se figur B.3).



Figur B.3: Exempel på utdata från CFAST.

CFAST är en av de mest avancerade zonmodellerna på marknaden, bl.a. då den räknar på en mycket detaljerad värmetransport genom omgivande konstruktioner. Dessutom kan väggar, golv och tak var för sig bestå av upp till tre olika material. Detta gör att olika byggnadskonstruktioner på ett bättre sätt kan analyseras. Tidigare versioner av programmet har dock överpredikerat temperaturen i rökgaslagret. Detta berodde på att den totala effektutvecklingen, och inte bara den konvektiva delen, ingick i plymekvationen. Utförda försök, Jones och Forney<sup>27</sup>, visar på god överensstämmelse med CFAST vid fullskaleförsök. Dessa försök är dock utförda i mindre och sparsamt ”inredda” rum. Begränsningarna vid dessa försök ligger framförallt i det tidiga brandskedet då programmet underskattar temperaturerna något och vid större volymer då programmet överskattar temperaturen i rökgaslagret.

I HAZARD I ingår också DETACT-QS. Detta är en modell för att förutsäga detektoraktivering. Modellen är enkel att använda och visar enligt Davis et al<sup>13</sup> på mycket god överensstämmelse med fullskaleförsök. Vissa begränsningarna finns dock då detektorn har ett stort radiellt avstånd till branden.

## B.1.2 Tillgänglighet – ekonomi

Tillgängligheten är mycket god då programmet har en stor spridning världen över och är ett allmänt accepterat verktyg för brandtekniska utvärderingar. HAZARD I kan beställas från NIST till en kostnad av cirka \$250. CFAST kan laddas hem från NISTs hemsida gratis.

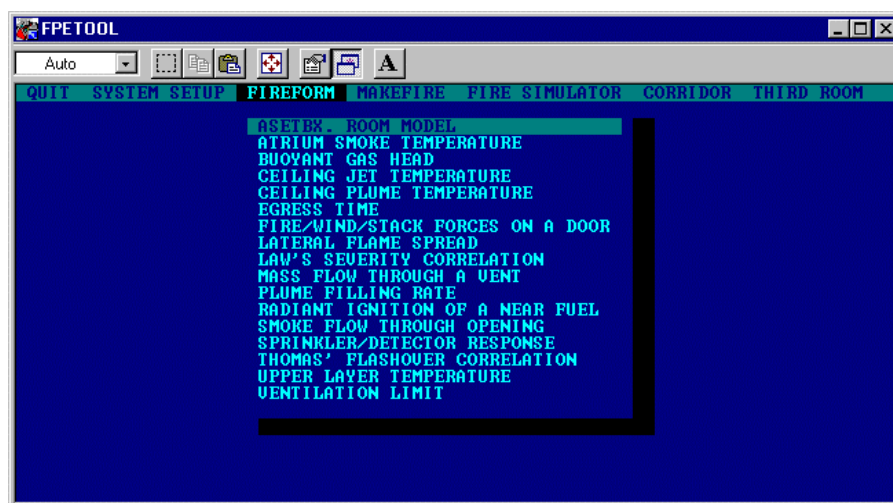


## B.2 FPETOOOL v 3.2

FPETOOOL<sup>2,13</sup> (Fire Protection Engineering Tool) är också ett DOS-baserat programpaket som är framtaget av bl.a. NIST. Programpaketet innehåller brandtillväxtmodellen FIRE SIMULATOR.

### B.2.1 Beskrivning av programmet

FIRE SIMULATOR är en något enklare tillväxtmodell i jämförelse med CFAST. Modellen räknar bl.a. inte på riktig värmetransport genom väggar och på en ökande tryckbild i rummet. Programmet är dock genom de många ”hjälpexterna” som finns mycket användarvänligt. Indata utgörs av geometriska faktorer, ventilationsförhållanden, materialspecifikationer och effektutveckling. Standardiserade materialspecifikationer och effektutvecklingar kan hämtas från FPETOOOLs databas.



Figur B.4: Exempel på indatafönster i FPETOOOL.

Modellen är begränsad till att räkna på ett brandrum, en korridor och ett tredje rum. Simuleringar kan göras avseende bl.a.:

- ◆ Rökgaslagrets höjd
- ◆ Rökgaslagrets temperatur
- ◆ Detektor och sprinkler aktivering
- ◆ Sprinklers inverkan på brandförloppet
- ◆ Inverkan av ventilation (både mekanisk och termisk)
- ◆ O<sub>2</sub>, CO och CO<sub>2</sub> halterna

FIRE SIMULATOR tillåter simulering både före och efter övertändning och användaren kan välja att stanna simuleringen för att ändra ventilationsförhållandena vid en specificerad händelse eller tidpunkt.

Utdata utgörs grafiska figurer avseende tidsberoendet av rökgaslager, temperatur mm (se figur B.5).

```

FPETOOL
Auto
Sample FIRE SIMULATOR input file
TIME          TEMP          LAYER          FIRE
sec           F           C           ft           m           kW           BTU/s
26           82           28           4.9           1.5           8           8
Vision distance (smoke layer) = 83.1 ft 25.3 m
SMOKE GASES: OXYGEN = 20.9% CO = 0.0000% CO2 = 0.0746%
Enthalpy (Heat content) = 0.1 btu/sec 0 kW
Inside flow of unburned potential fuel 0.0 BTU/Sec 0.0 kW

***** HAZARD WARNING *****
At 26
seconds the Carbon dioxide at head level reached .0746%.

Hit any key to continue.
  
```

Figur B.5: Exempel på utdata från FPETOOL.

FPETOOL är också ett allmänt accepterat brandtekniskt instrument. Resultaten av simuleringar skiljer sig något från CFAST beroende på de förenklingar som finns i modellen. Om detta är utslagsgivande beror av vilket fall som skall analyseras.

## B.2.2 Tillgänglighet – ekonomi

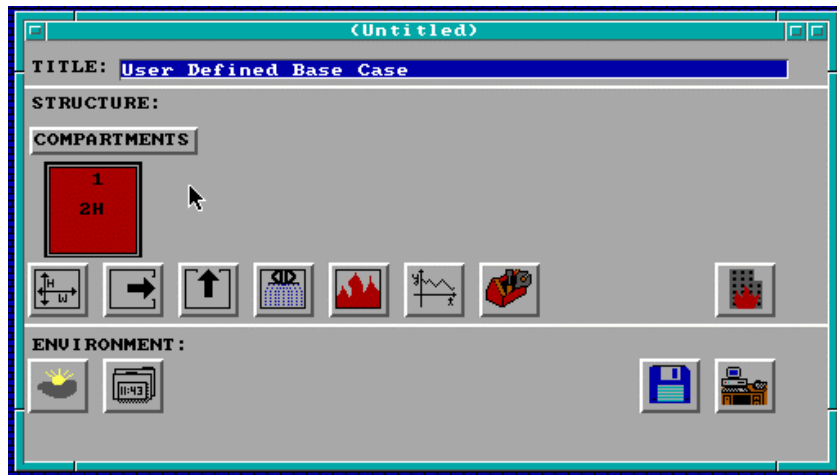
Programmet har en stor spridning och kan erhållas från NIST.

## B.3 FASTLITE

FASTLITE<sup>7</sup> (Fire and Smoke Transport Simplified) är ett mycket användarvänligt program i DOS-miljö som är baserat på beräkningsalgoritmerna från CFAST och FPETOOL.

### B.3.1 Beskrivning av programmet

Zonmodellen i FASTLITE är samma som i CFAST, dock begränsad till tre rum. I programmet finns dessutom de verktyg i FPETOOL som gör programmet användarvänligt. Tilläggen innefattar bl.a. en enklare konstruktion av effektkurvor och möjligheten att stanna simuleringen för att modifiera indata.

