

# **Utvärdering av brandrisker på HMS Visby**

***Mikael Andersson***  
***Arben Krasniqi***

---

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

**Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet**

**Report 5084, Lund 2001**



# **Utvärdering av brandrisker på HMS Visby**

**Mikael Andersson  
Arben Krasniqi**

**Lund 2001**



# LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA

Lunds universitet

Brandteknik

Utvärdering av brandrisker på HMS Visby

Mikael Andersson  
Arben Krasniqi

**Report 5084**

**ISSN: 1402-3504**

**ISRN: LUTVDG/TVBB--5084--SE**

Number of pages: 200

Illustrations: Arben Krasniqi  
Mikael Andersson

Keywords:

Fire, risk management, Visby, marine fire fighting, naval ship, SOFIE, CFD, field model, fire modeling, FREIA, Monte Carlo analysis, expected damage, critical heat load

Sökord:

Brand, riskhantering, Visby, fartygsbrandsläckning, örlogsfartyg, SOFIE, CFD, fältmodell, brandmodellering, FREIA, Monte Carlo-analys, förväntad skada, kritisk termisk belastning

Abstract:

The aim of this report is to evaluate fire risks onboard the Swedish stealth naval vessel Visby. By means of quantitative risk analysis methods including uncertainty analysis with Monte Carlo simulation together with zone model fire simulations, the risk, expressed as probability of component damage, is assessed. Also, a CFD simulation of an accommodation cabin is carried out. Finally the report contains a brief description of the general risk management process used by the Swedish Armed Forces. (Swedish)

© Copyright: Arben Krasniqi, Mikael Andersson, FMV, samt Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2001.

---

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

brand@brand.lth.se  
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60  
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering  
Lund University  
P.O. Box 118  
SE-221 00 Lund  
Sweden

brand@brand.lth.se  
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60  
Fax: +46 46 222 46 12

# SUMMARY

The Swedish navy has ordered five crafts of the Visby class, coast corvettes with the latest stealth technology, from Kockums AB. They are manufactured in a composite material, which provides many technological and marine tactical benefits, but it possess different attributes under fire load than traditional choices of material. This master's thesis presents, as a project founded by The Swedish Defence Material Administration, FMV, an evaluation of the risk conditions concerning the first vessel considering fire risks as well as a discussion in relation to the use of the thesis's results in the risk management process of the Swedish Armed Forces.

The method presented in the work is based on a risk identification method, so called preliminary hazard analysis, which has been carried out in close cooperation with associated parties, Kockums AB, FMV and the Swedish Marine. Through this initial analysis could the fire related risks onboard Visby be identified and estimated. By systematical use of these risks, and by arranging them in a matrix, an overview of the fire risk situation could be presented, from which further dealing and deeper evaluation of the gravest risks could be made. The approach of the more thoroughgoing investigation consisted of two main alignments:

- statistical calculations of expected values of component damage based on deterministic simulations by use of a two zone model as well as,
- assessment of smoke temperatures and heat radiation by CFD-modeling

Furthermore, the area of manual fire fighting onboard marine vessels is discussed. Suggested improvements on the basis of the special prevailing circumstances onboard HMS Visby, are presented.

The analysis is limited to assessment of pure fire risks onboard Visby and only in peacetime, since war actions and weapon induced damage changes the risk situation severely and also alters the acceptance criteria. Furthermore the study is also limited to analyzing personnel safety and operability of vessel, while only discussions regarding economical consequences are made and environmental issues are completely left out. Design and function of extinguishing, ventilation or alarm systems have not been evaluated.

The work shows a relatively low fire related risk level onboard Visby, even though limited damage is expected from a fire regardless of the function of extinguishing systems. The reliance on several active systems and correct human action in high stress situations is considerable, which constitutes a risk of it's own. Additionally, the thesis demonstrates that some fire safety details remain to be analyzed more thoroughly, since some functions are not optimized. If a fire safety system, for any reason, would fail the consequences of a fire would be substantial in forms of personnel safety, ship's operability and economical damage. Thus, the importance of a well functioning training, accident/incident follow up and maintenance organization is emphasized.



# SAMMANFATTNING

Den svenska marinen har beställt fem fartyg av klassen Visby, kustkorvetter med senaste smygteknik av Kockums AB. De tillverkas i ett innovativt kompositmaterial vilket medför stora tekniska och militärtaktiska fördelar men det har annorlunda egenskaper vid brandpåverkan än traditionella materialval. Detta examensarbete presenterar, på uppdrag av försvarets materielverk, FMV, en utvärdering av riskbilden vid det första fartyget med avseende på brandrisker, samt en diskussion kring införlivandet av brandriskhanteringen i försvarets systemsäkerhetsverksamhet.

Metoden som presenteras i arbetet bygger på en riskidentifieringsmetod, så kallad, preliminär riskanalys, som har utförts i nära samarbete med inblandade parter, Kockums AB, FMV och marinen. Genom denna inledande analys har brandriskerna på Visby identifieras och skattas. En systematisk hantering av dessa, i en riskmatris, renderade i en möjlighet att presentera en översiktlig riskbild från vilken vidare hantering och utvärdering de allvarligaste riskerna var möjlig. Tillvägagångssättet för den djupare analysen av utvalda brandscenarier bestod i två huvudsakliga inriktningar:

- statistisk beräkning av förväntad skada på komponenter utifrån deterministiska brandsimuleringar med tvåzonsmodell samt,
- utvärdering av främst brandgastemperaturer genom CFD-simulering.

Vidare diskuteras problematik kring brand och manuell brandsläckning på fartyg. Utifrån de förutsättningar som gäller för brand i fartyg generellt samt speciella omständigheter som råder på HMS Visby ges synpunkter och förslag.

Analysen har begränsats till utvärdering av brandrisker vid bruk av fartyget i fredstid, då krigshandlingar och vapenverkan svårt påverkar riskbilden och acceptanskriterierna. Riskerna har också bara granskats ur synvinkeln personsäkerhet, operationell funktion samt med diskussioner kring ekonomiska konsekvenser, utan hänsyn till miljökonsekvenser. Vidare har inte dimensionering eller funktion av brandsläcknings-, ventilations- eller larmsystem undersökts.

Analysen visar på en relativt låg brandriskbild ombord på Visby, om än begränsade skador av brand är att vänta oavsett släcksystemens funktion. Beroendet av flera fungerande aktiva system och korrekt mänskligt handlande i stressade situationer är dock mycket stort, vilket utgör en risk i sig. Dessutom markerar analysen att vissa detaljer i brandskyddet återstår att undersöka, då funktionen inte är optimal. Om, av någon anledning, släckning inte sker är konsekvenserna av brand stora, när det gäller såväl personsäkerhet, operationella störningar som ekonomiska skador. Därmed poängteras vikten av en fungerande utbildnings-, uppföljnings- och underhållsorganisation.





# FÖRORD

Förutom med blod, svett och tårar har detta projekt genomförts med hjälp av många personer utav vars medverkan intet hade kunnat presteras. Vi som författare är er djupt tacksamma för assistans, praktiskt hjälp, idéer och kritik. Ett stort tack går till:

- Professor Göran Holmstedt vid avdelningen för Brandteknik, LTH
- Doktor Håkan Frantzich vid avdelningen för Brandteknik, LTH
- Magnus Haara vid FMV
- Gert Borg vid FMV
- Per-Erik Isberg vid Statistiska institutionen Lunds Universitet
- Henrik Johansson vid Kockums
- Daniel Gojkovic vid avdelningen för Brandteknik, LTH
- Jörgen Carlsson vid avdelningen för Brandteknik, LTH
- Labbingenjör Sven-Ingvar Granemark vid avdelningen för Brandteknik, LTH
- Verkstads- och servicepersonal på Räddningsverkets skola Revinge

Mikael Andersson och Arben Krasniqi, Lund december 2001



# INNEHÅLL

<b>1. INLEDNING .....</b>	<b>1</b>
1.1. BAKGRUND .....	1
1.2. SYFTE .....	1
1.3. METOD.....	1
1.4. AVGRÄNSNINGAR .....	2
<b>2. BESKRIVNING AV HMS VISBY .....</b>	<b>5</b>
2.1. ALLMÄNT .....	5
2.2. KONSTRUKTION .....	6
2.3. VERKSAMHET .....	7
2.4. BRANDSKYDD .....	7
2.4.1. Brandskydd rum för rum.....	7
2.4.2. Släcksystemens funktion.....	8
<b>3. FARTYGSBRANDSLÄCKNING .....</b>	<b>11</b>
3.1. ALLMÄNT .....	11
3.2. MANUELL SLÄCKNING MED VATTEN .....	11
3.2.1. Vatten som släckmedium.....	11
3.3. FÖRUTSÄTTNINGAR VID BRAND OMBORD PÅ FARTYG GENERELLT OCH PÅ VISBY	11
3.4. BRANDSLÄCKNING OMBORD PÅ FARTYG.....	13
3.4.1. Brand ombord till sjöss.....	13
3.4.2. Brand ombord då fartyget ligger vid kaj .....	14
3.4.3. Slutsatser och rekommendationer för manuell brandsläckning på Visby	14
<b>4. OSÄKERHETER.....</b>	<b>17</b>
4.1. ALLMÄNT .....	17
4.2. OLIKA TYPER AV OSÄKERHETER .....	17
4.2.1. Osäkerheter i resurser .....	17
4.2.2. Osäkerheter i antaganden och beslut .....	17
4.2.3. Osäkerheter i beräkningsmodeller.....	17
4.2.4. Osäkerheter i input .....	18
4.3. OLIKA SÄTT ATT HANTERA OSÄKERHETER.....	18
4.4. OSÄKERHETSHANTERING I ANALYSEN .....	18
<b>5. RISKINVENTERING &amp; SCENARIOVAL .....</b>	<b>21</b>
5.1. GROVANALYS .....	21
5.1.1. Analysens avsikt.....	21
5.1.2. Beskrivning av analysmetoden.....	21
5.2. VAL AV BRANDSCENARIER.....	23
5.2.1. Brand i hytt .....	24
5.2.2. Brand i elapparatur 3 och 5 – kabelbrand eller brand i elskåp .....	24
5.2.3. Brand på lastdäck .....	25
5.2.4. Brand i maskinrum.....	25
5.2.5. Brand i stridsledningscentralen.....	26
5.2.6. Brand på manöverbryggan .....	26

5.3.	SAMMANSTÄLLNING SCENARIOVAL .....	27
<b>6.</b>	<b>SKYDDSMÅL &amp; KRITERIER FÖR BRANDSKYDD .....</b>	<b>29</b>
6.1.	SKYDDSMÅLSKONCEPTET .....	29
6.2.	SKYDDSMÅL HMS VISBY .....	30
6.2.1.	<i>Konkreta parametrar för skyddsmål</i> .....	31
6.2.2.	<i>Termiska skador på människor</i> .....	32
6.2.3.	<i>Termiska skador på elektriska kablar</i> .....	33
6.2.4.	<i>Termiska skador på laminatmaterial</i> .....	34
6.2.5.	<i>Resultat av simulering</i> .....	34
6.3.	ICKETERMISKA SKADOR .....	34
6.3.1.	<i>Allmänt</i> .....	34
6.3.2.	<i>Försök och studier inom området</i> .....	35
6.4.	SAMMANFATTNING SKYDDSMÅL .....	36
<b>7.</b>	<b>BRANDSIMULERING &amp; STATISTISK ANALYS .....</b>	<b>37</b>
7.1.	ALLMÄNT .....	37
7.1.1.	<i>Beräkningsmetodik</i> .....	37
7.1.2.	<i>Datormodellen FREIA</i> .....	38
7.2.	GENERELLA ANTAGANDEN .....	40
7.2.1.	<i>Brandeffekt</i> .....	40
7.2.2.	<i>Släcksystem</i> .....	40
7.2.3.	<i>Ventilation</i> .....	41
7.2.4.	<i>Geometri</i> .....	42
7.2.5.	<i>Defaultvärden till FREIA</i> .....	42
7.2.6.	<i>Komponenter och brand</i> .....	42
7.3.	STATISTISK RESULTATANALYS .....	43
7.3.1.	<i>Förväntad skada vid förenklad metodik</i> .....	43
7.3.2.	<i>Förväntad skada vid Monte Carlo-analys</i> .....	46
<b>8.</b>	<b>HYTT .....</b>	<b>47</b>
8.1.	UPPLÄGG .....	47
8.1.1.	<i>Brandeffekt</i> .....	47
8.1.2.	<i>Släcksystem</i> .....	47
8.1.3.	<i>Ventilation</i> .....	47
8.1.4.	<i>Geometri</i> .....	47
8.1.5.	<i>Valbara värden FREIA</i> .....	47
8.1.6.	<i>Komponenter och brand</i> .....	47
8.1.7.	<i>Sammanfattning scenarioupplägg</i> .....	48
8.2.	RESULTAT .....	48
8.3.	STATISTISK RESULTATANALYS .....	49
8.3.1.	<i>Förväntad skada vid förenklad metodik</i> .....	49
8.3.2.	<i>Förväntad skada vid Monte Carlo-analys</i> .....	50
<b>9.</b>	<b>ELAPPARATRUM 3 .....</b>	<b>53</b>
9.1.	UPPLÄGG .....	53
9.1.1.	<i>Brandeffekt</i> .....	53
9.1.2.	<i>Släcksystem</i> .....	53
9.1.3.	<i>Ventilation</i> .....	53
9.1.4.	<i>Geometri</i> .....	53
9.1.5.	<i>Valbara värden FREIA</i> .....	53

---

9.1.6.	<i>Komponenter och brand</i> .....	53
9.1.7.	<i>Sammanfattning scenarioupplägg</i> .....	54
9.2.	RESULTAT .....	54
9.3.	STATISTISK RESULTATANALYS .....	55
9.3.1.	<i>Förväntad skada vid förenklad metodik</i> .....	55
<b>10.</b>	<b>ELAPPARATRUM 5</b> .....	<b>57</b>
10.1.	UPPLÄGG .....	57
10.1.1.	<i>Brandeffekt</i> .....	57
10.1.2.	<i>Släcksystem</i> .....	57
10.1.3.	<i>Ventilation</i> .....	57
10.1.4.	<i>Geometri</i> .....	57
10.1.5.	<i>Valbara värden FREIA</i> .....	57
10.1.6.	<i>Komponenter och brand</i> .....	57
10.1.7.	<i>Sammanfattning scenarioupplägg</i> .....	57
10.2.	RESULTAT .....	57
10.3.	STATISTISK RESULTATANALYS .....	58
10.3.1.	<i>Förväntad skada vid förenklad metodik</i> .....	59
<b>11.</b>	<b>LASTDÄCK</b> .....	<b>61</b>
11.1.	UPPLÄGG .....	61
11.1.1.	<i>Brandeffekt</i> .....	61
11.1.2.	<i>Släcksystem</i> .....	61
11.1.3.	<i>Ventilation</i> .....	61
11.1.4.	<i>Geometri</i> .....	61
11.1.5.	<i>Valbara värden FREIA</i> .....	61
11.1.6.	<i>Komponenter och brand</i> .....	61
11.1.7.	<i>Sammanfattning scenarioupplägg</i> .....	62
11.2.	RESULTAT .....	62
11.3.	STATISTISK RESULTATANALYS .....	63
11.3.1.	<i>Förväntad skada vid förenklad metodik</i> .....	63
<b>12.</b>	<b>MASKINRUM</b> .....	<b>65</b>
12.1.	UPPLÄGG .....	65
12.1.1.	<i>Brandeffekt</i> .....	65
12.1.2.	<i>Släcksystem</i> .....	65
12.1.3.	<i>Ventilation</i> .....	65
12.1.4.	<i>Geometri</i> .....	65
12.1.5.	<i>Valbara värden FREIA</i> .....	65
12.1.6.	<i>Komponenter och brand</i> .....	65
12.1.7.	<i>Sammanfattning scenarioupplägg</i> .....	65
12.2.	RESULTAT .....	66
12.3.	STATISTISK RESULTATANALYS .....	66
12.3.1.	<i>Förväntad skada vid förenklad metodik</i> .....	66
<b>13.</b>	<b>STRIDSLEDNINGSCENTRAL - SLC</b> .....	<b>69</b>
13.1.	UPPLÄGG .....	69
13.1.1.	<i>Brandeffekt</i> .....	69
13.1.2.	<i>Släcksystem</i> .....	69
13.1.3.	<i>Ventilation</i> .....	69
13.1.4.	<i>Geometri</i> .....	69