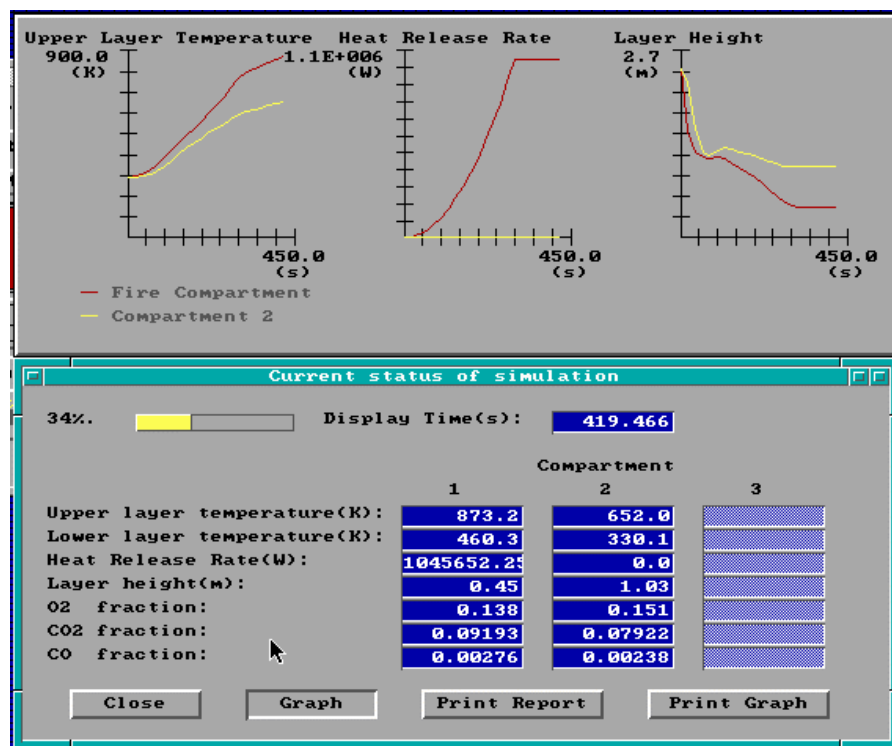


Figur B.6: Exempel på indatafönster i FASTLITE.

Programmet kan t.ex. simulera:

- ◆ Rökspridning
- ◆ Temperaturförhöjningar
- ◆ Värme- och rökdetektorers aktivering
- ◆ Inverkan på brandförloppet av sprinklers
- ◆ Rökgastemperaturer i atrium
- ◆ Flamspridning i sidled
- ◆ Antändning av närliggande objekt p.g.a. strålning från initialbranden

Resultatet kan erhållas både grafiskt och i tabellform (se figur B.7).



Figur B.7: Exempel på utdata från FASTLITE.

Trots att zonmodellen som används är identisk med den i CFAST kan resultatet från de olika modellerna skilja sig något p.g.a. annorlunda indatarutiner och konvergenskrav.

### B.3.2 Tillgänglighet – ekonomi

Tillgängligheten är god. Programmet kan erhållas på CD ROM från NIST (kostnad = fraktavgifter) eller laddas ner gratis från deras hemsida.

## B.4 Allmän problemlösning

Brandtillväxt och brandspridningsmodellen är en av de centrala och viktigaste delarna i bedömningarna av skadebilden. CFD-programmen är de mest avancerade modellerna som finns idag. Begränsningarna är dock att det krävs stora förberedelser samt att simuleringstiden är lång. Forskningen kring modellerna är bl.a. inriktad på att ta fram enklare och mer praktiskt tillämpbara modeller.

Betydligt enklare i sin utformning är de sk zonmodellerna. De antaganden som görs i dessa modeller gör dock att de främst är anpassade för mindre, geometriskt enkla och mer sparsamt inredda lokaler. Industrins lokaler utgörs ofta av komplexa geometrier med störande objekt som t.ex. ventilationsrör mm i taket. Detta medför att de förenklingar som görs, bl.a. i plymekvationer, ger oacceptabla osäkerheter i utdata. Ett annat problem är att industrins lokaler tenderar att öka i volym. Approximationen att temperaturen i det övre rökgaslagret är densamma i alla punkter blir då ogiltig. Dessutom är underlaget som dessa modeller ger för att kunna bedöma de termiska respektive icke-termiska skadorna är begränsat.

De tre modeller (CFAST, FPETOOL och FASTLITE) som beskrivits närmare är som sagt de vanligast förekommande på marknaden. Det finns ingen av dem som kan sägas vara mer eller mindre lämpad för de beräkningar och simuleringar som krävs. FASTLITE torde dock vara den bästa modellen då antalet rum understiger fyra till antalet. Detta eftersom den kombinerar de bästa egenskaperna hos de övriga två.



# ***APPENDIX C.***

*”Skador orsakade av brand”*

## **C.1 TERMISKA BRANDSKADOR**

---

C.1.1 Tillgängliga beräkningsmodeller avseende påverkan

C.1.2 Skad modeller

C.1.3 Skadekriterier

## **C.2 ICKE-TERMISKA BRANDSKADOR**

---

C.2.1 Allmän problemidentifikation

C.2.2 Några resultat från experimentella studier rörande icke-termiska skador

C.2.3 Händelseträdbaserad utvärdering av risk för telekommunikationscentral



# C Skador orsakade av brand

I detta Appendix kommer den nuvarande kunskapen samt ett antal beräkningsmetoder för termiska och icke-termiska skador att beskrivas.

## C.1 Termiska brandskador

För att kunna beräkna de termiska skadorna förutsätts att dels storleken av den belastning som komponenten utsätts för kan beräknas och sedan också hur denna inverkar på själva komponenten. Kapitlet är därför uppdelat i en påverkansmodell, en skadmodell samt ett avsnitt om olika skadekriterier. Påverkansmodellen behandlar värmetransporten fram till själva komponenten. Skadmodellen behandlar vad som händer i själva komponenten då denna utsätts för den påverkan som beräknats i tidigare nämnda modell.

### C.1.1 Tillgängliga beräkningsmodeller avseende påverkan

Det första problemet är alltså att bestämma nivån på den termiska brutto påverkan som komponenten utsätts för. Denna kan härstamma från olika källor:

- I. Strålning från rökgaslagret.
- II. Strålning från omgivande konstruktioner.
- III. Strålning från flammen.
- IV. Direkt kontakt med rökgaslagret (strålning och konvektion).
- V. Direkt kontakt med flammorna (strålning och konvektion).
- VI. Ledning från komponentens infästning

Dessa fall kan först behandlas separat för att sedan beräkna den sammanlagda påverkansnivån.

#### *I. Strålning från rökgaslagret*

Strålningen är starkt temperaturberoende. Värmetransporten p.g.a. strålning från rökgaslagret till komponenten kan enligt allmänna ekvationer för värmestrålning beräknas som<sup>1,3,15</sup>

$$q_g'' = F_g \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_g^4 - T_0^4) \quad (\text{C.1})$$

där  $F_g$  är synfaktorn mellan rökgaslagret och komponenten,  $\sigma$  är Stefan Boltzmanns konstant ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ ),  $\varepsilon$  är emissons-faktorn,  $T_g$  rökgaslagrets temperatur och  $T_0$  komponentens temperatur.

Synfaktorn kan beräknas med de klassiska metoder som finns för strålning mellan plana ytor (se bl.a. Drysdale<sup>15</sup>). Observera att en beräkning av synfaktorn förutsätter att mest kritisk del på komponenten är känd. Emissionsfaktorn kan enligt Drysdale<sup>15</sup> beräknas som  $\varepsilon = 1 - \exp(-K \cdot L)$  där  $K$  och  $L$  är parametrar som beror av strålningskällan.

#### *II. Strålning från omgivande konstruktioner*

I många fall kan denna försummas om komponenten befinner sig i brandrummet eftersom rökgaslagret utgör en isolator. Är det däremot en komponent som är placerad i ett sekundärt rum kan t.ex. strålningen från väggar eller öppningar vara aktuell. Strålningsnivån kan på samma sätt som tidigare beräknas enligt:

$$q_k'' = F_k \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_k^4 - T_0^4) \quad (\text{C.2})$$

$F_k$  är här synfaktorn mellan aktuell konstruktion och komponenten och kan beräknas med metoder som finns i litteratur på området.  $T_k$  är konstruktionens temperatur och övriga variabler kan bestämmas enligt föregående fall.



### III. Strålning från flamman

Strålningen från flamman kan på samma sätt beräknas som

$$\dot{q}_f'' = F_f \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_f^4 - T_0^4) \quad (\text{C.3})$$

Här är  $F_f$  synfaktorn mellan flamman och komponenten och  $T_f$  flammans temperatur. Om det förutsätts att flamhöjden och brandens diameter kan beräknas eller skattas kan formen på flamman antas vara cylindrisk. Synfaktorn kan då också beräknas med befintliga uttryck (se bl.a. Haberman och John<sup>18</sup>). Försök har visat att emissionsfaktorn blir nära 1 då bränslet utgörs av kolvätebaserade bränslen (Drysdale<sup>15</sup>), men kan också beräknas enligt föregående avsnitt. Den effektiva strålningstemperaturen brukar sättas till 1200 K. Ett mer representativt värde då värmeförluster ej kan försummas bör ligga kring 1000-1100 K.

### IV, V. Direkt kontakt med rökgaslagret eller flamman

Då rökgaslagret har sjunkit så pass lågt att komponenten börjar bli innesluten i detta kommer strålningen enligt ovan beskrivna fall att minska. Det kan då antas att komponenten endast utsätts för konvektiv och strålningpåverkan p.g.a. av den direkta kontakten med flamman eller rökgaslagret.

Eftersom komponenten är innesluten i en "gas" kommer inte påverkan att bli av samma form som i föregående avsnitt. Effekten av den varma gasen måste översättas till en strålningsnivå, vilken i detta fallet kan beräknas som, Andersson<sup>1</sup>:

$$\dot{q}_{gm}'' = (h_r + h_c) \cdot (T_g - T_0) \quad (\text{C.4})$$

Där  $h_c$  är det konvektiva värmeövergångstalet och  $h_r$  värmeövergångstalet för strålningen:

$$h_r = \frac{\sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_g^4 - T_0^4)}{(T_g - T_0)} \quad (\text{C.5})$$

Det konvektiva värmeövergångstalet brukar ligga kring 20 W/m<sup>2</sup>·K. Emissionsfaktorn kan beräknas enligt ovan. Observera att formlerna avser att komponenten är innesluten i rökgaslagret ( $T_g$ ), då denna är innesluten i flamman används istället  $T_f$ .

### VI. Ledning från komponentens infästning

Detta påverkansfallet kan härledas från allmänna värmeledningsekvationen (se avsnitt C.1.2). Lösningen kan företrädesvis göras med HSLAB (se Appendix E.3).

Den sammanlagda påverkan som komponenten utsätts för kan nu enkelt beräknas som summan av de olika fallen (I-V):

$$\dot{q}_{tot}'' = \dot{q}_g'' + \dot{q}_k'' + \dot{q}_f'' + \dot{q}_{gm}'' + \dot{q}_{ledn}'' \quad (\text{C.6})$$

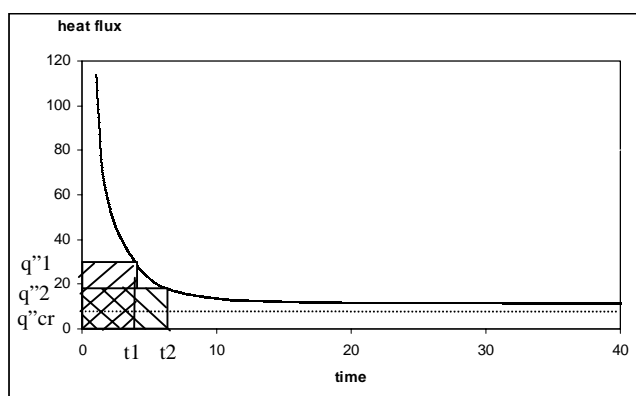
Är komponenten ej omsluten av rökgaslagret kommer fall III och IV aldrig att vara aktuella. Observera att denna ekvation förutsätter att värmetransporten från den kalla zonen kan försummas.

## C.1.2 Skademodeller

Till följd av den termiska påverkan som en komponent utsätts för kommer energin i denna att öka. Man pratar ofta om att komponenten upptar en viss energidos. Energiökningen får till följd att temperaturen i komponenten ökar och en värmetransport uppkommer till omgivningen. Frank och Moieni<sup>17</sup> menar enligt försök utförda av EPRI att:

- ◆ Det finns en kritisk nivå för värmestrålningen; med detta menas att värmestrålning som är lika stor eller mindre än denna nivå påverkar ej komponenten oavsett påverkanstid.
- ◆ Varje skadenivå kan karakteriseras av en specifik energimängd som krävs för att initiera skadan. Denna kritiska energi kan beräknas som produkten av den värmestrålning som krävs och den tid det tar att uppnå nämnda skadenivå.

Detta resonemang åskådliggörs i figur C.1.

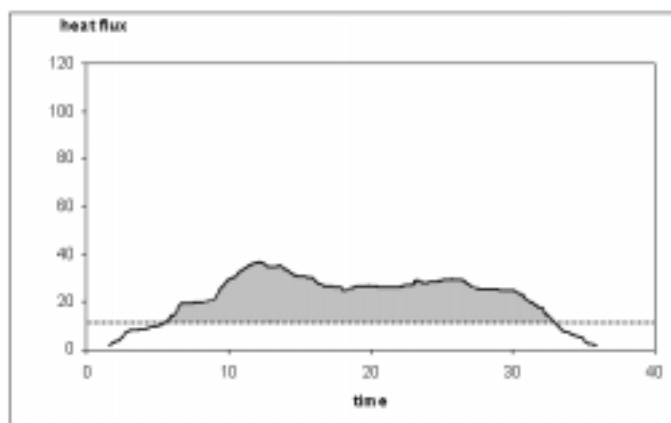


Figur C.1: Principerna bakom skademodellen<sup>1</sup>

Den upptagna dosen kan sedan beräknas genom att lösa skadeintegralen, vilken enkelt kan erhållas genom regressionsanalys. Under förutsättning att förhållanden mellan dos och värmestrålning kan anses vara linjärt (m.a.o. är endast två punkter hos skadeintegralen kända, se figur C.1) kan följande resonemang föras. Komponentens kan antas motstå en hög värmestrålning ( $q''_1$ ) under en kort tid ( $t_1$ ), en något lägre strålning ( $q''_2$ ) under en något längre tid ( $t_2$ ) och en relativt låg strålning ( $q''_{cr}$ ) under en väldigt lång tid. Den kritiska dosen som komponenten kan uppta blir då:

$$(q''_1 - q''_{cr}) \cdot t_1 = (q''_2 - q''_{cr}) \cdot t_2 = E_{cr} \quad (C.7)$$

Observera att detta förutsätter att förhållandet är linjärt. Den strålningsnivå ( $q''_{tot}$ ) som komponenten utsätts för under en brand kan t.ex. vara som i figur C.2.



Figur C.2: Exempel på strålningsdos som upptagits av komponenten<sup>1</sup>

Den streckade linjen motsvarar den kritiska strålningsnivån,  $\dot{q}_{cr}''$ . Den dos som komponenten upptar kan då erhållas genom att integrera den skuggade ytan i figur C.2, Andersson<sup>1</sup>:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} \dot{q}_{netto}'' dt = \int_{t_1}^{t_2} (\dot{q}_{tot}'' - \dot{q}_{cr}'') dt \quad (C.8)$$

Temperaturökningen som uppkommer i komponenten p.g.a. av den upptagna energidosen kan sedan härledas från allmänna värmeledningsekvationen, Bayley et al<sup>3</sup>:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ k(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ k(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ k(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right] + q_g(T) = \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (C.9)$$

Lösningen och anpassningen för olika fall av denna ekvationen kan göras på tre olika sätt:

- ◆ Med numeriska metoder
- ◆ Genom sk superponering
- ◆ Genom analytiska lösningar

Dessa metoder förutsätter olika form av indata och antaganden:

### Lösning av allmänna värmeledningsekvationen med numeriska metoder

En lösning av allmänna värmeledningsekvationen med hjälp av datorstöd, t.ex. HSLAB, gör att temperaturen (strålningen) kan variera kontinuerligt med tiden. Komponentens kan dessutom anta en mer komplicerad form, t.ex. innefatta rör med strömmande vätska, hålrum mm. Denna metoden ger det absolut bästa resultatet av den skada som komponenten erhåller.