13.1.5.	<i>Valbara värden FREIA</i> .....	69
13.1.6.	<i>Komponenter och brand</i> .....	69
13.1.7.	<i>Sammanfattning scenarioupplägg</i> .....	69
13.2.	RESULTAT .....	70
13.3.	STATISTISK RESULTATANALYS .....	71
13.3.1.	<i>Förväntad skada vid förenklad metodik</i> .....	71
<b>14.</b>	<b>MANÖVERBRYGGA</b> .....	<b>73</b>
14.1.	UPPLÄGG .....	73
14.1.1.	<i>Brandeffekt</i> .....	73
14.1.2.	<i>Släcksystem</i> .....	73
14.1.3.	<i>Ventilation</i> .....	73
14.1.4.	<i>Geometri</i> .....	73
14.1.5.	<i>Valbara värden FREIA</i> .....	73
14.1.6.	<i>Komponenter och brand</i> .....	73
14.1.7.	<i>Sammanfattning scenarioupplägg</i> .....	73
14.2.	RESULTAT .....	74
14.3.	STATISTISK RESULTATANALYS .....	75
14.3.1.	<i>Förväntad skada vid förenklad metodik</i> .....	75
<b>15.</b>	<b>CFD-SIMULERING AV HYTTBRAND</b> .....	<b>77</b>
15.1.	FÖRDJUPNINGSOBJEKT .....	77
15.2.	CFD-SIMULERING .....	77
15.2.1.	<i>CFD allmänt</i> .....	77
15.2.2.	<i>Sofie</i> .....	77
15.2.3.	<i>Geometrihantering</i> .....	78
15.2.4.	<i>Preprocessor</i> .....	78
15.2.5.	<i>Solver</i> .....	78
15.2.6.	<i>Postprocessor</i> .....	78
15.2.7.	<i>Osäkerhet i CFD-simulering</i> .....	78
15.3.	GENOMFÖRANDE .....	78
15.3.1.	<i>Scenario</i> .....	78
15.3.2.	<i>Indata</i> .....	79
15.3.3.	<i>Simulering</i> .....	83
15.4.	RESULTAT OCH SLUTSATSER .....	84
<b>16.</b>	<b>VARFÖR RISKHANTERING</b> .....	<b>93</b>
16.1.	ALLMÄNT .....	93
16.2.	VAD ÄR RISK .....	93
16.3.	VAD ÄR RISKHANTERINGSPROCESSEN? .....	93
16.4.	RISKHANTERING INOM FÖRSVARSMAKTEN .....	95
16.4.1.	<i>Utveckling</i> .....	95
16.4.2.	<i>Systemsäkerhet</i> .....	95
16.4.3.	<i>Brandriskanalysens roll i riskhanteringsarbetet</i> .....	96
16.5.	BESKRIVNING AV LEDNINGSSYSTEMET FÖR RISKHANTERING/SYSTEMSÄKERHET INOM FÖRSVARSMAKTEN ENLIGT H SYSTSÄK ..	97
16.5.1.	<i>Ansvar och utgångspunkt</i> .....	97
16.5.2.	<i>Tidshorisont</i> .....	97
16.5.3.	<i>Krav på systemsäkerheten, skyddsmål, acceptanskriterier</i> .....	97
16.5.4.	<i>Olika former av säkerhet</i> .....	98

---

16.5.5.	<i>Arbetsgången för systemsäkerhetsarbetet</i> .....	98
16.5.6.	<i>Arbetsgrupp för systemsäkerhet</i> .....	100
16.5.7.	<i>Systemsäkerhetsplan</i> .....	101
16.6.	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER FÖR RISKHANTERINGEN PÅ HMS VISBY OCH FÖRSVARSMAKTEN.....	101
<b>17.</b>	<b>SLUTSATSER</b> .....	<b>103</b>
17.1.	BRANDRISKANALYS .....	103
17.1.1.	<i>Brand i hytt</i> .....	103
17.1.2.	<i>Brand i elapparatur 3</i> .....	104
17.1.3.	<i>Brand i elapparatur 5</i> .....	104
17.1.4.	<i>Brand på lastdäck</i> .....	104
17.1.5.	<i>Brand i maskinrum</i> .....	105
17.1.6.	<i>Brand i stridsledningscentral</i> .....	105
17.1.7.	<i>Brand på manöverbrygga</i> .....	106
17.1.8.	<i>Förslag till vidare analys</i> .....	106
17.2.	MANUELL BRANDSLÄCKNING.....	106
17.3.	ORGANISATORISKA OBSERVATIONER.....	107
	<b>REFERENSER</b> .....	<b>109</b>
	<b>FÖRTECKNING ÖVER APPENDIX</b> .....	<b>113</b>





# 1. INLEDNING

## 1.1. BAKGRUND

Redan 1986 startades ett utvecklingsprojekt för framtida ytstridsfartyg av Försvarets Materielverk (FMV). Projektet skulle utreda om smygteknik, så kallad stalth-teknik, kunde användas för att skapa en säkrare miljö för fartygen, att ge dem en högre överlevnadsförmåga. Det första fartyg som byggdes i detta projekt var HMS Smyge, vilken presenterades 1991. Hon var också plattform för att testa ny vapenteknologi, sensorer och kommunikation för stealth-tekniken. Denna kunskap låg senare till grund för designen av fartyg nummer två, kustkorvetten HMS Visby. 1993 började HMS Visby ta form.

Visbyprojektet, även kallat Ytstridsfartyg 2000 (YS 2000), är resultatet av ett samarbete mellan Försvarets Materielverk, Kockums, Saab, Försvarets Forskningsinstitut samt Kungliga Tekniska Högskolan. 1995 beslutade Sveriges regering att Visby skulle inskaffas. Fem fartyg är beställda varav det första färdigställs i slutet av år 2001 /31/.

HMS Visby är byggt av speciella kompositmaterial vilket påverkar dess brandtekniska egenskaper. I och med detta har vissa särskilda skyddsåtgärder vidtagits och därför önskar FMV och Kockums att undersöka brandskyddets effektivitet, funktionalitet och riskbilden för brand ombord.

Detta projektarbete, som utförts av studerande med hjälp av personal vid Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, utgör examensarbete vid Riskhanteringsprogrammet samt arbete i kursen problembaserad riskvärdering, PBR, vid Brandingenjörsutbildningen. Examensarbetet utgör avslutning på Civilingenjörsutbildningen i Riskhantering samt Brandingenjörsutbildningen vid LTH.

## 1.2. SYFTE

Syftet med projektet är att utreda riskbilden ombord på Visby med avseende på brandsäkerhet och brandsläckning samt att införliva brandriskhanteringen i riskhanteringsprocessen det vill säga, FMV och Kockums jobb med att göra fartyget brandsäkert. Projektet skall också utmynna i rekommendationer i hur brand skall bekämpas ombord, både manuellt och automatiskt. I detta arbete skall projektet också omfatta noggranna studier av några speciellt utvalda scenarier och utredning av brandsäkerhet och släcksystem för dessa.

## 1.3. METOD

Arbetet kan indelas i ett antal olika delmoment där olika tillvägagångssätt används, utifrån arbetets krav:

- *Riskhanteringsprocessen, problem och målformulering*  
Metoden för denna avdelning var i huvudsak litteraturstudier, samt formulering av problem och projektmål i samverkan med beställaren, FMV.
- *Identifiering av möjliga risker och brandscenarier*  
Här användes en så kallad Preliminär riskanalysmetod, grovanalys, för att

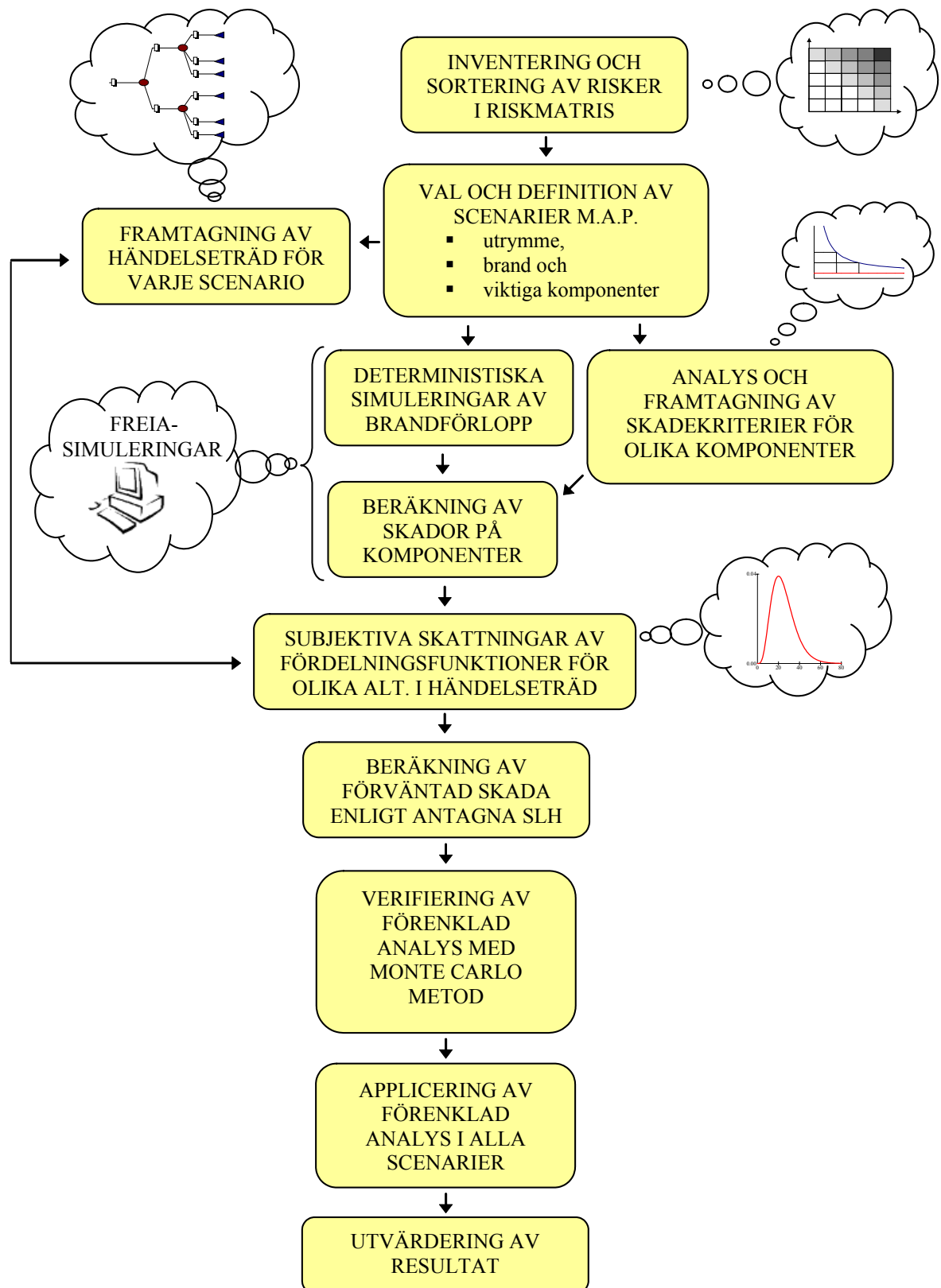
tillsammans med FMV, Kockums och Marinen finna de risker som var oacceptabla eller på annat sätt intressanta att arbeta vidare med. Detta låg till grund för val och struktur av scenarier.

- *Utgångspunkter i skyddsmål*  
Tillsammans med FMV och brukarna av fartyget, Marinen, ställdes kriterier för brandskydd upp, skyddsmål eller acceptanskriterier.
- *Identifiering av brandsläckningsalternativ*  
Med hjälp av litteraturstudier och granskning av material från Kockums identifierades brandsläckningsalternativ för respektive scenario.
- *Utredning av brandscenarier och brandsläckning*  
Med hjälp av brandtekniskt kunnande analyserades de scenarier som tidigare valts. Analyserna bestod i datorsimuleringar i FREIA eller SOFIE, handberäkningar och vissa brandförsök.
- *Resultatanalys*  
Insamlad data från utredningen analyserades vidare, och resultaten jämfördes med de skyddsmål som ställts upp.
- *Risikanalys omfattande känslighets och osäkerhetsanalys*  
För att skapa en helhetsbild över brandriskerna utfördes frekvens- och sannolikhetsutredningar. Med händelseträdanalys och Monte Carlo-simuleringar kunde en samlad bild av brandriskerna och analysens osäkerhet presenteras.
- *Sammanfattning och sammanställning av beslutsunderlag*  
Genom beaktande av insamlade data samt litteraturstudier kunde resultatet sättas i relation till acceptanskriterierna och presentation av en sammanfattande bild av brandriskerna, ett beslutsunderlag för riskhantering, var möjligt.
- *Riskmanagement, införlivande av kunskaperna i företagets riskhanteringsarbete*  
Via litteraturstudier presenterades metoder för att införliva analysens kunskap i riskhanteringsarbetet kring Visby.

En förklaring över huvudanalysens arbetsgång och metodik ges översiktligt av skissen i Figur 1-1.

## 1.4. AVGRÄNSNINGAR

Trots att Visby är ett militärt fartyg har den risikanalys som genomförts på Visby bara beaktat brandrisker. Dessa har också endast granskats ur synvinkeln personsäkerhet, ekonomiska konsekvenser (dock inte kvantitativa) samt operationell funktion. Detta motsvarar inte den helhet som systemsäkerhetsarbetet inom försvarsmakten kräver bland annat med avseende på miljökonsekvenser och detta utgör en begränsning av analysen. Dessutom är analysen helt inriktad på risker vid normal drift och i fredstid. Övriga risker och speciella risker i krigstid är för komplexa att hantera, och värderingskriterierna är helt annorlunda då. De noggrannare analyserna har också begränsningar i och med att de är mycket tidskrävande, därigenom har antalet brandscenarier begränsats. Det är också en begränsande faktor att släcksystemens effektivitet sällan kan bedömas kvantitativt. Det finns i dagsläget inte några enkla och effektiva sätt att modellera släcksystemens inverkan på brand. Ventilationssystemets funktion och styrning vid brand har inte analyserats i den omfattning som är önskvärt. Vidare har inte dimensionering och funktion hos brandsläcknings- eller larmsystem granskats för att verifiera dessa, då en sådan verifiering är ett mycket omfattande arbete och något som kan krävas av systemleverantörerna.