### Superponering

Superponering innebär att variationen av temperaturen delas upp i olika tidssteg (trappsteg). Detta innebär att temperaturen och strålningen grovt sett kan variera med tiden. Allmänna värmeledningsekvationen löses sedan för varje steg. Formen på komponenten måste här approximeras till antingen en halvoändlig vägg eller en koncentrerad massa av en viss storlek.

### Analytiska lösningar

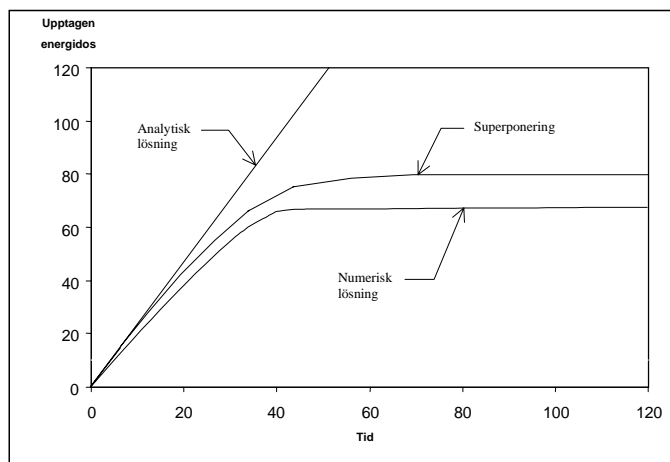
Genom en förenkling av allmänna värmeledningsekvationen kan denna lösas med hjälp av handräkningsmetoder. Detta förutsätter dock att temperaturen och strålningen måste anses vara konstant. Formen på komponenten måste här också förenklas till att antingen en halvoändlig vägg eller en koncentrerad massa.

Lösningssätt	Påverkan	Komponentmodell
Numeriska lösningar	T(t), q(t)	Komplexa modeller
Superponering	Grovt T(t), q(t)	Halvoändl. el. konc. massa
Analytiska lösningar	T, q	Halvoändl. el. konc. massa

Tabell C.1: Sammanfattning av olika lösningssätt av allmänna värmeledningsekvationen.

En lösning med numeriska metoder kräver ofta väldigt specifika indata i form av randvillkor, geometriska faktorer, fysikaliska data mm. Därför är metodens potential inom industrin begränsad då kunskapen om just dessa indata ofta är begränsad och varierar med tiden. Metoden har dock en viss användning inom väldigt specifika områden, t.ex. rymd- och flygfarten, där kunskapen om olika komponenter och förhållanden är väldigt detaljerad.

I realiteten kommer den upptagna dosen att minska med tiden eftersom den termiska påverkan kommer att minska till följd av komponentens temperaturökning. Problemet med superponering och analytiska lösningar är att yttemperaturen måste anses vara konstant under en viss tidsperiod respektive under hela förloppet. Detta får till följd att den påverkan som komponenten utsätts för också kommer att vara konstant under samma intervall och den upptagna dosen kan ej beskrivas på ett riktigt sätt (se figur C.3).



Figur C.3: Jämförelse mellan olika lösningssätt.

Ett antagande att yttemperaturen,  $T_0$ , är samma som omgivningens kan enligt Andersson<sup>1</sup> vara rimligt då gastemperaturerna ofta är relativt låga.

## C.1.2 Skadekriterier

Skadekriterier, avseende termiska skador, brukar oftast vara i form av en högsta temperatur, antingen på ytan eller vid en invändig delkomponent, eller i form av en max strålningsdos. Det kan dessutom ifrågasättas om det räcker med ett kriterium. Antag att ett mätinstrument utsätts för termisk påverkan. Den första skadan som uppkommer kan vara att glaset krakelerar med följd att det blir omöjligt att avläsa instrumentet. Nästa steg kan vara att visaren slutar att fungera och slutligen så falerar instrumentet helt. Olika industrier eller olika processer kan ha skilda krav på komponentens funktionalitet och därmed så behövs också olika skadekriterier.

I litteratur på området finns en del kriterier avseende kablar (Bryan<sup>6</sup>, Frank och Moieni<sup>17</sup>) men gällande andra typer av komponenter är materialet mycket bristfälligt. Det finns två sätt att ta fram skadekriterier (a) genom expertutlåtande och (b) genom många och upprepade försök i fullskala eller modell. Det mest tillförlitliga är givetvis försöken men detta kan bli mycket omfattande och kräver expertis på området. I samband med utvecklandet av FREIA tog Institutionen för Brandteknik fram en förenklad metodik för att räkna om skadekriterier i form av högsta temperatur till strålningsdos. Metodiken begränsades till fyra ”typkomponenter”, Andersson<sup>1</sup>:

- ◆ Halvoändlig ”vägg”, kritisk temperatur vid ytan.
- ◆ Koncentrerad massa, kritisk temperatur är medeltemperaturen i massan.
- ◆ Komponent som är innefattad i ett ”skåp”.
- ◆ Rör med flödande gas eller vätska

### Halvoändlig ”vägg”

Yttemperaturen  $T_s$  hos en halvoändlig vägg som utsätts för en konstant strålning  $\dot{q}''$  kan beräknas som:

$$T_s - T_0 = \frac{\dot{q}''}{h_{eff}} \left( 1 - e^{-\frac{h_{eff}^2 t}{k\rho c}} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{h_{eff}^2 t}{k\rho c}} \right) \quad (\text{C.10})$$

där  $T_0$  är initial temperaturen,  $k\rho c$  är den termiska konduktiviteten, densiteten och specifika värmen för materialet och  $t$  är tiden. Värmeövergångstalet  $h_{eff}$  ges av

$$h_{eff} = h_c + \frac{\sigma(T_s^4 - T_0^4)}{T_s - T_0} \quad (\text{C.11})$$

där  $h_c$  är det konvektiva värmeövergångstalet. Genom att veta den kritiska temperaturen och välja en tid eller strålningsnivå kan den kritiska tiden alternativt strålningsnivån bestämmas.

### Koncentrerad massa

När värmeledningen i "massan" är större än värmetransporten över ytan kan temperaturförändringen av komponenten beräknas som:

$$\Delta T_{n\Delta t} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta t \cdot a_s}{m \cdot c} (\dot{q}'' - 2 \cdot h_{eff} (T_{i-1} - T_a)) \quad (C.12)$$

där  $m$  är massan hos komponenten och  $\Delta t$  är ett tidssteg. Genom att välja en värmestrålningsnivå kan tiden till att komponenten uppnår kritiska förhållanden beräknas.

### Komponent innesluten i ett "skåp"

Komponenten kan antingen antas vara placerad på väggen i skåpet eller utan termisk kontakt på botten av skåpet. Temperaturökningen hos skåpsväggen kan under förutsättning att denna är tunn beräknas enligt, Andersson<sup>1</sup>:

$$\Delta T_{n\Delta t} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta t \cdot a_s}{m \cdot c} (\dot{q}'' - 2 \cdot h_{eff} (T_{i-1} - T_a)) \quad (C.13)$$

Då komponenten är placerad på väggen antas denna ha som temperatur som den senare. När komponenten är placerad på golvet antas denna utsättas för strålning från väggen enligt:

$$\dot{q}''(i\Delta t) = \sigma (T_w^4 - T_{comp}^4) \quad (C.14)$$

där  $T_w$  ökar med tiden enligt ekvation C.13. Temperaturökningen hos komponenten ges sedan av:

$$\Delta T_{comp}(n\Delta t) = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta t \cdot a_s}{m \cdot c} (\dot{q}''(i\Delta t) - 2 \cdot h_c (T_{comp}(i-1) - T_a)) \quad (C.15)$$

Detta förutsätter att synfaktorn mellan väggen och komponenten är 1 och att uppvärmningen av luften i skåpet ej inverkar. Genom att välja en strålningsnivå kan tiden till skada itereras fram.

### Rör med strömmande gas eller vätska

Skadekriterier för rör innehållande en gas eller vätska kan beräknas med hjälp av HSLAB (se Appendix E.3).

## C.2 Icke-termiska brandskador.

Detta avsnitt är skrivet av professor Sven Erik Magnusson, Institutionen för Brandteknik.

### C.2.1 Allmän problemidentifikation

Komponentskador till följd av värme definieras som termiska skador. Skador till följd av rök samt giftiga och korrosiva produkter betecknas icke-termiska skador. De flesta industrilokaler är känsliga för icke-termiska skador, speciellt utsatta är utrymmen av typen telefonväxlar, datorcentraler, kontrollrum, transportfordon och andra typer av utrymmen med elektronisk utrustning. De skador som kan uppträda på sådan utrustning inkluderar enligt Dimitrios<sup>14</sup> (a) vanlig korrosion (b) ökad kontaktresistans (c) försämrade isoleringsförmåga (d) bildandet av elektrolytiska celler (e) mekaniska skador på rörliga delar.

Generellt vad gäller skadebilden försöker man ofta skilja på skador till följd av korrosion och skador till följd av rök. Med "rök" avses här förbrännings- eller sönderdelningsprodukter både i ångfasen (gasfas) och i partikelform. Partikelfasen består av partiklar i både fast form (kolpartiklar eller sot) och i vätskeform.

För att kunna bedöma alstringen av dessa brandprodukter brukar glödbränder (sönderdelning vid låga temperaturer) och flammförbränning (sönderdelning vid höga temperaturer) särskiljas. Vid en glödbrand är det alstrade sotet vanligen tungt lastat med organiska föreningar som gör det icke-ledande från elektrisk ståndpunkt. Partikeldiametern kommer i genomsnitt att vara hög,  $> 0,5 \mu\text{m}$ . De organiska föreningarna inkluderar phtalater, alkaner, alkener, olefiner samt klorföreningar. Deposition (avsättning) sker främst på horisontella ytor. Vid högtemperaturbränder kommer sotet att utgöras av grafit (ett material med hög ledningsförmåga) och ha en genomsnittlig diameter  $\ll 0,5 \mu\text{m}$ . Deposition sker både på horisontella och vertikala ytor. Den effektiva förbränningen medför att koncentrationen av oförbrända, oreagerade produkter är liten. För halogenerade material förväntas en hög utveckling av HCl i gasform. Vid närvaro av fukt (något som i stort sett är oundvikligt) bildas HCl i vätskeform.

För att kvantifiera skaderisken måste ett antal frågor besvaras

1. Vad blir alstringen av kontaminerande produkter för olika typer av bränder och material, dvs hur blir miljön i det utrymme utrustningen befinner sig?
2. Hur beror skadan av kontaminerande påverkan?

### C.2.2 Några resultat från experimentella studier rörande icke-termiska skador

Kvalitativt sett kan man förutsäga den inverkan olika förbränningsprodukter kommer att ha på elektronisk utrustning. Sotnedsmutsning från glödbränder resulterar i bildandet av en isolerande film som ökar kontaktresistansen, sot från flammförbränning kan leda till läckageströmmar och kortslutning. Läckageströmmar förutsätter en kontinuerlig film av sot på utrustningens yta. Båda typerna av sot kan producera aktivering av kontakter och kontaktersosion i reläer. Olika förbränningsprodukter i gasform nedsätter funktionen hos bl.a. kontakter, reläer, hårddiskar. Ett speciellt problem utgör brandprodukter från halogenerade material som PVC och ytor av galvaniserad zink. Alla zinkytor är speciellt känsliga för klorpåverkan. Zinkklorid, som är ett hygroskopiskt salt, förenar sig med luftens fuktighet (även vid mycket låg nivå på relativ fuktighet RH) och bildar zinkklorid i vätskeform. Denna lösning är elektriskt ledande och kan när den runnit eller droppat ner i en utrustning åstadkomma mycket allvarliga kortslutningsproblem.

Vissa experiment i fullskala och modellskala har genomförts för att bestämma alstring av produkter som kan ge icke-termiska skador. Ansträngningar har också gjorts att länka resultaten från dessa experiment med resultaten från olika materialtester (FMRC Flammability Apparatus, NIBS Corrosivity Apparatus, konkalorimetern, etc).

Slutligen har man också försökt mäta grad av nedsmutsning och uppkomst av skada. Mycket kortfattat kan resultaten sammanfattas enligt nedan:

1. Den mesta informationen tillgänglig i litteraturen om icke-termiska skador baseras på PVC-bränder och alstring av HCl.
2. Försöksresultaten indikerar enligt Tewarson<sup>45</sup> att:
  - ◆ huvuddelen av den elektroniska utrustningen undgår termisk skada om gastemperaturen understiger 60°C.
  - ◆ de flesta metallytor korroderar inte om kloridjon-depositionen på ytan understiger 2 µg/cm<sup>2</sup> och RH < 30%. Mer differentierad information erhålls ur tabell C.2 som relaterar grad av korrosionsskada till deponeringsgrad.
3. För gasformiga ämnen ges tröskelkoncentrationen för icke-termisk skada på elektronisk komponent i tabell C.3.
4. Så mycket som 50% av frigjord mängd HCl deponeras från gasfasen till tak, väggar, golv och andra ytor inom en tidsrymd av 30 minuter, ca 100-200 ppm HCl stannar kvar i gasform, strömmar med övriga brandgaser och orsakar skador i bland långt från själva brandkällan, Tewarson<sup>45</sup>.
5. Det finns tester i laboratorieskala (Tewarson<sup>45</sup>) som kvantifierar korrosionspåverkan från olika materials förbränningsprodukter. Material karakteriseras med hjälp av en specifik korrosionskonstant *k*. Bestämningen av denna konstant utgör en god indikation på materialets korrosionsbenägenhet.
6. Vissa zonmodeller (CFAST<sup>25</sup>) har beräkningsmoduler för att bestämma HCl-koncentration i brandrummets atmosfär och depositionshastigheter på ytor.
7. För att beräkna rökens strömningsmönster, rökens åldringsbeteende (agglomeration) samt ackumulering på (horisontella) ytor behövs som regel CFD-modeller.
8. Vissa förenklade samband har tagits fram som direkt länkar sannolikheten för komponent-skada till ytkoncentration av sot och annan nedsmutsning (korrosiva produkter). Enligt Dimitrios<sup>14</sup> kan följande samband användas

$$p = 1 - e^{-[(c-3)/c_0]}$$

där

p = sannolikheten för skada (0-1)

c = ytkoncentrationen sot och korrosiva produkter

c<sub>0</sub> = medelvärde för den koncentration av sot och korrosiva ämnen som orsakar kännbar skada

9. En avgörande svaghet i metoderna ovan är att ingen hänsyn tas till inverkan av atmosfärens relativa fuktighet. Ett sätt att kringgå detta problem är att, för en given nedsmutsningsnivå i µg/cm<sup>2</sup>, specificera tid till skada som funktion av luftens relativa fuktighet.

Chloride Ion (micro-g/cm <sup>2</sup> )	Conditions	Effects on Metal Surfaces	Effects on Electronics
> 77	RH >50%	Flash rust; etched Surfaces	Heavy corrosion Catastrophic failures
30	RH >60%	Light rust	Active corrosion
16	RH 30-90%	Marginal effects	Moderate corrosion
8	RH 45-55%	None	Slight surface Corrosion
3	MIL Standard High reliability	None	None

Tabell C.2: Korrosionsgrad relaterat till deponeringsgrad<sup>45,33</sup>.