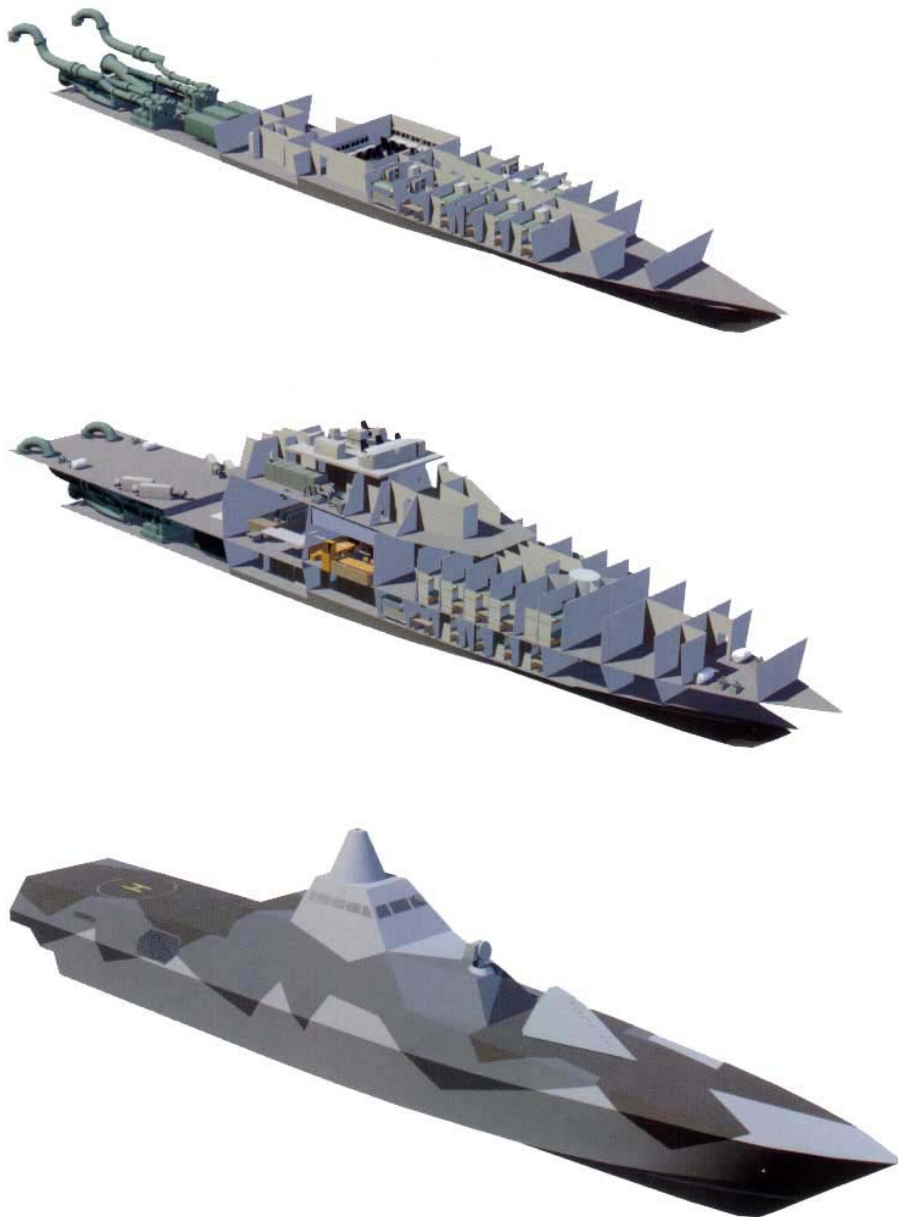
Figur 1-1: Översiktlig illustration över arbetets metodik och arbetsgång.



## 2. BESKRIVNING AV HMS VISBY

### 2.1. ALLMÄNT

HMS Visby är första fartyget i serien av korvetterna av modell YS 2000. Fartyget är ett resultat av FMV:s utvecklingsprojekt för 2000-talets ytstridsfartyg, vilket startade 1986. Fartyget byggs av Kockums AB enligt den senaste tekniken, sandwichkonstruktion av kompositmaterial. Byggandet är revolutionerande också genom att i stället för att det finns en stomme som bärande konstruktion så är alla byggdelar, skott och däck, bärande och stabiliserande. Byggmaterialet är icke-magnetiskt som är en fördel vid minröjningsuppdrag.



*Bild 2-1: Översiktlig bild Visby.*

HMS Visby, se Bild 2-1, är 72 m lång, 10,4 m bred och dess displacement är c:a 600 ton. Dess låga vikt i förhållande till motsvarande stålkonstruktion gör det möjligt att framdrivningen kan göras med mindre kraft och därmed tystare. Framdrivningen görs på två olika sätt beroende på farten:

- med två dieselmotorer vid låg fart, och
- med gasturbiner vid hög fart.

Fartyget byggs enligt så kallad smygteknik för att försvåra möjligheten att upptäckas eller identifieras vid uppdrag. Begreppet smygteknik omfattar allt som minimerar signaturer och signaler för att minska risken för upptäckt. Nedan följer en förteckning över den smygteknik som används på Korvett typ Visby. Dessa resulterar i kortare upptäcktsavstånd och försvårad identifiering som i sin tur ger taktiska fördelar.

### **Radarsignatur**

Alla ytor är plana så att radarvågor inte studsar tillbaka till källan. Skrovutförning och skrovmaterial har optimeras med tanke på radarsignaturen samt att vapen och sensorer placerats bakom luckor, för att minska risken att upptäckas. Dessutom är alla genom skrovet penetrerande utrymmen utförda i radarabsorberande diffuserande material.

### **Hydroakustisk signatur**

Ljudisolerande och tysta motorer ger kortare avstånd till upptäckt.

### **Magnetisk signatur**

Fartyget är byggt av ickemagnetisk material samt all utrustning är icke-magnetisk så långt det är möjligt. Dessutom löper det en magnetslinga runt fartyget för att neutralisera det magnetfält som genereras av utrustningen.

### **IR- och optisk signal**

Fartyget är målat med absorberande färg så att det smälter in i omgivningen. Avgaser och ventilationsutsläppen kyls ner för att inte upptäckas.

### **Röjande Signaler**

Fientlig spaning försvåras med passiva sensorer, riktad sändning, taktisk anpassning etc.

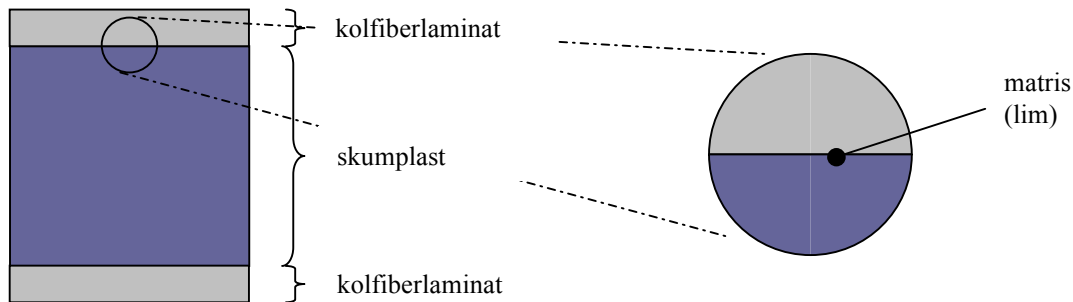
## **2.2. KONSTRUKTION**

HMS Visby är byggt som nämnt med så kallad sandwichkonstruktion, se Figur 2-1, av kompositmaterial. Sandwichkonstruktionen består av två kolfiberlaminatlager på ömse sidor av en kärna av en speciell skumplast med täta celler (Divinycell ®). Kolfiberlaminatet består av flera kolfiberskikt som är limmade med s.k. matris. Vidare limmas kärnan fast till ytorna av kolfiberlaminat och resultatet blir ett material med hållfasthetsegenskaper som motsvarar stål. Sandwichkonstruktionen har flera fördelar jämfört med det klassiska byggmaterialet i båtar:

- betydligt lägre vikt vilket reducerar fartygets totala displacement med ungefär 50%
- icke-magnetisk,

- ingen svetsning behövs, fogar blir jämna och släta och minskar därmed radar-signaturen.

Vidhäftningen mellan kärnan och de ömse delarna av kolfiberlaminat samt vidhäftningen mellan de många kolfiberskikten är avgörande för materialets hållfasthetsegenskaper. Limmet som används är samtidigt den kritiska delen av konstruktionen vid förekomsten av brand. Vid försök, se /15/, visas det att limmet är det mest bidragande delen till sandwichkonstruktionens antändning.



Figur 2-1: Laminatmaterialets konstruktion.

## 2.3. VERKSAMHET

HMS Visby är avsedd för alla sorters uppdrag: minröjning, ubåtsjakt, ytattack, minering, undervattensförsvar och luftförsvar. Fartyget är unikt inom svenska marinen som det första som kan göra alla de ovannämnda uppgifterna med ett och samma fartyg. Besättningen består av 41 man, varav 22 officerare och 19 värnplikliga.

## 2.4. BRANDSKYDD

Fartyget är utrustad med både aktiva släcksystem och med utrustning för manuell brandsläckning. Det finns både ett halotron- (gas) och ett vattensprinklersystem. Besättningen är utbildad för brandbekämpning på fartyg och det finns rutiner för hur eventuell brand skall bekämpas. Fartyget är delat i 23 ventilations- och brandzoner och alla skott och däck är beklädda med någon form av brandskyddande material beroende på verksamheten i angränsande utrymmen. Det handlar om både brandkyddsfärg och mineralullslänkande isoleringar. Icke isolerade skott och däck förekommer bara i några enstaka fall där angränsande rum inte bedöms inneha några brandrisker.

### 2.4.1. BRANDSKYDD RUM FÖR RUM

Ett branddetektionssystem finns i hela fartyget, förutom i vissa tomma utrymmen som tankar och liknande. Systemet är i huvudsak uppbyggt kring fullständigt adresserbara rökdetektorer men i några känsliga fall har de ersatts med värmedetektorer istället, t.ex. i kabyssen. Systemet ger uppgifter om branddetektion för vidare åtgärder, samt ger automatisk utrymningssignal, brandlarm, i hela fartyget.

I hela inredningsavdelningen, hytter och mässerna, har HMS Visby ett dimsprinklersystem installerat. Systemet är av typ HiFog och utlöses med konventionell glasbulb och inte via rökdetektionen. Glasbulben är dock av en snabb

typ, varför RTI, Response Time Index, ligger så lågt som 25, med en aktiveringstemperatur på 57°C enligt tillverkaren.

Stridsledningscentralen innehåller mycket elektronik och modern dator-kommunikationsutrustning etc. Därför finns där gasfyllda handbrandsläckare för punktattack med bajonettkoppling till de pulpeter/elektronikrack med utrustning som kan beröras. Med detta system skall eventuella elektronikbränder kunna hanteras snabbt och direkt utan några stora skador eftersom stridsledningscentralen alltid är bemannad, såvida fartyget inte ligger vid kaj.

De tre maskinrummen är alla utrustade med gasläckningssystem med Halotron som släckmedel. Systemet är ett så kallat total-flooding-system där hela brandrummet inerteras med släckgasen efter aktivering. Detektion sker genom rökdetektorer i taket vilket innebär en mycket snabb detektion och släckning vid mycket låga effekt-utvecklingar. Dock sker aktiveringen av systemet manuellt. I maskinrum 2 finns gasturbinerna vilka nyttjar diesel som bränsle. Generatordieselmotorerna arbetar också med diesel med högt tryck. Trycksatta oljor är tillsammans med eventuella heta ytor en högfrekvent brandorsak ombord på fartyg, varför HMS Visby också har en inkapsling över de flesta heta ytorna samt automatisk punktsläckning innanför inkapslingen, även detta med Halotron. Tyvärr saknar en av generatorerna inkapsling och punktskydd och utgör därför en klar risk i maskinrummet.

På last- och vapendäck finns också släcksystem av en annan typ, nämligen ett sprinklersystem lokalt springklersystem. Systemet täcker bara vissa speciellt känsliga ytor, såsom sprängämnen. Vid detektion som sker med rökdetektorer aktiveras manuellt hela systemet samtidigt. Detta innebär att man vid aktivering får en mycket stor mängd vatten mot branden och som kylning till omgivande ytor.

Ombord på HMS Visby finns naturligtvis utrustning för manuell brandsläckning i form av normal rökdykarutrustning med andningsapparat i tre kompletta uppsättningar för tre rökdykare i varje. Till detta finns även ett släckvattenssystem baserat på två brandsläckningspumpar som levererar 2000 l/min vid 11 bars tryck. Pumparna är dimensionerade på sådant sätt att normalt erforderligt munstryckstryck för brandbekämpning kan fås på alla platser ombord. Det finns även en fristående nödbrandpump.

Övriga utrymmen är i dagsläget i princip utan släcksystem. Detta för att de inte bedöms vara riskområden för brand eller för att en brand där inte anses ge några kännbara skador. För vissa av utrymmena diskuteras behovet av släcksystem i dagsläget.

#### **2.4.2. SLÄCKSYSTEMENS FUNKTION**

De släcksystem som finns ombord på HMS Visby är bland annat HiFog vattendim-sprinkler, Halotron total flooding samt ett vattensprinklersystem med öppna huvuden.

##### **HiFog-system**

HiFog-systemet har vid flertalet oberoende tester visat sig vara effektivt, även i komplicerade utrymmen som en fartygshytt. Till skillnad från vissa andra vattendimsystem nyttjas HiFog-systemet mer som en konventionell vattensprinkler, det vill säga med kontinuerlig vattenpåföring. Dock existerar den diametrala



skillnaden att vattendropparna är av en helt annan dimension än hos traditionella sprinkler och släckeffekten och vattenåtgången blir därefter, i de flesta fall betydligt bättre. Dock har även dessa system svagheter. Vid bränder som är direkt dolda för sprinklersprayen eller på annat sätt skyddade från direkt eller indirekt vattenbegjutning får dimsyste­men svårt att nå branden och släcker då dåligt /9/. Det är också så att fasta bränslen är svårare att släcka än vätskeformiga. Detta beror på att gasfaskylningen blir mycket effektiv genom små droppar, men penetrationsförmågan genom varma gaser blir betydligt sämre varför dropparna har svårt att nå brandhärden. För en poolbrand är gasfaskylningen mer avgörande då en snabbare återkoppling till strålningen från flamman finns, avtar flamman dämpas massavbrinningen också mycket snabbt. För bränder i fasta material däremot är återkopplingen lite långsammare och en sådan brand kräver oftast direkt kylning av brandhärden för släckning. Detta är något som dimsprinklersystem beroende på konfiguration kan vara dåliga på, eftersom de små dropparna har dålig räckvidd i varma gaser.

### **Rumsskydd med Halotron**

Halotron som består av en blandning av flourerade kolväten samt koldioxid släcker genom både en termisk ballast, som ger en kylande effekt samt till viss del även en kemisk påverkan på de sönderdelningsreaktioner som sker i det gasformiga bränslet. Gassläckmedel av den här typen har mer eller mindre goda släckegenskaper beroende på inblandningen i luften. Halotron kräver omkring 9-13 vol% /28/ inblandning för släckning, vilket är relativt lite jämfört med rent inerterande gaser. Även påföringshastigheten kan vara avgörande för lyckad släckning, men det är sällan ett problem med tryckkondenserade gaser, då dessa förvaras under riktigt höga tryck c:a 30 bar och snabbt strömmar ut när munstycken öppnas, under ca 10 sek. En nackdel med gassläckning är att gasen ger ett dåligt återantändningskydd då ventilationssystem och öppnade dörrar kan göra luftblandningen brännbar igen och värme, bränsle och tändkällor kan kvarstå. Slutligen är dimensioneringen av systemet avgörande för en god funktion. Släckande koncentration är en osäker parameter då denna baseras på provningsmetoder med cupburner, metoder som är diametralt olika förhållandet vid rumsskydd /25/. Därför måste en god säkerhetsmarginal nyttjas vid beräkning av erforderlig mängd släckmedel. Samtidigt måste släckmedelsmängden kompenseras för förlust av gas genom utströmning via ventilation eller dörrar. Gaserna skapar ett övertryck i rummet varför normalt en blandning av släckmedel och luft strömmar ut genom tillgängliga öppningar. Övertrycket kan också i sig skapa problem. Om inte tillräcklig tryckavlastning finns kan trycket eventuellt skada strukturer som ventilation, dörrar eller andra tryck känsliga komponenter. Gasen skapar helt enkelt det expansionsutrymme den behöver och förutom strukturskador kan detta leda till att släcksystemet inte släcker som tänkt då nya ventilationsöppningar skapas.

### **Punktskyddande sprinklersystem**

På vapendäck och lastdäck finns ett speciellt punktskydd med hjälp av sprinkler som täcker känsliga områden. Vid detektion, vilket sker med rökdetektorer, utlöses sprinklersystemet manuellt. Detta innebär att man vid detektion får en mycket stor mängd vatten mot branden och som kylning till omgivande ytor. Sådana system är oftast mycket kapabla att släcka bränder den typ av bränder som kan förväntas på dessa däck. Det är mycket snabba bränder, poolbränder eller spraybränder som presterar mer eller mindre momentan maximal effekt. Men även för sådana system finns vissa brister. Om branden är en vätskebrand i en ickepolär vätska kan det vara

svårt att släcka med vatten. Då kan ett tillskott av filmbildande skumvätska eller liknande tillsatser vara en lösning.

**Slutsats släcksystemens funktion**

Oavsett släcksystemens teoretiskt tekniska potential att släcka brand tillkommer några andra mycket viktiga element, mänskligt felhandlande, bristande underhåll, fel dimensionering, organisatoriska misstag etc. Med tanke på dessa problem, som går att hantera men inte undkomma helt, är inget släcksystem tillförlitligt till hundra procent.

## **3. FARTYGSBRANDSLÄCKNING**

### **3.1. ALLMÄNT**

Förutom de aktiva släcksystemen, halotron och sprinklersystem, finns det i fartyget även möjlighet att manuellt bekämpa brand. Personalen är utbildad inom brandsläckning på fartyg och ett nät med flera brandposter placerade på flera ställen finns med både utrustning för vatten- och skumsläckning. Dessutom finns handbrandsläckare, pulver och koldioxid, på olika platser runt fartyget.

### **3.2. MANUELL SLÄCKNING MED VATTEN**

#### **3.2.1. VATTEN SOM SLÄCKMEDIUM**

Vatten är ett effektivt och billigt släckmedel. Effektiviteten beror till stor del på påföringstekniken och droppstorleken. Påföringstekniken och droppstorleken bestäms i stort av munstyckets utformning samt systemets tryck.

Vatten släcker branden genom att kyla flammorna, brandgaserna eller själva brandhärden, eller genom att inertera ett brandrum. Branden slocknar då temperaturen har sänkts så pass att de kemiska processer som definierar brand av inte längre kan fortgå. Den största kyleffekten uppnås genom att vattendropparna förångas när de tar upp värmeenergi från branden. Energiöverföringen sker för det mesta genom konvektion, vilken är proportionell med vattnets yta som påverkas av värmen. Detta betyder att ju större kontaktyta mellan vattnet och branden (varma gaserna) desto mer konvektiv värmetransport till vattendropparna. Detta innebär i sin tur mer förångning av vattnet och därmed större förlust av energi från branden/brandgaserna. För samma mängd vatten blir kontaktytan större om droppstorleken minskas vilket förklarar högre släckeeffektivitet med mindre droppstorlek. Med minskning av droppstorleken begränsas kastlängden vilket betyder att det finns ett minsta värde för optimal släckeeffektivitet och kastlängd. Kastlängd är dock ganska underordnat i de flesta utrymmen på HMS Visby, då dessa är förhållandevis små. Då vatten har en hög förångningsenergi är det med rätt droppstorlek överlägset de många andra släckmedel.

Vatten påförd i sluten stråle har bättre kastlängd men mindre effektivitet då allt vatten träffar en relativt liten yta. Det används alltså mer vatten än vad som behövs. Öppen stråle däremot är effektivare och effektiviteten kan optimeras med droppstorleksändring men har sämre räckvidd.

### **3.3. FÖRUTSÄTTNINGAR VID BRAND OMBORD PÅ FARTYG GENERELLT OCH PÅ VISBY**

Brandens grundläggande dynamik är inte på något sätt annorlunda ombord på ett fartyg än i vanliga civila sammanhang. Därför är också det gängse sättet att angripa en brand på land även användbart för insatser ombord på ett fartyg, dock med vissa speciella hänsyn. Brand ombord på fartyg avviker ändå från vanliga objekt i land. Enligt studie av problematiken från Statens Räddningsverk, SRV /48/ finns följande faktorer som gör brand ombord på fartyg annorlunda än på vanliga objekt i land:

- framkomligheten är begränsad på fartyg
- trånga förbindelsegångar och korridorer
- konstruktionen och materialet som fartyget är byggd av påverkar främst värmeledning och brandspridning
- ventilationssystemet är oftast sammankopplat och därmed kan brandgaser spridas över hela fartyget inom kort tid
- inbördes skrovbeklädnad t.ex. plast, lim, färg som ger upphov till kraftig rökutveckling
- känsligheten i fartygets stabilitet kan påverkas bland annat av stora mängder släckvatten

Jämfört med ett objekt i land är framkomligheten på fartyg begränsad. Det finns t.ex. inte flera alternativa vägar och sätt att angripa branden. Samtidigt finns det begränsningar i form av t.ex. ventilation av brandgaserna för att underlätta släckning och evakuering, evakuering utan att öka möjligheten för spridning av brandgaser etc. Dessutom försvåras framkomlighet till brandrummet med den nödvändiga utrustningen p.g.a. att korridorer och andra förbindelser är trånga. Med andra ord är de konstruktionslösningar som görs och finns på fartyg inte de mest optimala för brandbekämpning.

Konstruktionsmaterialet på fartyg är oftast stål som vid brandpåverkan deformeras och försvagas i hållfasthet. Dessutom kan branden spridas till närliggande utrymmen genom indirekt antändning av material genom värmeledning i stål. Så är inte fallet i Visby då hela fartyget är byggt i kompositmaterial. Kärnmaterialet är mycket isolerande vilket innebär att värmen stängs in. Detta medför att risken för brandspridning genom konstruktionen är liten så vida inte konstruktionen brinner sönder. Brandförloppet påverkas å andra sidan då värmeförlusten genom ledning från brandrummet är liten. Detta kan innebära att övertändning sker tidigare än vad det skulle i motsvarande stålfartyg. Därutöver brinner materialet dåligt. Ytterligare nackdelar med kompositmaterialet är att det är känsligare för brand bortsett från brandskyddsisolering och att skador på kompositmaterialet är mer kostsamma än motsvarande skador p.g.a. brand i fartyg byggda av stål.

Ventilationen är normalt sammankopplad i hela fartyget vilket vid speciella omständigheter kan sprida brandgaserna och fylla stora delar av fartyget med rök. Till exempel vid kraftiga bränder kan trycket från branden ändra ventilationsförutsättningarna och därmed sprida rök till övriga utrymmen. I HMS Visby är inte detta fallet, utan sektionering förekommer i 23 olika brand- och ventilationszoner. Dock är möjligheterna att styra ventilationen rum för rum aningen begränsad då separata spjäll saknas. Detta kan leda till baklänges rökspridning via ventilationssystemet om en brand skapar ett större tryck än ventilationen ger vid den punkten. Därför rekommenderas att rökdetektion i vissa centrala ventilationskanaler undersöks, för att i tidigt skede hinna undvika rökspridning genom ventilationssystemet genom att styra flödet.

Skrovbeklädnad har stor påverkan på mängden och innehållet i brandgaser som utvecklas vid brand. Plast och färg material som förekommer ombord på fartyg kan ange stora mängder brandgaser som påverkar säkerheten på minst två sätt: siktförsämringen och toxiciteten. Förekomsten av sådana material är begränsad

ombord på Visby jämfört med andra fartyg, då utseendemässiga detaljer har minimerats.

Vid släckning av brand måste hänsyn till fartygets stabilitet tas. För stora mängder släckvatten kan rubba balansen och därmed innebära konsekvenser för fartygets stabilitet d.v.s. att fartyget kantrar. System för ledning och pumpning av vattnet ut från fartyget bör finnas och detta är fallet i Visby.

### **3.4. BRANDSLÄCKNING OMBORD PÅ FARTYG**

Kombinationen av de faktorer som nämns i avsnittet ovan gör att varje fartyg utgör ett speciellt riskobjekt. Insatser på fartyg klassas som ”högrisk miljö” i kommunal räddningstjänst och detta har att göra med långa insatstider som beror på svår framkomlighet samt långa och trånga angrepsvägar.

De insatser som görs av egen personal klassas inte på samma sätt då vissa omständigheter är underlättande. Insatstiden är relativt kort då personalen är ombord och har god kännedom av utrustningen, organisationen, släcksystemet och planlösning. Därmed kan branden bekämpas i ett tidigare skede. Utbildningen i brandskydd tränar personalen bland annat i att genomföra brandbekämpning i trånga utrymmen, igångsättande av snabba insatser och för andra speciella omständigheter som är speciella för brand på fartyg.

I litteratur om räddningstjänst och räddningsinsatser talas det ofta om räddningstaktik och teknik. Med räddningstaktik menas allt som har med organisationen samt övergripande tillvägagångssätt för att genomföra en räddningsinsats att göra. I kommunal räddningstjänst talas det om fyra taktiska huvudinriktningar. De är (1) livräddning, (2) stoppa skadeorsaken d.v.s. släck branden, (3) begränsning av skada och slutligen (4) fördröjning av skadeutveckling. Teknik handlar också om hur man utför detta men i mera detaljerad form. Exempelvis kan kanske livräddning göras på flera olika sätt genom att utrymma de utsatta från brandrummet eller genom att säkerställa att förhållandena i brandrummet är acceptabla. Generellt kan det sägas att den taktik och teknik som skall tillämpas beror på den aktuella situationen som råder då brand uppstår. Ur taktik- och tekniks synvinkel finns det två situationer vid brand ombord på Visby:

- brand ombord till sjöss
- brand ombord då fartyget ligger vid kaj

#### **3.4.1. BRAND OMBORD TILL SJÖSS**

Effektiv och lyckad släckning av oönskad brand ombord beror på flera faktorer, bland annat tid till insats, val av släckmedel, släckteknik osv.

Brandens uppkomst då fartyget är till sjöss innebär att vakt- och brandpersonal finns ombord och att upptäckt och därmed tid till påbörjad insats är relativt kort. Konsekvenserna vid misslyckad insats är däremot stora speciellt med hänsyn till operabilitet och militärtaktiska faktorer samt de kostnader som skador på kompositmaterial innebär. Det är därför viktigt att brand upptäcks snabbt och kan bekämpas i inledningsfasen av brandförloppet då chansen är större att lyckas och kräver mindre släckpersonal. Det finns begränsningar i personal som kan släcka

branden vilket medför att tidskrävande och avancerade insatser kräver planering i förväg.

Tiden till dess att branden börjar bekämpas, som nämns ovan, är väldigt avgörande för släckinsatsen. Branden börjar med en liten effektutveckling som i efterhand växer med stor kraft, t.ex. kvadratisk. Med växande brandeffekt ökar temperaturen i rummet och därmed ökar värmetransporten till övriga delar i rummet som i sin tur pyrolyserar brännbara gaser. Ju mer av dessa gaser som brinner desto mer energi utlöses och mer brännbart material pyrolyserar till dess att allt brännbart material i rummet antänder d.v.s. övertändning inträder. Övertändningsstadiet skall om möjligt på alla sätt undvikas eftersom branden då är stark och därmed svårsläckt, samt att extensiva skador fås på i stort sett alla komponenter i brandrummet. Ju tidigare branden upptäcks och börjar bekämpas desto mindre insats krävs det. Ett rum som är nästan övertänt kräver däremot mycket av släcksystemet eller personalen.

Tiden till insats beror i sin tur på tiden tills branden upptäcks adderat med tiden tills personalen är redo att börja släckningen. Tiden till upptäckt beror på det detektionssystem som finns på anläggningen i vårt fall fartyget. Tiden från upptäckt/larm tills insatsen påbörjas beror bland annat på utbildning och övning. Utbildning, övning och erfarenhet med att bekämpa branden på fartyg gör det hela lättare detta innebär arbete i trånga utrymmen och begränsade angreppsvägar osv.

#### **3.4.2. BRAND OMBORD DÅ FARTYGET LIGGER VID KAJ**

Då fartyget ligger vid kaj finns det vaktfunktion, huruvida denna finns i närheten av fartyget eller ej är avgörande för insattiden och i sin tur för brandkonsekvenserna. Verifiering av brand ombord dröjer betydligt om vaktposten inte finns ombord på fartyget. Tiden från upptäckt till dess att insatsen påbörjas blir hursomhelst mycket lång då brandpersonal inte är omedelbart tillgänglig. Ytterligare en variabel som kan påverka insattiden är organisationen då fartyget ligger vid kaj. Beroende på vilken hamn fartyget ligger i kan olika organisationer för brandsläckning vara aktuella. Den kommunala räddningstjänsten har i vanliga fall ansvaret inom civila hamnområden, militära anläggningar kan ha egen organisation. Detta innebär att jämfört med att ha egen brandstyrka ombord som i fallet då fartyget är till sjöss, ingår fartyget i den mängd objekt som delar räddningsorganisationens tjänster och uppmärksamhet.

En insats från kommunalräddningstjänsts sida kräver planering för det samarbete som behövs för en lyckad insats. Samarbetet är allt från överföring av information om var brandens är, till angreppsvägar samt speciella risker och omständigheter som räddningspersonalen behöver känna till vid insats. Tiden är knapp vid sådana situationer vilket tyder på att samarbete och planering i förväg är nödvändigt.

#### **3.4.3. SLUTSATSER OCH REKOMENDATIONER FÖR MANUELL BRANDSLÄCKNING PÅ VISBY**

Huvudanalysen i denna rapport visar på vikten av snabb släckning. Det är inte möjligt att klara komponenter och system i brand om man inte kan släcka mycket snabbt. Men det är också troligt att den manuella insatsen har möjlighet att vara effektiv och snabb då detektionssystem finns i hela fartyget. Speciellt genom snabb detektion kan bränder upptäckas tidigt och förhoppningsvis släckas med enklast möjliga medel, närmaste handbrandsläckare. Följden av detta är att träning av personalen i just hantering och optimering av handbrandsläckarnas kapacitet är grundläggande.

Som taktisk inriktning bör energi och effektivitet läggas på det som är viktigt vid brand på HMS Visby. Till exempel innebär de isolerande materialen att någon kylning av däck eller skott inte behövs. Snarare indikerar HMS Visbys system att brand skall stängas inne, ventilationen skall styras optimalt med avseende på brandgasspridning och ventilationssystemets kapacitet, och branden skall, om möjligt, angripas med icke konfronterande angreppssätt. Det senare indikerar värdet av skärsläckare eller dimspik. Båda systemen innebär att en släckande funktion kan uppnås utan att mer syre tillförs branden samt att minimal spridningsrisk åstadkoms. Skärsläckaren verkar vara ett optimalt verktyg för en sådan applikation om vissa systemmodifikationer kan göras /15/. Användandet av dimspik är ett effektivt sätt att bekämpa brand, men det är också ett materialförstörande sätt. Det är även viktigt att rätt punkter för applicering utvärderas i förväg, med eventuell märkning. För att ha en uppfattning om hur det skulle fungera i praktiken med att få dimspik igenom kompositmaterialet har ett enkelt försök genomförts, se APPENDIX M. Försöket visar att det är svårt, för att inte säga omöjligt, att hamra en dimspik genom tjocka laminatstrukturer. Slutsatsen är att det verkar vara bäst att borra hål med t.ex. bärbar bormaskin för att överhuvudtaget få dimspiken igenom kompositmaterialet, särskilt genom kolfiberskiktet på brandutsatta sidan. Detta för att minska skadorna på materialet och säkerställa spikens funktion.