Gas	Concentration (ppm) Visual damage	Concentration (ppm) Electrical damage
Hydrogen chloride	100	100
Nitrogen dioxide	100	1000
Acetic acid	1000	1000
Hydrogen fluoride	100	1000
Sulfur dioxide	>1000	>1000

Tabell C.3: Tröskelkoncentrationer för icke-termiska skador<sup>40</sup>.

### C.2.3 Händelseträdsbaserad utvärdering av risk för telekommunikationscentral

I ett nyligen rapporterat projekt från FMRC (Factory Mutual Research Corporation) redovisas en riskstudie rörande icke-termiska skador i en Telekommunikationscentral (TKC), storlek 71 m x 58 m x 3.4 m<sup>32</sup>. Studien bygger på en metodik som är helt parallell med den som redovisats i denna rapport rörande termiska skador. Enda skillnaden är att utvärderingsfasen inte omfattar en ekonomisk analys; alla beslutsanalytiska aspekter (bl.a. val av försäkringsnivå) försummas. Det är därför riktigare att använda benämningen händelsträdsanalys i stället för beslutsanalys.

#### Allmän struktur

Projektet baseras på ett datorprogram som integrerat (a) skapar händelsträd och ger en detaljerad scenario-analys (b) beräknar händelseutfallet (konsekvensen) för varje enskilt scenario (c) beräknar sannolikheten för varje konsekvens. FMRC har förmodligen valt denna metod p.g.a. proprietära skäl och ur konkurrenssynpunkt. Den metodik som använts vid LTH med kommersiellt tillgänglig mjukvara (@RISK och PRECISION TREE, se Appendix E.1 respektive E.2) är mer flexibel och innebär rimligen mindre utvecklingskostnad.

#### Skyddssystem

De olika skyddssystem som studeras inkluderar (1) ventilation (2) automatisk detektion (3) system för att stänga ventilationen (4) rökkontrollsystem och (5) automatiska släcksystem.

#### Deterministiska modellen

De modeller som ingår simulerar brandutveckling, rökströmning och röktransport, deposition av rök på komponentytor och aktivering av skyddssystem. Två olika modeller för sotdeposition studeras. Genomgående används metodiken med zonmodeller, men möjlighet att länka in resultat från CFD-modeller är inbyggd.

#### Sannolikheter

Tillförlitlighetsdata gällande utrustning och mänskligt handlande hämtas från tillgängliga databaser och/eller härleds via statistiska modeller som felträd och Markov-modellen.

#### Skadekriterier

En deposition av 30 µg sot/cm<sup>2</sup> har satts som kriterium för allvarlig skada.

#### Brandscenario

Tre brandtyper på 60 kW, 100 kW och 400 kW har getts lika stora sannolikheter.

#### Val av åtgärd

Totalskada på utrustningen har värderats till \$ 200 million. Ett förslag till åtgärd är att indela rummet i två lika delar, vardera med ett värde = \$ 100 million.

#### Resultat

En summering för de båda alternativen av den kvantitativa analysen ges i tabell C.4.

#### Vidareutveckling

Författarna påpekar att fortsatt forskning behövs (a) för att studera inverkan av osäkerheter (b) för att validera ingående beräkningsmodeller.



## Kostnad-nyttan av industrins brandskyddsåtgärder

Protection Strategy	Big Room Value: \$200 million			Two Half Rooms Value: \$100 million each			Reduction Factor Due to Division
	Risk million/yr	Loss million	Reduction due Strategy	Risk million/yr	Loss million	Reduction due Strategy	
Base	0.016	\$8.89	1.00	0.0074	\$4.11	1.00	2.16
Smoke Mgt	0.0046	\$2.56	3.48	0.0027	\$1.50	2.74	1.70
Halon	0.0056	\$3.11	2.86	0.0032	\$1.78	2.31	1.75
Aspirator Detection	0.012	\$6.67	1.33	0.0065	\$3.61	1.14	1.85
New Det & Sm.Mgt	0.00011	\$0.06	141.59	7.4E-05	\$0.04	100.00	1.53
New Det & Halon	0.00117	\$0.65	13.72	0.00065	\$0.36	11.40	1.80
New Det, Halon, SmMgt	8.1E-05	\$0.04	198.51	6E-05	\$0.03	124.37	1.35

### Where:

Base refers to a benchmark case which has no fire protection, but has all other Parameters as in the existing situation of the computer room.

Risk million/year is, the expected loss in million dollars per year.

Loss (million) is the average loss (in millions) of a fire accident.

Reduction Due To Strategy is Reduction in loss amount due to by implementing a protection Strategy and comparing it to the base case i.e, (Base Loss)/(Strategy Loss).

Reduction Factor due to subdivision is Reduction in Loss amount by subdividing the room, keeping the Same protection strategy, i. e, (Loss in Big Room)/(Loss with two rooms keeping same protection Strategy).

Aspirator Detection is for using a better Detection by a highly reliable and very sensitive detection system.

New Det & Sm.Mgt is for using the secondary air handling unit smoke management system along with the better detection system above.

New Det & Halon is for having Halon (FM 2000) protection along with the better detection System as above.

Tabell C.4: Resultat av utvärderingen för TKC<sup>32</sup>.

# ***APPENDIX D.***

*”Grundläggande sannolikhets- och statistikteori”*

## **D.1 DISKRET OCH KONTINUERLIG STOKASTISK VARIABEL**

## **D.2 TÄTHETS- OCH FÖRDELNINGSFUNKTION**

## **D.3 KVANTILER**

## **D.4 LÄGES- OCH SPRIDNINGSMÅTT**

- D.4.1 Lägesmått
- D.4.2 Spridningsmått

## **D.5 BETINGADE SANNOLIKHETER**

## **D.6 SAMPLINGSMETODER**

- D.6.1 Monte Carlo-simulering
- D.6.2 Latin Hypercube sampling



# D Grundläggande statistikteori

Detta Appendix har för avsikt att redogöra för och definiera de sannolikhets- respektive statistiktermer som används i rapporten.

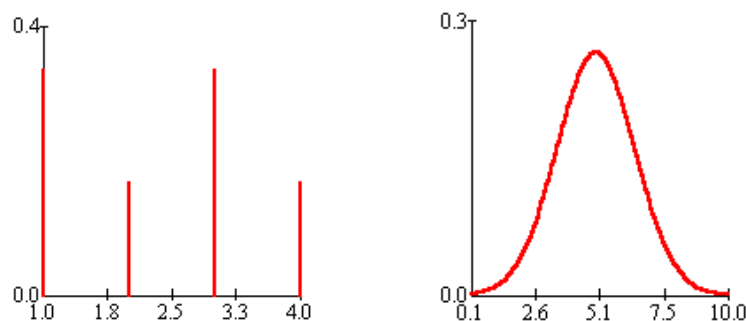
## D.1 Diskret och kontinuerlig stokastisk variabel

Ett slumpmässigt försök ger ofta upphov till ett tal som bestäms av utfallet av försöket. Talet är alltså inte känt före försöket; det bestäms av vilket utfall som kommer att uppstå, alltså av slumpen. Variabeln kallas därför stokastisk variabel<sup>4</sup> (eng: random variable).

Det finns två typer av stokastiska variabler (s.v.); diskreta och kontinuerliga. En s.v. är diskret om den kan anta ett ändligt eller uppräknligt oändligt antal olika värden<sup>4</sup>. Som exempel kan nämnas att utfallet vid en myntkastning är diskret då den endast kan anta två värden; krona eller klave. En kontinuerlig s.v. kan däremot anta alla värden inom ett ändligt eller oändligt intervall<sup>4</sup>. Ett exempel på en kontinuerlig stokastisk variabel kan vara t.ex. uppskattningen av skadekostnaden eftersom den kan anta alla värden mellan 0 och EML.

## D.2 Täthets- och fördelningsfunktion

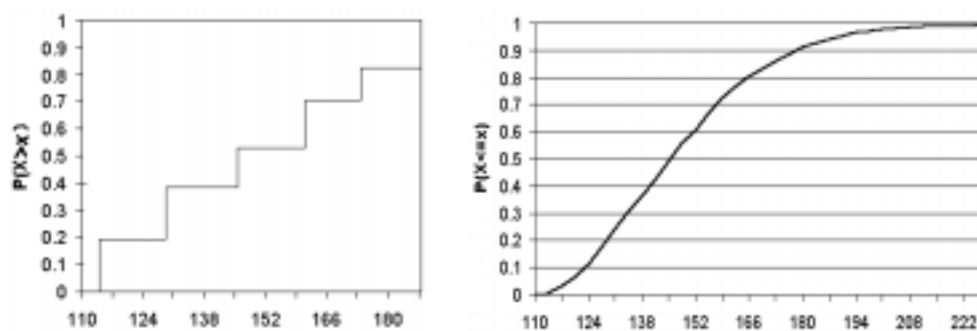
För att på ett koncist sätt beskriva hur en s.v. varierar kan olika tillvägagångssätt användas. Ett sätt är att beskriva den stokastiska variabelns täthetsfunktion (andra benämningar kan vara fördelnings-, masstäthets- respektive sannolikhetsfunktion). Täthetsfunktionen (eng: probability density function, pdf) beskriver hur variabeln uppför sig sannolikhetsmässigt, m.a.o. så beskriver den hur pass sannolika olika utfall är. I figur D.1 ges exempel på hur en diskret respektive kontinuerlig täthetsfunktion kan se ut.



Figur D.1: Diskret respektive kontinuerlig täthetsfunktion.

Täthetsfunktionen brukar betecknas  $f_X(x)$ .

Ett annat sätt att beskriva en s.v. är genom att ange fördelningsfunktionen (eng: Cumulative Distribution Function = CDF). Fördelningsfunktionen beskriver vad sannolikheten  $P(X \leq x)$  är för att ett givet värde  $x$  skall vara mindre eller lika med  $X$ . Alternativt kan den komplementära fördelningsfunktionen (eng: Complementary Cumulative Distribution Function = CCDF) användas. Denna beskriver vad sannolikheten  $P(X > x)$  är för att ett givet värde  $x$  skall vara större än  $X$ . Figur D.2 visar en diskret respektive kontinuerlig CDF.



Figur D.2: Diskret respektive kontinuerlig fördelningsfunktion.

Fördelningsfunktionen brukar betecknas  $F_X(x)$  och sambandet med täthetsfunktionen kan beskrivas som, Blom<sup>4</sup>:

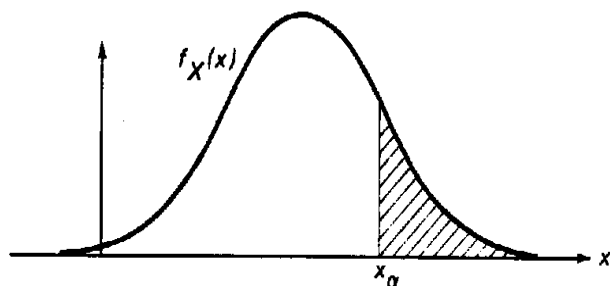
$$F_X(x) = \int_{-\infty}^x f_X(t) dt \quad (D.1)$$

### D.3 Kvantiler

Vid jämförelser av olika stokastiska variabler används ofta kvantiler. I denna rapport definieras kvantilen som lösningen  $x = x_\alpha$  till ekvationen

$$F_X(x) = \alpha \quad (D.2)$$

Med andra ord så är  $\alpha$ -kvantilen arean under täthetsfunktionen till *vänster* om  $x_\alpha$ ,  $0 < \alpha < 1$  (se figur D.3). Kvantiler brukar uttryckas i procent.



Figur D.3: Definitionen av  $\alpha$ -kvantilen.

Vad figuren egentligen säger är att vid 1000 olika försök så kommer resultatet i  $\alpha$  procent av fallen att bli mindre än  $x_\alpha$  och i  $1-\alpha$  procent av fallen bli större än  $x_\alpha$ .

## D.4 Läges- och spridningsmått

För att fullständigt beskriva en stokastisk variabel används täthets- respektive fördelningsfunktioner. För en mer summarisk beskrivning är ofta ett läges- respektive spridningsmått av nytta.

### D.4.1 Lägesmått

För att beskriva en stokastisk variabel används ofta väntevärdet (eng: expected value). Väntevärdet definieras som<sup>4</sup>:

$$E(x) = \begin{cases} \sum_k g(x) \cdot p_x(x) & (\text{diskret s.v.}) \\ \int_{-\infty}^{\infty} g(x) \cdot f_x(x) & (\text{kontinuerlig s.v.}) \end{cases} \quad (\text{D.3})$$

där  $g(x)$  är utfallet med tillhörande sannolikhet  $p_x(x)$  eller  $f_x(x)$ . Väntevärdet är nära besläktat med medelvärdet som ibland används som approximation.

### D.4.2 Spridningsmått

Det är i regel inte tillräckligt att känna enbart ett lägesmått. Två s.v. kan mycket väl ha samma väntevärde men olikartade fördelningar. De vanligaste spridningsmåten är varians respektive standardavvikelse. Variansen definieras som<sup>4</sup>:

$$V(x) = \begin{cases} \sum_k (x - E(x))^2 \cdot p_x(x) & (\text{diskrets s.v.}) \\ \int_{-\infty}^{\infty} (x - E(x))^2 \cdot f_x(x) & (\text{kontinuerlig s.v.}) \end{cases} \quad (\text{D.4})$$

En liten varians innebär en liten spridning kring väntevärdet. Standardavvikelsen definieras som<sup>4</sup>:

$$\sigma = \sqrt{V(x)} \quad (\text{D.5})$$

## D.5 Betingade sannolikheter

Betingade sannolikheter (eng: conditional probability) är ofta användbara vid besluts- eller felträdsanalyser då denna beskriver sannolikheten för en händelse förutsatt att en tidigare händelse har inträffat. Den betingade sannolikheten definieras som<sup>4</sup>:

$$P(B | A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} \quad (\text{D.6})$$

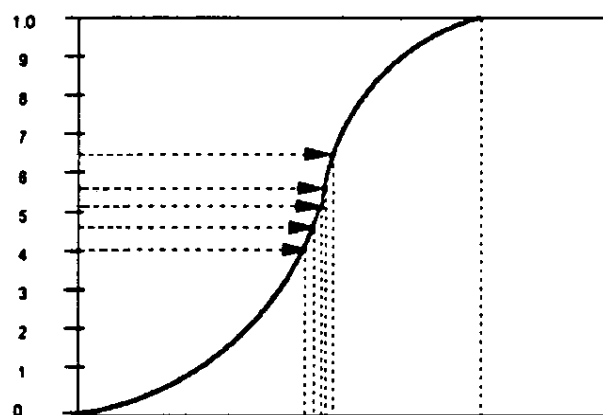
Där  $P(B | A)$  är den betingade sannolikheten för B förutsatt att A har inträffat,  $P(A \cap B)$  är snitthändelsen, d.v.s. sannolikheten för att både A och B inträffar, och  $P(A)$  är sannolikheten för att A inträffar.

## D.6 Samplingsmetoder

I detta avsnitt kommer två samplingsmetoder att beskrivas; Monte Carlo respektive Latin Hypercube sampling. Dessa nyttjas i den programvara, @RISK, som använts i utvärderingen.