Taktisk inriktning tydliggörs i stor utsträckning av följande citat; ”Inriktningen vid brandbekämpning ombord är att främst utnyttja det strukturella brandskyddet och använda de fasta släcksystem som finns ombord.” /48/. Detta torde vara speciellt viktigt på Visby då värmeledningen mellan utrymmena är minimal och flera fasta släcksystem finns. Brandspridning genom värmeledning kan bara tänkas vid genomföringar och då blir en av de taktiska slutsatserna att bevaka och eventuellt kyla dessa vid behov. Detta torde inte vara ett taktiskt problem då örlogsfartyg normalt är bemannade med betydligt större besättningar än civila fartyg.

I tidskriften MarinNytt, /51/, sägs att personalen tidigare har tränats i släckmetoder som indirekt och direkt släckning, numera tränas de i brandsläckning genom rökgaskylning, en betydligt bättre metod. Indirekt släckning av brand är då man genom att gjuta väggar med vatten så att det förångas och därmed släcker branden. Rent taktiskt är det förnuftigt att inte utsätta personer för extrema situationer vid brand eller brandsläckning. Indirekt släckning är ett delvis förlegat begrepp som egentligen skapar problem för brandmän i trånga fartygsomgivningar. Då de trånga utrymmena kräver att brandmännen kommer nära in på branden, är det viktigt att rätt släcktaktik används för att inte släckande personal skall skadas. Nyttjas indirekt släckning i ett utrymme med mycket höga temperaturer på väggar och omgivning kommer väldiga mängder vattenånga att bildas, vilket i och för sig har en god släckande effekt, men också kan ge svåra brännskador på den som befinner sig i rummet. De trånga miljöerna gör det helt enkelt svårt att både släcka och samtidigt befinna sig nära branden. Därför är det viktigt att tänka på att i träningen av brandgaskylning besättningen lär sig att hantera utrustningen så att det inte innebär vattenbegjutning av väggar och tak. Avstånden till omgivande ytor är oftast mycket kort och trots nyttjande av dimmunstycke når vattnet oftast dessa areor. Svårigheterna med detta pekar på hur effektiva metoder där släckning kan ske utan att direkt konfrontera branden kan vara, som nämns ovan. En annan viktig taktisk synpunkt är att inte störa

eventuella fasta släcksystems funktion, t.ex. att inte öppna dörrar eller ventiler ut ett inerterat gassläcksystem.

Vattensläckning är mycket effektivare desto mindre droppstorlek som nyttas. På fartyget är utrymmen generellt sett trånga, varför kastlängd i de flesta fall är en underordnad parameter. Temperaturerna vid en brand kan förväntas vara höga, då väggarna är isolerande. Därför kan slutsatsen dras att manuell brandbekämpning bör optimeras kring lätta insatser med stor kapacitet av släckning, inte kastlängd. Detta pekar på ett system med finfördelat vatten, t.ex. ett så kallat högtryckssystem. Alternativt kan en snabb och lätt släckstyrka med pulverinsats övervägas /2/. Kapaciteten på handbrandsläckarna ombord HMS Visby har utretts, se APPENDIX E, varvid de står klart att de, rätt använda, är mycket effektiva. Utbildas personalen att nyttja dessa optimalt är mycket vunnet i det manuella brandskyddet.

Slutligen är det mycket viktigt att samarbetet med utomstående räddningsorganisation sker effektivt enligt förberedda planer. Ett förberett korrekt och snabbt informationsflöde är avgörande för en lyckad insats.



## 4. OSÄKERHETER

### 4.1. ALLMÄNT

Ingen ingenjörsmässigt genomförd analys är en perfekt avbild av verkligheten utan dras alltid mer eller mindre med felaktigheter eller stokastiska variationer. Därför är en mycket viktig del i en utredning av detta slag hanterandet av osäkerheter. Att och hur osäkerheter hanteras kan vara avgörande för reliabiliteten och därmed värdet av analysen som helhet, speciellt om analysen skall ligga till grund för framtida beslut eller vägval.

### 4.2. OLIKA TYPER AV OSÄKERHETER

Osäkerheter finns på olika nivåer i analysen och respektive nivå påverkar analysresultatet i varierande omfattning. De måste också behandlas på olika sätt. Osäkerheterna kan indelas i följande fyra klasser /33/:

- Osäkerheter i resurser
- Osäkerheter i antaganden och beslut
- Osäkerheter i beräkningsmodeller
- Osäkerheter i input (indata)

Dessa olika klasser är hierarkiska, d.v.s. uppifrån och ner beskriver de hur generella osäkerheterna är.

#### 4.2.1. OSÄKERHETER I RESURSER

Osäkerheter i resurser omfattar sådant som projektdefinition, krav, tids och kostnadsresurser, men även rutiner, policy och kvalitetssäkringssystem, d.v.s. ett brett och generellt spektra. Just resursosäkerheternas generalitet och omfattning kan påverka analysresultatet i mycket stor utsträckning. Dessa osäkerheter är också mycket svåra för den enskilde ingenjören att påverka. De är snarare en konsekvens av lednings styrning och upphandling av analys. Osäkerheter av denna typ, hanteras vanligen med lednings- och kvalitetssystem eller liknande.

#### 4.2.2. OSÄKERHETER I ANTAGANDEN OCH BESLUT

På denna nivå finner vi osäkerheter som kommer från de antaganden och beslut man tagit om och kring analysen. I vårt fall kan nämnas osäkerheter som val av viktiga brandscenarier eller beslut kring val av analys- och beräkningsmetoder. Inte heller dessa osäkerheter kan behandlas kvantitativt utan skall minimeras genom systematik eller användandet av en beslutad policy vid dessa val. Ett vanligt sätt är att hantera osäkerheter i antaganden är att låta granska dem noggrant av många. Det är kutym i den akademiska/vetenskapliga världen.

#### 4.2.3. OSÄKERHETER I BERÄKNINGSMODELLER

Modeller som används vid simuleringar eller beräkningar redovisar aldrig en absolut sanning utan är alltid mer eller mindre bra approximationer av ett förlopp. Osäkerheter i modeller är på en nivå som går att hantera av den enskilde ingenjören. Modeller kan t.ex. verifieras mot försöksdata eller mot andra redan vetenskapligt

vedertagna modeller. Dock bör nämnas att osäkerheterna i modellen som sådan är liten i jämförelse med osäkerheterna i antaganden som simuleringen byggs på /33/. Dessutom kan osäkerheter komma ur applicerandet av en modell utanför dess giltighetsområde, t.ex. en tvåzons brandmodell i ett högt rum med svag brand. Detta undviks dock genom kunskap om modellens giltighetsområde.

#### 4.2.4. OSÄKERHETER I INPUT

De indata som används till beräkningsmodellerna är i många fall en källa till osäkerheter, dock är dessa relativt små i jämförelse med ovan nämnda. Väldigt sällan vet man på förhand vad som kommer att brinna och exakt hur, d.v.s. man har osäkerheter orsakade både av stokastisk natur (slumpmässig variation) samt bristande kunskaper. Men osäkerheter i input går att hantera kvantitativt förutsatt att en uppfattning om det möjliga omfånget på variationen finns. Till exempel kan Monte Carlo-simulering användas för att fortplanta osäkerheterna genom analysen /23/. Det senare kräver dock en total och explicit kvantifiering av alla modeller och variabler som används.

### 4.3. OLIKA SÄTT ATT HANTERA OSÄKERHETER

Beroende på analysens vikt och värdet av noggrannhet behandlas osäkerheter på olika sätt. I den hierarkiska ordning som givits ovan är osäkerheterna vanligtvis lättare att hantera längre ned på skalan, d.v.s. det är enklast att behandla osäkerheter i indata. Paté-Cornell /39/ beskriver sex olika nivåer att hantera osäkerheter på. Lite förenklat kan de beskrivas med;

0. Riskidentifiering – utan hänsyn till osäkerheterna
1. Värsta fallet hantering av riskerna – att finna mycket konservativa scenarier, ingen hänsyn tas till sannolikhet.
2. Värsta troliga fallet hantering av riskerna – att finna troliga konservativa scenarier.
3. Dimensionerande skadefall – att använda sig av ett troligt medelvärde, ett dimensionerande skadefall.
4. Probabilistisk kvantitativ riskanalys utan redovisning av osäkerheter – osäkerheter beaktas men redovisas inte fullt ut i resultaten.
5. Probabilistisk kvantitativ riskanalys med redovisning av osäkerheter – osäkerheter beaktas och redovisas fullt ut i resultaten.

Att noggrant behandla osäkerheter är en mycket tidskrävande process. Dessutom är den nivå detta kan göras på oftast ”osäkerheter i indata”, en nivå där variationen egentligen har relativt liten inverkan på analysens totala resultat. Men, vilket har beskrivits ovan, det är också på denna nivå som ingenjörens kvantitativa verktyg för hantering av osäkerheter finns varför ofta mycket tid läggs på detta. Värdet av så pass detaljerade osäkerhetsbestämningar på den lägsta hierarkiska nivån, nivå 0, kan ifrågasättas. Men trots allt är sådana analyser bra sätt att kvantitativt hantera osäkerheter i indata, kanske då de andra bara kan diskuteras kring.

### 4.4. OSÄKERHETSHANTERING I ANALYSEN

Hur hanteras då osäkerheter i denna analys? För osäkerheter i resurser har inga säkerhetssystem använts. Istället har flertalet diskussioner och funderingar försökt sörja för en maximering av träffsäkerheten i val av analysområde, d.v.s. definitionen av projektet som sådant.

Osäkerheter i antaganden och beslut är också en mycket svårhanterlig bit. Med tanken att minimera felaktiga val genom att alltid använda granskade system, d.v.s. flera instanser eller personer som tycker till om valen, har dessa osäkerheter behandlats. Till exempel för osäkerheter inom val av scenarier har en grovanalysmetod använts, i vilken en expertgrupp tillsammans finner de största riskerna. Detta minskar osäkerheterna i scenariovalet i jämförelse med om detta hade gjorts helt på egen hand. Antaganden som ligger till grund för vidare simuleringar har också diskuterats med flera kunniga personer innan de använts. En grundläggande osäkerhetsstrategi kan vara nyttig här.

En blandning av nivå 3, dimensionerande skadefall, och nivå 4, en delvis probabilistisk kvantitativ riskanalys har använts i denna analys. Dessutom redovisas alla de antaganden som gjorts så att läsaren av denna rapport själv skall kunna skapa sig en uppfattning om medföljande osäkerheter. Utöver detta har känslighetsanalyser utförts för att åtminstone finna de parametrar som påverkar resultatet mest.

Osäkerheter i modeller kan knappast undvikas, men osäkerheterna kan minimeras genom att finna någorlunda tillförlitliga modeller. I denna rapport har strategin att bara använda redan vetenskapligt granskade och verifierade modeller valts. I den mån egna modeller har tagits fram har också dessa granskats av utomstående och inom området kunniga personer.

För osäkerheterna i indata har flera olika metoder använts. Dels har känslighetsanalys använts för att peka på vilka parametrar som påverkar resultatet mest och därmed visa osäkerheter i valet av denna parameter. Dels har osäkerhetsanalys med Monte Carlo-simulering använts i vissa speciella fall för att fortplanta osäkerheter hela vägen från indata till resultat och visa spridningen däri. Osäkerhetsanalysen har bara utförts i ett scenario och då använts som en verifiering av en enklare metodik utan spridningsbestämning. I de fall där känslighetsanalys på indata inte genomförts har oftast ett resonemang förts och konservativa indata valts, för att alltid hålla analysen på den säkra sidan. Detta motsvarar osäkerhetshantering på nivå 2, men det har bara använts i vissa fall.



## 5. RISKINVENTERING & SCENARIOVAL

Det första steget vid projektets start innebar att identifiera och inventera eventuella brandrisker ombord på HMS Visby samt att kategorisera och rangordna dessa, (för en inblick i riskhanteringsprocessen och grundläggande metod se kapitel 16.3). Detta har gjorts med en metodik som kallas grovanalys eller preliminär riskanalys.

### 5.1. GROVANALYS

#### 5.1.1. ANALYSENS AVSIKT

Analysens mål var att identifiera speciellt sannolika eller konsekvensmässigt farliga brandscenarier på HMS Visby för vidare behandling. Syftet med analysen var att minska osäkerheten vid vidare analys såsom val av brandscenarier.

#### 5.1.2. BESKRIVNING AV ANALYSMETODEN

Analysmetoden var en så kallad preliminär riskanalys eller grovanalys. Denna är i stort sett ett strukturerat sätt att ”brainstorma” kring de risker och riskbilder som finns för fartyget. Den information och de kompetenser som samlats används för att finna speciella risker. Representanter från olika håll som är inblandade i byggprocessen/objektet eller senare i användningen av fartyget uppskattar riskerna och dessa rangordnas för analys.

#### **Omfattning**

Analysen omfattade endast brandrisker med avseende på konsekvenser för personsäkerhet och operativa störningar.

#### **Avgränsning**

Ett visst antal grupper, för vilka man bara gör en sammanlagd analys, skapades för att minska omfattningen på analysen. Alla utrymmen med liknande problem sammanfattades i en utvärdering, alla hytter drogs till exempel över en kam då svårigheterna ansågs vara desamma i dem.

#### **Skala för konsekvens- och sannolikhetsuppskattningar**

Följande skala, Figur 5-1, användes för uppskattning av konsekvens och sannolikhet, dock bara i orienterande syfte. Fokus sattes på relationerna mellan de olika konsekvenserna snarare än att med kvantitativa termer beskriva en riskbild.

#### **Riskkriterium**

Den expertgrupp som genomförde analysen bestod bland annat av personer som senare skulle bruka fartyget på ett eller annat sätt. I och med detta var det av stor vikt att de fick möjlighet att säga till om vad som var acceptabelt eller inte för människor och fartygets säkerhet. Frågor som ställdes var följande: Finns det någon intuitiv känsla för vad vi får tillåta en brand att göra ombord på fartyget? Vad kan vi inte tillåta? Vilka rum och funktioner får inte slås ut? Utifrån frågorna erhöles en kvalificerad bedömning utav experterna på respektive utrymme just kring eventuella känsliga och särskilt viktiga komponenter.

<b>Skala för guidning till konsekvens- och sannolikhetsuppskattning</b>	
Konsekvens – personsäkerhet	
Klass	Karaktär
1. Små	Övergående lindriga obehag
2. Lindriga	Enstaka skadade, varaktiga obehag
3. Stora	Enstaka svårt skadade, svåra obehag
4. Mycket stora	Enstaka dödsfall, flera svårt skadade
5. Katastrofala	Flera dödsfall, 10-tals svårt skadade
Konsekvens – operationella störningar	
Klass	Karaktär
1. Små	Stör inte fartygets operation nämnvärt
2. Lindriga	Stör fartygets operation till viss del
3. Stora	Stör fartygets operation till stor del
4. Mycket stora	Stör fartygets operation till mycket stor del
5. Katastrofala	Fartyget kan inte alls användas, obrukbart
Sannolikhet	
Klass	Frekvens
1. Osannolik	Mindre än 1 gång per 1000 år
2.	1 gång per 100-1000 år
3. Sannolik	1 gång per 10-100 år
4.	1 gång per 1-10 år
5. Mycket sannolik	Mer än 1 gång per år

Figur 5-1: Skala för konsekvens- och sannolikhetsuppskattning.

## Genomförande

Analysen genomfördes enligt följande ordning:

1. Identifikation av skadehändelse.
2. Finns rimliga orsaker?
3. Bedömning av konsekvens.
4. Vad har redan gjorts för att undvika eller minska risken?
5. Ställningstagande; kan vi tolerera detta eller kvävs åtgärder? Är detta förenligt med vårt riskkriterium?
6. Eventuella rekommendationer till åtgärder.

## Hjälpprågor för analysen

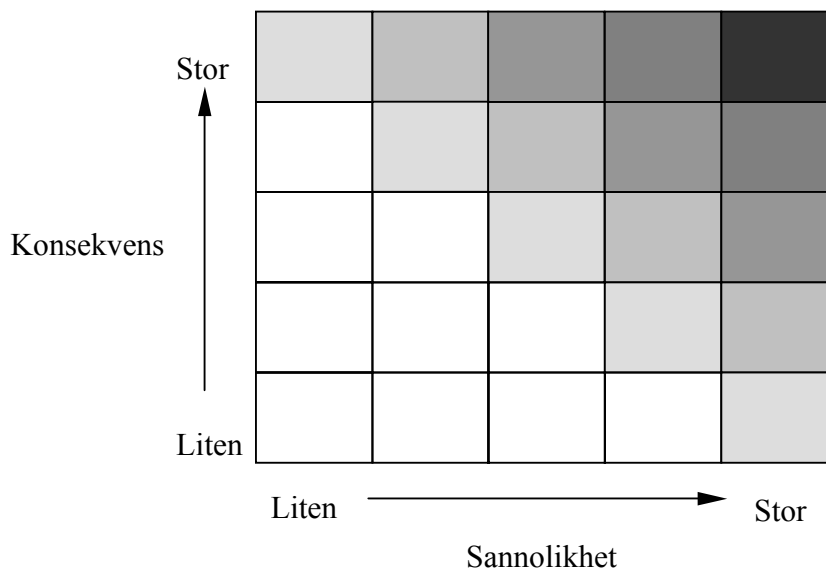
Följande frågor användes under analysen i hjälpande och orienterande syfte för de personer som var ovana att tänka i termer av brandproblematik.

- Finns det några tändkällor?
- Hur stor är brandbelastningen (i detta rum, närliggande rum)?
- Föreligger spridningsrisk?
- Vad kan gå fel (aktiva, passiva system)?
- Finns det larmsystem/personal? När finns inte detta?
- Vilka skillnader kan man förvänta sig vid kaj, underhåll/repairation och till sjöss?

### Sammanfattning

Utifrån analysens resultat har några speciellt intressanta eller farliga scenarier sammanställs för vidare analys.

Resultatet av analysen redovisas i en riskmatris där olika scenarier/fall graderas med avseende på sannolikhet och konsekvens, se exempel i Figur 5-2. Beroende på uppskattad konsekvens och sannolikhet placeras fallen i matrisen. Det är viktigt att analysera de fall som tenderar att hamna högre upp till höger i matrisen d.v.s. där skuggan blir mörkare i nedanstående figur. Riskmatrisen med tillhörande utvärderade risker redovisas i 0.



Figur 5-2: Riskmatris där ökande grad av skuggning betyder ökande behov av djupare analys.

## 5.2. VAL AV BRANDSCENARIER

Vid grovanalysen närvarade Magnus Haara FMV, Gert Borg FMV, Henrik Johansson Kockums AB, Björn Alba PTK (Provturskommandot Visby) samt författarna av arbetet. Resultatet av analysen utmynnade i en riskmatris som låg till grund för urval av ett antal scenarier vilka har en kombination av hög konsekvens och relativt hög sannolikhet, 0. Hyttbranden representeras i matrisen av relativt låga kombinationer av sannolikhet och konsekvens. Trots detta har hyttbranden valts ut, med den enkla motiveringen att den är i princip det enda fallet där eventuell fara för människoliv föreligger då besättningen finns sovande där. I vissa fall har analysen skapat några liknande scenarier i samma utrymme. Dessa har slagits samman och hanterats som ett enda scenario med varierande brandeffekter. Nedan redovisas och beskrivs de utvalda scenarierna:

- Hyttbrand – brand i inredning
- Brand i ELA 3 (elapparat rum) – kabelbrand
- Brand i ELA 5 (elapparat rum) – kabelbrand
- Brand på lastdäck - hydrofonvätska
- Brand på lastdäck – spraybrand, hydraulvätska
- Brand i maskinrum - spraybrand, hydraulvätska

- Brand i maskinrum - spraybrand, diesel
- Brand i SLC (stridsledningscentralen) - brand i elektronik
- Brand i MB (manöver bryggan) - brand i elektronik

### 5.2.1. BRAND I HYTT

Detta scenario analyseras efter önskemål från FMV:s sida trots att scenariot vid grovanalysen inte fick avsevärt hög sannolikhet eller konsekvens. Förklaring till detta kan vara att det vid riskanalysen tänktes till stor del i termer av konsekvenser på själva fartyget d.v.s. konstruktion och utrustning och följdkonsekvenser därav. Men hytt är det enda stället där det är troligt att besättning utsätts för brand. Utrymning kan dröja om besättningen sover och de kritiska nivåerna kan uppnås då utrymmen är små.

Inredningen i en hytt är ett antal sängar med respektive sängkläder samt andra möbler till stor del av balsaträ. Materialet i rummet är flamskyddat vilket skall försvåra antändning eller snabb spridning av eventuell brand. När branden kommer till en viss nivå antänds även det skyddade materialet. Dessutom är det små utrymmen som används av flera personer vilket betyder att kläder kan finnas upphängda eller lagda på sängar o.s.v. Detta ökar brandbelastningen med gynnande omständigheter för brand som t.ex. tillgången av syre till ett upphängd klädesplagg. Som möjliga antändningskällor kan vara t.ex. tygmateriel - kudde, kläder - i närheten av en lampa, olovlig rökning, överhettat värmeaggregat eller liknande.

Kritiska komponenter

- Konstruktionen d.v.s. laminatmaterialet
- Människa, mänsklig hud

### 5.2.2. BRAND I ELAPPARATRUM 3 OCH 5 – KABELBRAND ELLER BRAND I ELSKÅP

I ELA 3 och ELA 5 finns det elektronik, styrsystem, kablage samt elskåp för reglering av fartygets starkströmskrets. Dessa två rum är utrustningsmässigt likvärdiga. Den fysiska placeringen och geometrin skiljer sig däremot åt. Därmed behandlas och analyseras de på liknande sätt och med samma antaganden. Brandkällan kan vara en kortslutning i ledningarna eller bortfall av kylning i el-skåpen.

Brandbelastningen består i huvudsak av kablar och elektronikanordningar d.v.s. plastmaterial. Detta betyder att vid en brand är effektutvecklingen troligtvis långsam och om inte branden sprids till närliggande kablar och anordningar blir troligtvis skadorna av icketermisk art p.g.a. brandgasernas fysiska påverkan på elektronik. Modern digital elektronik är mycket känsligt för brandgaser då frigjorda halogengaser ger upphov till korrosion samt att sotpartiklar skapar bryggor i kretsarna och därmed orsakar kortslutningar och överledningsfenomen. Detta ger temporära såväl som permanenta skador främst beroende på mängd rök /27/, se kapitel 6.3. Dock kan skador på elektroniken ha stora konsekvenser för användning och styrning av fartyget. Slås ELA 3 ut fullständigt innebär detta att hela akterskeppet blir utan starkström. Och nästan lika illa går det om ELA 5 slås ut, då detta försörjer manöverbryggan och många styrsystem därifrån. Om branden inte släcks eller kontrolleras kan temperaturen och den termiska strålningen uppnå kritiska nivåer för övrigt material som kablar eller konstruktion, som initialt inte brinner.



Kritiska komponenter:

- Konstruktionen d.v.s. laminatmaterialet
- Elektronik
- Styrsystem för motorer och generator d.v.s. elektriska komponenter i samband med dessa

### 5.2.3. BRAND PÅ LASTDÄCK

Lastdäck är fartygets veritabla marknad. Här återfinns diverse vapen såsom minor och torpeder, men även den så kallade T.A.S.en, släphydrofonen, innehållande alkohol tillsammans med styr och hydraulsystem till släphydrofonen, helikopterplatsen med mera. En brand skulle kunna uppstå i många utrymmen och många olika typer av skadekomponenter kan tänkas. Två någorlunda dimensionerande händelser har utvalts vilka presenteras nedan.

#### Pölbrand – hydrofonvätska

Släphydrofonen, T.A.S.en, dras efter fartyget och för att hållas flytande innehåller den c:a 200 l alkoholbaserad vätska. Vätskan har lägre densitet än vatten som är anledningen varför den används i systemet. Men nackdelen med en alkoholbaserad vätska är att den är brandfarlig. Då det handlar om mekanismer som är i rörelse ökar sannolikheten för spill av vätskan på lastdäck samt antändning av den. Resultatet skulle bli en pölbrand som skulle avge värmestrålning till omgivningen.

#### Spraybrand – hydraulvätska

Mekanismen för att flytta hydrofonkablarna i vertikalled så att dessa ligger på havsnivå använder sig av hydrauliskt styrda armar. Hydraulvätskan är i ledningar och kolvar under relativt stort tryck och i fall av spricka kan det bli en spraybrand på samma sätt som i maskinrummet (se avsnittet ovan).

På lastdäck förvaras torpeder och minor som kan förstöras och i värsta fall detoneras av värmestrålningen. Även konstruktionen påverkas av den värmebelastning som en pölbrand innebär. De två brandfallen på lastdäck behandlas som ett då det gäller om liknande omständigheter. Brandstorleken varierar vid simulering, se APPENDIX B, för att analysen skall vara representativ för båda fallen.

Kritiska komponenter

- Vapen, torpeder och minor
- Konstruktionen d.v.s. laminatmaterialet

### 5.2.4. BRAND I MASKINRUM

I maskinrummet finns det motorer, elgenerator och andra anordningar som innehåller bränslelednings- och hydraulsystem. Enligt statistik från SOS-registret, Sjöfartsverket, /43/, för vilken ett sammanställt utdrag redovisas i APPENDIX I, är brand i maskinrum den utan tvekan största brandorsaken ombord på svenskregistrerade fartyg. Statistiken är dock inte helt representativ då underlaget har varit svenskregistrerade civila fartyg, och inte stridsfartyg. Underlaget ger likväl en fingervisning om vilka bränder som är vanliga ombord på fartyg och hur de uppstår. Det framstår som troligt att en ledning i något av systemen slits med tiden vilket kan leda till att en liten öppning eller att brott på ledningen uppstår.

Vid brusten ledning frigörs dieselbränsle eller hydraulvätska med stor hastighet i form av små droppar då sådana system jobbar under höga tryck (upp till 200 bar). Om vätskesprayen träffar en värmekälla, t.ex. varma metallytor som förekommer i sådana utrymmen, antänds den. Effekttutvecklingen blir någorlunda konstant så länge det finns bränsle samt tillräckligt med antändningsenergi.

Dieselbränsle respektive hydraulvätska har olika egenskaper t.ex. antändningsenergi, värmeutveckling, avbrinningshastighet o.s.v. vilket kan innebära att branden utvecklas på olika sätt. I scenariot varierar brandens storlek och därmed tas hänsyn till skillnaderna. Brändernas har dimensionerats genom antaganden och beräkningar som återfinns i APPENDIX B.

Kritiska komponenter:

- Konstruktionen d.v.s. laminatmaterialet
- Styrsystem för motorer och generator d.v.s. elektriska komponenter i samband med dessa

### **5.2.5. BRAND I STRIDSLEDNINGSCENTRALEN**

I stridsledningscentralen finns modern dator- styrnings- och kommunikationsutrustning vilken är placerad i rack eller pulpeter i ett flertal stationer. De tändkällor som finns är just systemen i sig, datorer, monitorer och övrig elektronik där det är inte otroligt att brand kan uppstå i någon del genom kortslutning eller annan störning t.ex. bortfall av kylning. Vid brand är elektroniken det mest kritiska i rummet då brandbelastningen inte är stor bortsett från möbleringen. Om branden sprids till annan inredning kan effekttutvecklingen öka vilket i sin tur ger större skador på konstruktionen. Rummet är hjärtat inför fartygets stridsuppgifter och innehåller viktig och mycket dyr utrustning. En brand skulle kunna innebära svåra konsekvenser, såväl ekonomiskt som operationellt då många viktiga funktioner kan sättas ur spel. Rummet är dock alltid bemannat, förutom då fartyget ligger vid kaj. Stridsledningscentralens stora betydelse för fartyget gör analys av rummet nödvändig.

Kritiska komponenter

- Konstruktionen d.v.s. laminatmaterialet
- Elektronik

### **5.2.6. BRAND PÅ MANÖVERBRYGGAN**

Omständigheterna i det här fallet är i stort sett som i SLC fallet som beskriv ovan. Den stora skillnaden förutom geometrin är att den enda öppningen till och från detta rum ligger på golvnivå, då rummet ligger överst på fartyget. Detta innebär att vid brand inverkar inte öppningen i golvet som en ventilationsöppning gör i annat fall. Eftersom brandgaserna är varma så kommer de inte i första hand att tryckas ut genom en öppning i golvet. Därmed skiljer sig detta scenario från de övriga genom att en ventilationsöppning för naturlig ventilation saknas varvid endast forcerad ventilation blir aktuell. Rummet innehåller, precis som stridsledningscentralen, viktig och dyr utrustning vilket gör analysen ytterst aktuell.

Kritiska komponenter

- Konstruktionen d.v.s. laminatmaterialet
- Elektronik

### 5.3. SAMMANSTÄLLNING SCENARIOVAL

I Tabell 5-1 sammanställs resonemanget kring val av brandscenarier och komponenter som skadas i respektive fall.

Tabell 5-1: Sammanställning av valda scenario med benämning, geometri och kriteriekomponenter.