### 7.1.1 Monte Carlo-simulering

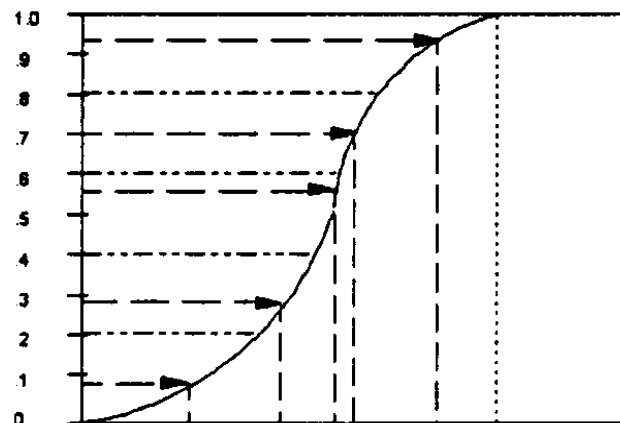
Monte Carlo-simuleringen<sup>21</sup> använder sig av en enkel slumpmässig sampling (Simple Random Sampling, SRS). Detta innebär att ett tal slumpmässigt väljs i intervallet  $[0,1]$  där alla värden är lika sannolika. Utifrån detta tal plockas ett värde från aktuell parameters fördelningsfunktion som sedan används för att beräkna värdet av funktionen (se figur D.4). Upprepas detta ett tillräckligt stort antal gånger kan resultatet erhållas som en fördelning istället för ett punktvärde. Nackdelen med den enkla samplingen är att (beroende på fördelningens utseende) värden kring täthetsfunktionens mitt kommer att dominera och ändområdena kommer att bli bristfälligt representerade.



Figur D.4: Exempel på en SRS.

### 7.1.2 Latin Hypercube sampling

Latin Hypercube sampling<sup>21</sup> (LHS) innebär att intervallet  $[0,1]$  delas in i ett specificerat antal delintervall. Det slumpmässiga urvalet styrs sedan så att lika många värden dras från respektive delintervall. En bättre spridning kommer då att erhållas (se figur D.5). Denna metod är främst användbar då de ingående parametrarnas osäkerhetsintervall spänner över varandra och det just är dessa gränsområden som har stor betydelse för slutresultatet.



Figur D.5: Exempel på en LHS.

# ***APPENDIX E.***

*”Beskrivning av programvara”*

**E.1 PRECISION TREE**

---

**E.2 @RISK**

---

**E.3 HSLAB**

---





# E Beskrivning av använd programvara

Detta Appendix beskriver den programvara som antingen använts eller refererats till.

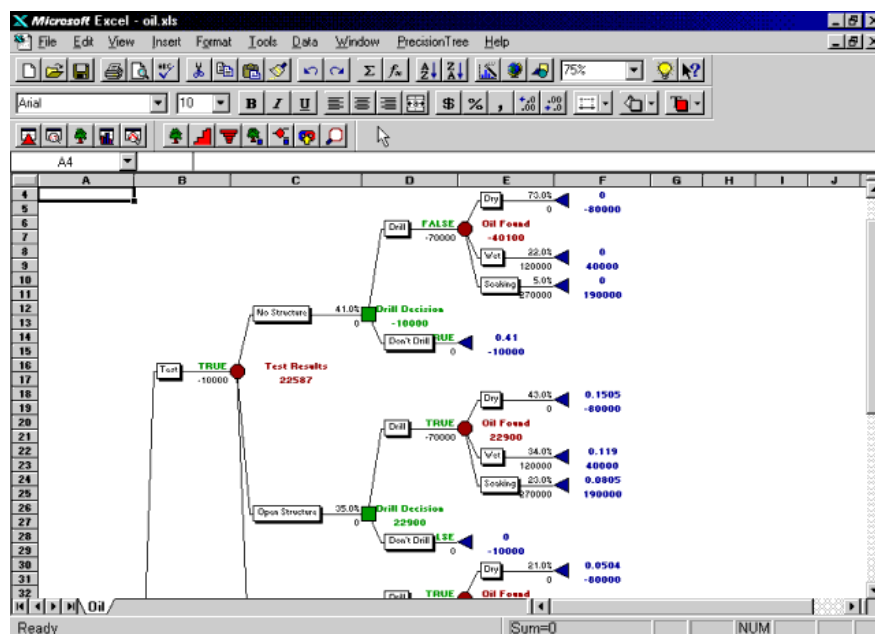
## E.1 PRECISION TREE

PRECISION TREE<sup>36</sup> är ett EXCEL-tillägg som tagits fram av Palisade Corp, USA. Programmet kan på ett mycket enkelt sätt rita upp och utvärdera beslutsträd respektive influensdiagram. Användaren specificeras själv beroenden, besluts- och osäkerhetsnoder, utfall och sannolikheter. Programmet kan sedan bl.a. utvärdera:

- ◆ Mest optimala alternativ
- ◆ Riskprofiler
- ◆ Förväntade utfall
- ◆ Sannolikheter för de olika utfallen

Resultatet redovisas både i grafisk form och i tabellform.

PRECISION TREE kan även utföra deterministiska känslighetsanalyser för en eller flera ingående parametrar. Dessutom kan det länkas till @RISK för att utföra probabilistiska känslighetsanalyser.



Figur E.1: Exempel på hur användarfönstret ser ut i PRECISION TREE.

## E.2 @RISK

@RISK<sup>35</sup> är liksom PRECISION TREE ett EXCEL-tillägg framtaget av Palisade Corp. Programmet ger en möjlighet att behandla indata som statistiska fördelningar istället för punktvärde. Detta gör att probabilistiska analyser kan utföras på ett mycket smidigt sätt. Resultatet av en värdefunktion erhålls genom numeriska beräkningar m.h.a. två olika samplingsmetoder; Monte Carlo respektive Latin Hypercube (se Appendix D.6). Resultatet av simuleringarna utgörs av täthetsfunktion, fördelningsfunktion samt en del läges- och spridningsmått och presenteras både grafiskt och i tabellform. I programmet finns en stor mängd standardiserade fördelningsfunktioner att tillgå.

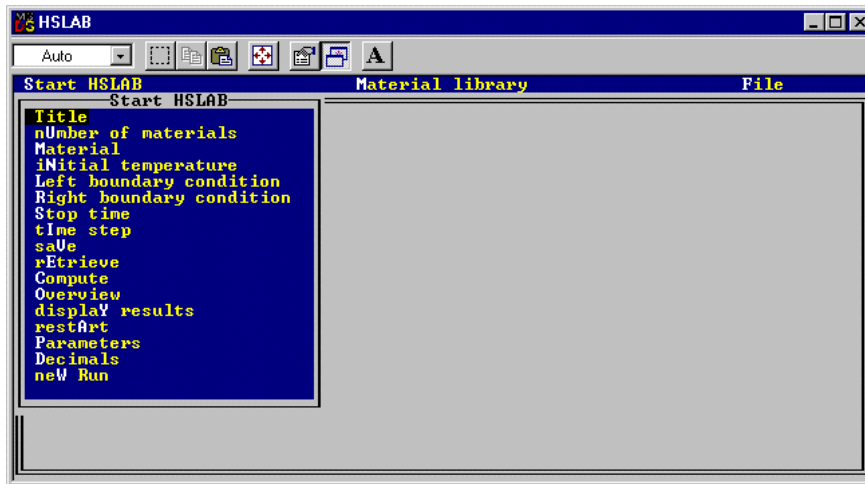


Figur E.2: Exempel på användarfönster i @RISK.

## E.3 HSLAB

HSLAB<sup>16</sup> är ett användaranpassat beräkningsprogram för persondatorer. Programmet behandlar det instationära temperaturförloppet i en dimension av en flerskiktad skiva som utsätts för värmepåverkan. Flexibla randvillkor i form av t.ex. en given temperatur eller värmeflöde som funktion av tiden tillåts. Programmet löser sedan allmänna värmeledningsekvationen numeriskt baserat på differensapproximationer med Crack-Nicholsons lösningsmetod. I programmet finns dessutom en förenklad modell som ger möjlighet att beräkna temperaturen i ett för yttre värmepåverkan utsatt arkiv eller skyddsrum.

Indata utgörs av antal material, material data, initialtemperatur och randvillkor. Användaren specificerar också simuleringstid respektive tidssteg för beräkningarna. Resultatet redovisas både i tabell och grafisk form.



Figur E.3: Användarfönster i HSLAB.