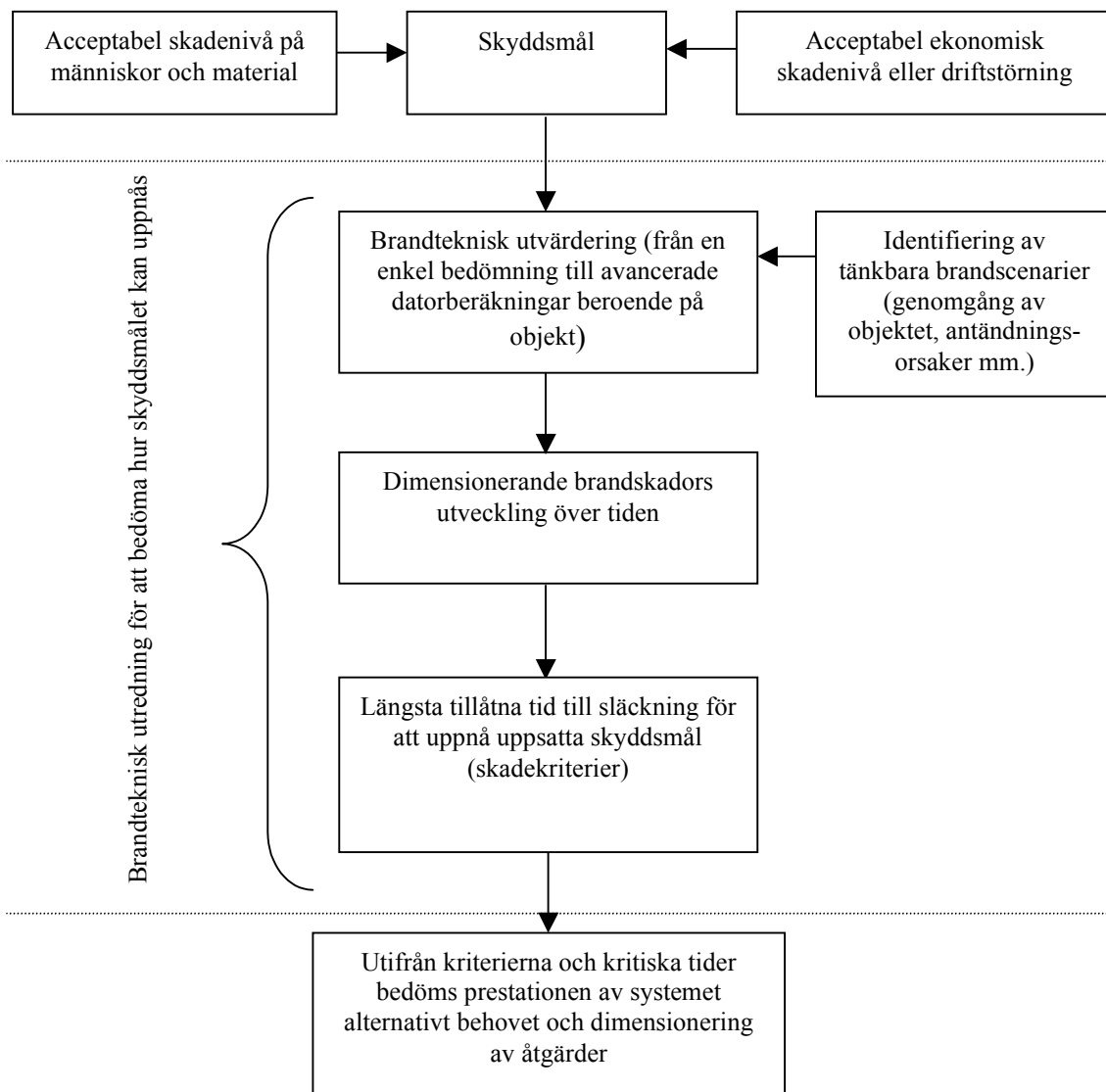
	Scenario- beskrivning	Scenario- benämning	Geometri bredd · djup · höjd	Kriterie- komponent
1	Brand i hytt	Hytt	2,4m·3,2m·2,4m	Konstruktionen Personal
2	Brand i ELA 3	ELA 3	5m·7,3m·2,3m	Konstruktionen Elektronik
3	Brand i ELA 5	ELA 5	6,2m·6m·2,5m	Konstruktionen Elektronik Kablar
4	Brand på lastdäck	Lastdäck	c:a 24m·9m·3,5m	Konstruktionen Vapen (torpeder)
5	Brand i maskinrum	Maskin	5,5m·10m·4,5m	Konstruktionen Utrustning
6	Brand i SLC	SLC	6,1m·7,8m·2,5m	Konstruktionen Elektronik
7	Brand i MB	MB	6,2m·4,7m·2,5m	Konstruktionen Elektronik



## 6. SKYDDSMÅL & KRITERIER FÖR BRANDSKYDD

### 6.1. SKYDDSMÅLSKONCEPTET

Vid en utvärdering av bränders skador ombord bör det finnas något att relatera omfattningen av skadorna till, detta är ett koncept kallat skyddsmål, eller acceptanskriterier för att tala riskhanteringsspråk. Skyddsmålen är de krav som ställs på brandsläckningssystem, aktiva såväl som passiva installationer. Kraven utgår ifrån de grundläggande användningsområden som gäller för personalskydd, skydd av ekonomiska värden och operationellt nyttjande av utrymmet eller funktionen i fartyget. Skyddsmålskonceptet, som oftast används så tidigt som vid val av brandskydd, kan åskådliggöras genom Figur 6-1 från /28/.



Figur 6-1: Konceptet skyddsmål och appliceringen av dessa.

## 6.2. SKYDDSMÅL HMS VISBY

Vid projektplaneringen ställdes inga direkta skyddsmål upp från FMV eller annan, t.ex. brukare av HMS Visby, då konceptet var okänt. Det har dock vid senare tillfälle framkommit att försvarsmakten nyttjar ett ledningssystem för att hantera risker och att ställa upp kravnivåer. Metoden kallas systemsäkerhet och diskuteras vidare i kapitel 16. Projektet har dock inte initierats genom detta system och skyddsmål ställdes därför upp genom diskussioner med personer på Kockums, FMV samt PTK Visby (Provturskommando Visby). Det har genom dessa överläggningar framkommit ett antal grundläggande riktlinjer för vad som är acceptabelt vid händelse av brand ombord. Dessa riktlinjer kan i huvudsak delas in i tre grupper:

1. Förhindrande av personskada.
2. Förhindrande av materielskada.
3. Förhindrande av utslagna funktioner så att fartyget inte kan utföra sina operationer till fullo.

Den första av dessa, förhindrande av personskada, är intuitivt en given parameter i dessa sammanhang. Försvarsmaktens handbok för systemsäkerhet, H SystSäk /22/, som är en del av riskhanteringssystemet vilket refereras till ovan, tar upp ansvarsfrågan för personsäkerhet inom försvarets system, t.ex. fartyg som Visby. ”En generell strävan skall vara att risker för person, egendom och yttre miljö skall hållas så låga som är praktiskt och rimligt möjligt.” Därmed ställs persons egendoms- och miljöperspektivet på sin spets. Vidare kan Arbetsmiljölagen - AML - /8/ nyttjas då den reglerar arbetstagares säkerhet. Med arbetstagare menas i detta sammanhang yrkesofficerare men också värnpliktiga eller deltagare i frivilligutbildning. I AMLs tredje kapitel står det;

”2 § Arbetsgivaren skall vidta alla åtgärder som behövs för att förebygga att arbetstagaren utsätts för ohälsa eller olycksfall...”

”2 a § Arbetsgivaren skall systematiskt planera, leda och kontrollera verksamheten på ett sätt som leder till att arbetsmiljön uppfyller kraven i denna lag och i föreskrifter som har meddelats med stöd av lagen. Han skall utreda arbetsskador, fortlöpande undersöka riskerna i verksamheten och vidta de åtgärder som föranleds av detta.”

Även Produktansvarslagen, PAL, /40/ är tillämplig i detta sammanhang, då Kockums anses leverera en produkt, fartyget Visby. Detta gör dem skyldiga att säkerställa produkten så att inga säkerhetsbrister föreligger. Med stöd av dessa två lagar och H SystSäk är det utom tvivel fastställt att personskador på alla sätt skall undvikas. Detta är ett kriterium, ett skyddsmål, vid utvärdering av brandsäkerheten ombord på Visby.

Kriterium nummer två, förhindrande av materiell skada, behandlas också i H SystSäk, genom citatet ovan. Det är uppenbart att man vill minimera en brands omfattning och därigenom minska de ekonomiska efterverkningarna. Detta är också ett kriterium för utvärdering av brandsäkerheten, om än aningen mindre prioriterat än människoliv.

Slutligen har aspekten om fartygets möjlighet att fullgöra sitt uppdrag getts relevans genom samtal med ovan nämnda parter. Denna aspekt innebär att fartyget även vid brand ombord skall vara dugligt att utföra det uppdrag det är satt att göra. Därmed

utformas krav på att vissa kritiska funktioner inte skall slås ut. Till exempel kan nämnas att strömförsörjningen är viktig i många avseenden varför brand i berörda utrymmen bör förhindras och begränsas. Detta och liknande krav är dock aningen svårbedömda då man inte på förhand kan säga vilken typ av uppdrag Visby utför, d.v.s. vilka funktioner som är kritiskt för det uppdraget. Det är inte omöjligt att någon eller några funktioner slås ut men andra fortfarande är aktiva, varför kriteriet inte är absolut. Det blir snarare en bedömning angående hur viktig och frekvent använd respektive funktion är.

### 6.2.1. KONKRETA PARAMETRAR FÖR SKYDDSMÅL

För att konkretisera dessa skyddsmål brukar mätbara parametrar uttryckas. Detta är inte alltid möjligt men om det går underlättar det bedömningen av brandens påverkan på fartyget. I fallet med mänsklig påverkan finns det några i det närmaste standardiserade och allmänt accepterade parametrar och kriterier att tillgå i Tabell 6-1 nedan /13/.

Tabell 6-1: Sammanställning över kritiska parametrar och nivåer för brandpåverkan på människa.

Parameter	Gränsvärde
Siktbarhet	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Brandgaslagrets nivå lägst <math>1,6 + 0,1 \cdot H</math> m, där H är rumshöjden /11/.</li> <li>- Minst 5 m sikt i små utrymmen och lägst 10 m sikt i övriga utrymmen /44/.</li> </ul>
Värmestrålning	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En kortvarig strålningsintensitet på max <math>10 \text{ kW/m}^2</math> /44/.</li> <li>- En maximal strålningsenergi på <math>60 \text{ kJ/m}^2</math> utöver energin från en strålning på <math>1 \text{ kW/m}^2</math> /11/.</li> <li>- En maximal strålningsintensitet på <math>2,5 \text{ kW/m}^2</math> /13/.</li> </ul>
Temperatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En maximal lufttemperatur där människor vistas på <math>80^\circ\text{C}</math> /11/.</li> </ul>
Syrekoncentration	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inandningsluftens lägsta koncentration av <math>\text{O}_2</math> är 15 vol% /13/.</li> </ul>
Koncentration av giftiga gaser	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Högsta koncentration av kolmonoxid, <math>\text{CO}</math>, är 0,2 vol% /13/.</li> <li>- Högsta koncentration av koldioxid, <math>\text{CO}_2</math>, är 5 vol% /13/.</li> </ul>

I det enda fall som mänsklig brandpåverkan är intressant, brand i hytt, är omgivningen mycket speciell. Hytterna är i storlek motsvarande en normal toalett, och personerna som vistas där kommer att känna omgivningen mycket bra. Det kommer sannolikt inte vara några problem, oavsett siktförhållanden, att hitta ut ur rummet. Siktförhållanden är således en icke relevant parameter att utvärdera mot. Toxicitet torde vara bra för utvärdering, om det rent praktiskt var möjligt att genomföra. Detta är tyvärr svårt att angripa då det saknas tillräckligt lätthanterliga och goda modeller för gasernas tillkomst och spridning, samt för påverkan på människan. Slutligen återstår att utvärdera mot termiska skador på människor, vilket utreds i APPENDIX A. Man bör dock notera att tidsmässigt uppstår oftast skadorna från rökgaserna långt innan termiska skador uppstår. Detta är viktigt vid analys av resultaten som baseras på mänsklig hud som kriterium.

När det gäller skyddandet av ekonomiska värden och operationell funktion är dessa mycket svårare att konkretisera. Varje brandscenario innebär olika förluster ekonomiskt och operationellt. Två kriterier som kan användas för att utvärdera dessa mål är materialstrukturen och elektriska kablar. Utifrån försök är det möjligt att finna ett temperaturvärde då kompositmaterialet som fartyget är uppbyggt av inte längre håller ihop. Delamineringen gör att materialet tappar sin bärande förmåga och att byta däck eller skottdelar i efterhand kan bli mycket kostsamt. Därför kan detta delamineringsstadium användas som ett kriterium då mycket kostsamma efterverkningar av en brand uppstår. Naturligtvis kan även annan dyrbar utrustning komma ifråga och utvärderas eventuellt då också. Delaminering uppstår när temperaturen mellan kolfiberskiktet och kärnmaterialet uppgår till ca 90 °C /15/.

Som redan har nämnts är det också mycket svårt att förutsäga vilka funktioner ombord som är kritiska vid respektive uppdrag, ibland kanske alla ibland bara en. Därför är den operationella funktionen mycket svår att utvärdera. Därmed finns inga generella konkreta mål för detta utan en bedömning måste göras från fall till fall. Men de övergripande målen som redan nämnt gäller naturligtvis. Trots detta är det möjligt att efter en brandsimulering ange vilket eller vilka system som är utslagna och därmed redovisa fartygets minskade kapacitet. Detta kan förslagsvis göras genom att analysera strömförsörjning eller styrsystem till viktiga funktioner, d.v.s. termisk påverkan på elektriska kablar blir en avgörande faktor.

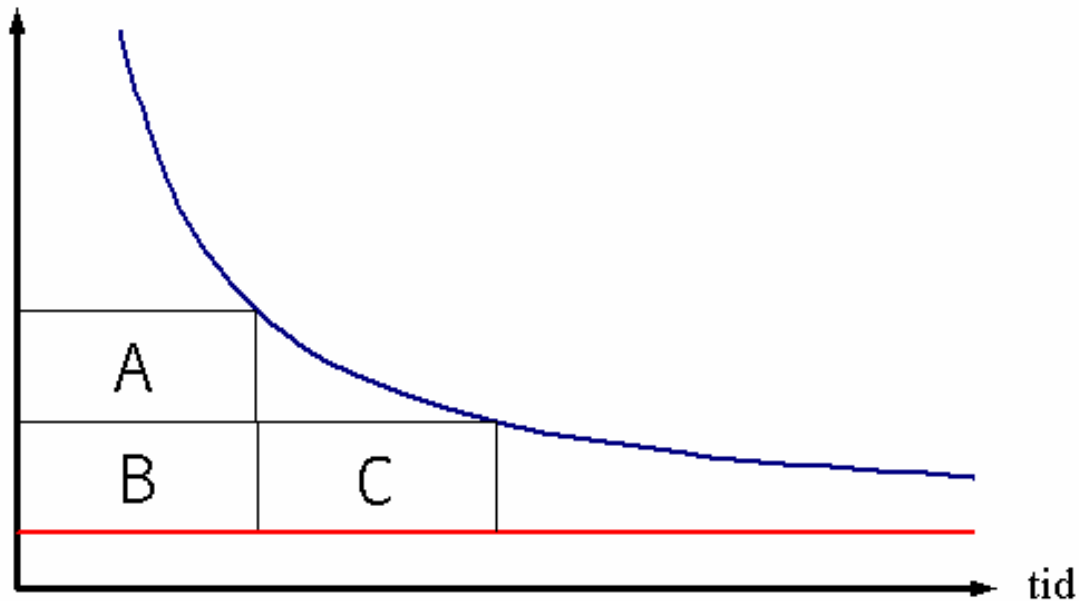
Dessa ovan nämnda konkretiserade kriterier kan nu användas för att utvärdera och ev. klassificera konsekvenserna av en brand ombord.

### **6.2.2. TERMISKA SKADOR PÅ MÄNNISKOR**

Litteraturen anger lite olika kriterier för termiska skador på människor. I APPENDIX A redovisas en kortare sammanställning av några sådana samt hur de anpassas till en modell som kallas "critical heat load concept". Det senare innebär lite förenklat att det finns en nivå under vilken ingen skada sker, samt att över denna är doser likvärdiga. I Figur 6-2 skulle detta innebära att ytorna A+B och B+C är lika stora. Samma dos fås oavsett om en energimängd upptas under en lång eller kort tid så länge det är samma mängd. Modellen är enkel men användbar. Naturligtvis kan den ifrågasättas, då få material uppvisar en sådan kurva. Det är helt enkelt så att värmeledning tar tid varför material normalt klarar snabb uppvärmning lite bättre än uppvärmning med långvarig låg effekt.



infallande  
effekt



Figur 6-2: Konceptet "critical heat load"

Utifrån resonemanget i APPENDIX A har slutsatsen dragits att  $1 \text{ kW/m}^2$  är en rimlig långtidsgräns samt  $60 \text{ kJ/m}^2$  som kritisk dos för termisk påverkan på oskyddad mänsklig hud. Det skall uppmärksammas att den gräns som har valts motsvarar skador av mindre allvarlig karaktär, inte en 6:e gradens brännskada. Dessa siffror kan dock te sig aningen låga i sammanhanget, då människor har klarat mycket kortvariga exponeringar i betydligt högre nivåer. De har ändå använts som en rimligt låg gräns för utvärdering, som ett konservativt antagande enligt osäkerhetspolicy given i kapitel 4.

### 6.2.3. TERMISKA SKADOR PÅ ELEKTRISKA KABLAR

Ytterligare ett konkret sätt att utvärdera funktionalitet på system och apparatur i ett brandrum är att undersöka de elektriska kablarnas sätt att fungera vid en termisk belastning, som vid brand. Genom litteraturstudie och jämförelse av olika typer av kablar har två skadekriterier för ett spann av känslighet på kablar framtagits, se APPENDIX A. Det bör dock nämnas att dessa uppskattningar är grova verktyg och ger egentligen bara en osäker uppskattning om beteendet vid brand. I enlighet med policy för osäkerhetshantering inom detta projekt, har konservativa antaganden gjorts då kunskapsbasen i den samlade vetenskapsvärlden för bättre, mer noggranna, estimeringar är bristfällig. Studiens slutsatser ger underlag för att nyttja följande kriterier som utvärderingsparametrar för termiska skador på kablar.

$$\dot{q}_{cr,typ I} = 10,7 \text{ kW/m}^2 \quad E_{cr,typ I} = 3200 \text{ kJ/m}^2$$

$$\dot{q}_{cr,typ II} = 18,0 \text{ kW/m}^2 \quad E_{cr,typ II} = 13200 \text{ kJ/m}^2$$

#### **6.2.4. TERMISKA SKADOR PÅ LAMINATMATERIAL**

Som nämns ovan är konstruktionsmaterialet en parameter mot vilken utvärdering har gjorts. Denna är känslig då materialet i sig är brännbart och att hela strukturen är bärande på fartyget. Konstruktionen klarar inte att temperaturen mellan kolfiberskiktet och kärnmaterialet når 90°C /15/. Vid denna värmegrad smälter Divynycell undan och då förloras i stort sett alla positiva hållfasthetsegenskaper. Det är helheten med kärnan mot kolfiberskikten som ger materialet dess hållfasthetsegenskaper. Laminatmaterialets valdes, vilket beskrivs ovan, till en parameter för utvärdering varför provning och simulering av värmeledning genomfördes, se APPENDIX A för utförligare beskrivning.

#### **6.2.5. RESULTAT AV SIMULERING**

Försök genomfördes i Brandtekniks laboratorium. Då provades värmeledning genom laminatmaterialet och material som är tänkta att skydda strukturen mot brand, såsom brandskyddsfärg och isolerande skivor. Resultatet visar att nyttjandet av brandskyddsfärgen vinner tid innan materialet skadas allvarligt, och är således en god investering. Det avgör också hur djupt värmevågen tränger då färgen tar upp en del värme.

Fortsättningsvis pekar testerna på att de isolerande skikt som är tänkta att täcka väggmaterialet i vissa utsatta positioner ger ett mycket gott skydd. Värmevågen trängde knappt ens igenom dessa material under simuleringstiden. Därför har slutsatsen dragits att de ytor där dessa material appliceras inte kommer att skadas vid en brand under de tider som har betraktats (~ 10 minuter).

Slutligen lade försöken grunden till fortsatt utvärdering mot väggmaterialet då skadekriteriet fastställdes till  $q_{crit} = 5 \text{ kW/m}^2$  och  $E_{crit} = 1965 \text{ kJ/m}^2$ , enligt ”critical heat load” konceptet.

### **6.3. ICKETERMISKA SKADOR**

#### **6.3.1. ALLMÄNT**

I vissa fall vid brand beror skadorna på annat än själva värmeutvecklingen till exempel sot, gaser och andra partiklar som brand kan generera. Brandens produkter kan alltså orsaka skador som drabbar framförallt elektronisk utrustning i utrymmen där brandgaserna tränger in. Detta kan vara i själva brandrummet eller i närliggande utrymmen dit spridning av brandgaser kan ske. Kraftig rökutveckling eller stor produktion av vissa gaser kan ibland ge skador innan termiska skador har hunnit uppstå. Andra skador som inte kan kopplas direkt till branden är förluster vid släckning av brand till exempel vattenbegjutning av komponenter som är känsliga för det eller släckning med medel som ger korrosiva produkter. Sådana skador som inte uppkommer direkt p.g.a. värmen vid brand samlas under namnet icketermiska skador.

Som det nämns ovan är brandens produkter skadliga för vissa komponenter som elektronik. Mängden produkter och deras natur beror på kemisk sammansättning av det brännbara materialet, ventilationen, luftfuktigheten i brandrummet osv. En del information om dessa omständigheter kan vara känd och en del är även svår att uppskatta.

Icketermiska skador i elektronik kan uppkomma:

- genom nedsmutsning av ytor med sot och andra partiklar så att överbrygning och därmed kortslutning i kretsar uppstår eller
- genom korrosion i kretsytor eller elektronik p.g.a. av korrosiva brandprodukter

Kortslutning i elektronik p.g.a. överbryggor av smuts kallas även direkta skador då dessa kommer rätt snabbt vid eller efter att elektroniken utsatts för brandprodukter.

Vissa plastmaterial, som till exempel kablar, avger vid brand diverse korrosiva brandprodukter som saltsyra - HCl. På Visby är förvisso alla kablar halogenfria men kärnmaterialet är PVC och kan därmed bidra till HCl vid lite längre brandpåverkan. Saltsyrepartiklarna i samband med fukt orsakar korrosion i metallytor. Skador av denna natur kommer oftast en viss tid efter att komponenter utsatts för korrosiva brandprodukter. Korrosiva produkter förekommer även vid användning av vissa släckmedel, framförallt gaser innehållande fluor eller klor, som omvandlas kemiskt vid släckning och bildar syror. Konsekvenserna är liknande som vid det förstnämnda fallet. Då skadorna uppkommer med en vis tidsfördröjning kallas de sekundära men är långt ifrån försumbara då konsekvenserna kan vara stora avsnitt 3-100 i /44/.

### 6.3.2. FÖRSÖK OCH STUDIER INOM OMRÅDET

Försök har genomförts på hur rök och andra brandprodukter påverkar elektroniken och en sammanställning kring kunskapsläget återfinns i en Brandforskrappport från SP /27/. De flesta resultat är av kvalitativ natur, d.v.s. att det bara ges slutsatser om att all elektronik är känsligt för brandgaser. Däremot är det känt att digital elektronik är betydligt mycket känsligare för icke termiska skador än analog sådan. De få kvantitativa resultat som finns ger alldeles för stora intervall på värden av skadenivåer vilket gör de olämpliga för att dra några slutsatser i en riskanalys för elektronisk utrustning. Factory Mutual ger följande deterministiska värden på under vilka förhållanden risk för icke termiska skador – ”risk for none thermal damage” - uppkommer:

- gastemperaturen i omgivningen är högre än 60°C
- den relativa fuktigheten ligger över 30% vid 20°C
- koncentrationen av klorid joner (Cl<sup>-</sup>) på ytor är högre än 9,8 mg/m<sup>2</sup> eller
- koncentrationen av väteklorid (HCl) i gasfas större än 100ppm eller koncentrationen av NO<sub>2</sub>, ättiksyra, vätefluorid (HF), och svaveldioxid (SO<sub>2</sub>) i gasfas större än 1000ppm

I analysen är det första förhållandet delvis användbart då gastemperaturen kan simuleras med datorprogram eller beräknas fram med handberäkningsmetoder. Stor osäkerhet råder då denna temperatur gäller precis intill utrustningen och detta är svårt att uppskatta utan att nyttja mycket sofistikerade modeller kapitel 15.2.1. Som det nämns ovan förekommer det skador på elektroniken vid släckning av branden, beroende på vilken typ av släckmedel som används. Att kvantifiera denna typ av skador är lika svårt som de andra icke termiska skadorna. Temperaturen överstiger snabbt 60 °C om släckning misslyckas och då uppkommer definitivt skador enligt Factory Mutuals värden ovan.

Det andra förhållandet anses inte vara värt att analysera i detalj i det här fallet eftersom den relativa fuktigheten i ett fartyg förmodligen är högre än det ovan givna värdet på 30%. De övriga förhållanden är inte användbara eftersom att data eller

modeller för att beräkna dessa saknas. Eventuella modeller att räkna fram koncentrationen av de ovannämnda kemikalierna skulle innebära stora osäkerheter i resultaten då produktionen av dessa kemikalier beror på många variabler som brandkälla, brandmaterial, ventilation osv. Slutsatsen är att eventuell brand som ej lyckas släckas med icke skadliga släckmedel i tidigt skede kommer att ge upphov till skador på elektronisk utrustning.

Risken för kortslutning på grund av rök och sot samt korrosiva ämnen visar sig vara mindre vid skydd av elektroniska kretsar med lack eller liknande material. Skyddet läggs på kretsen som ett tunt hölje och därmed skyddar mot direkt kontakt med elektriskt ledande partiklar som t.ex. damm och sot. Huruvida rökproduktionen i elektronik påverkas då även skyddshöljet brinner är däremot inte känt. Området är på inget sätt färdigutrett.

I arbetet analyseras inte mer detaljerat de icke termiska skadorna som kan uppkomma p.g.a. brand. Det finns inga lämpliga skadekriterier eller modeller för att använda och bedöma risknivån. Det får anses att elektroniken hinner ta skada om släckning inte påbörjas i mycket tidigt skede.

## 6.4. SAMMANFATTNING SKYDDSMÅL

Enligt ovan har skyddsmålen fastställts till mer konkreta test eller simuleringsparametrar. Dessa ligger som grund för bedömning av konsekvenserna av brand ombord på HMS Visby. Bedömningsgrunder för mänsklig påverkan av brand har bara beaktats översiktligt då det i nästan inga fall är troligt att människor kommer att finnas i brandrummet. Därför har bara den termiska skadeverkan från brand beaktats. Det är uppenbart att den oftast inte är dimensionerande, utan människor oftast skadas i brand betydligt tidigare än så, vanligen av röken. Detta bör beaktas vid analys av simuleringsresultat där mänsklig påverkan är trolig. Fortsättningsvis är det, som kapitlet ovan antyder, troligt att icketermiska skador uppstår vid alla bränder som inte släcks omedelbart. Kriterierna kan sammanfattas enligt Tabell 6-2.

Tabell 6-2: Sammanställning av för analysen nyttjade konkreta skadekriterier.

Komponent	Kritisk effektnivå [kW/m <sup>2</sup> ]	Kritisk energinivå [kJ/m <sup>2</sup> ]
Vägg med brandskyddsfärg	5	1965
Elkabel typ I	10,7	3200
Elkabel typ II	18,0	13200
Mänsklig hud	1	60

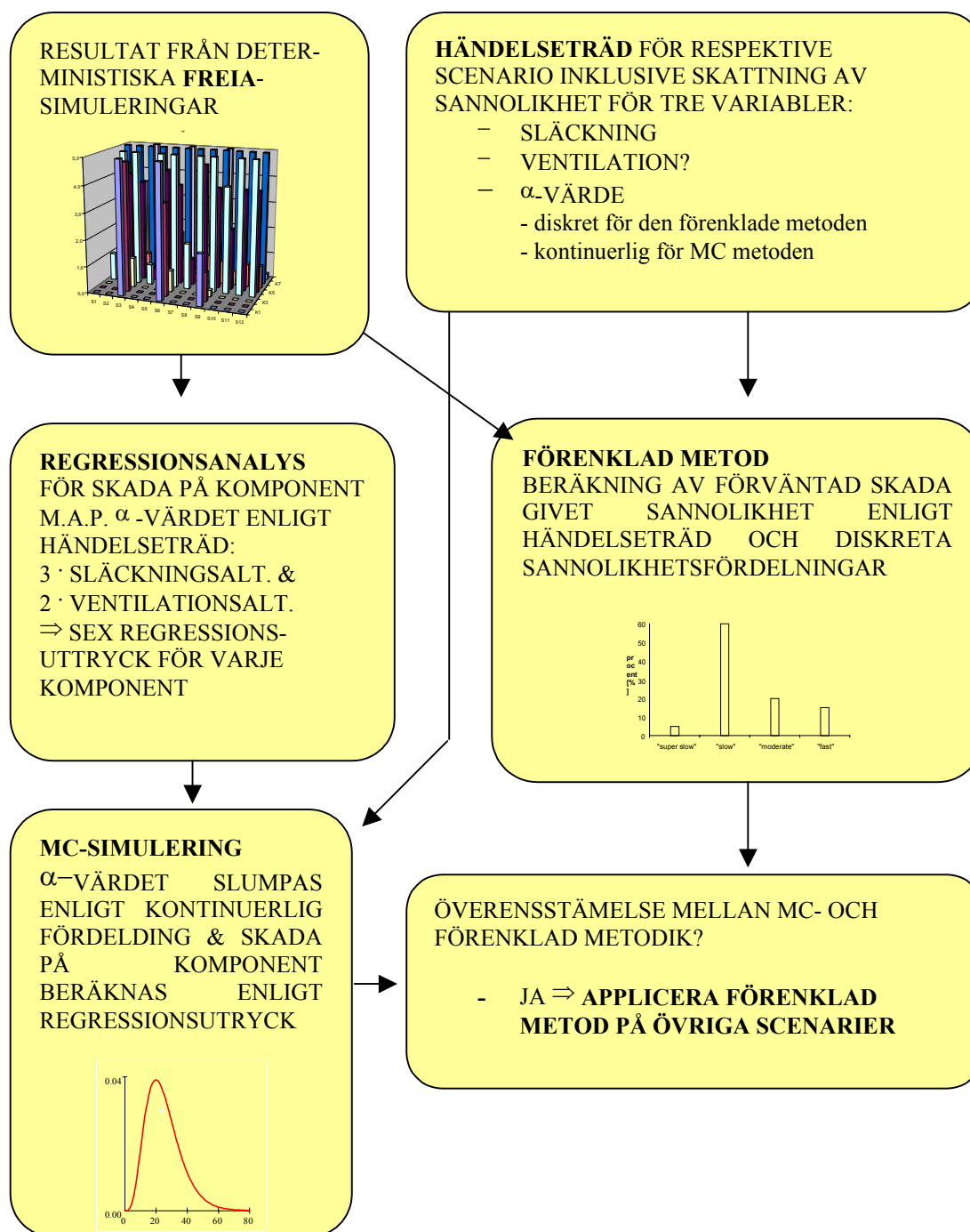
# 7. BRANDSIMULERING & STATISTISK ANALYS

## 7.1. ALLMÄNT

Den här analysen syftar till att utvärdera konsekvenserna av brand ombord på HMS Visby i den mån detta är möjligt. Detta har gjorts genom att simulera brandförlopp utifrån de scenarier som utvalts enligt kapitel 4, riskinventering och scenarioval. Dessa scenarier har valts genom att de representerar speciellt sannolika eller konsekvensmässigt farliga kombinationer. I ett fall, hyttscenariot, har detta nyttjats med annan grund, då detta synes vara det enda scenariot där man kan förvänta sig att människor finns på plats vid händelse av brand.

### 7.1.1. BERÄKNINGSMETODIK

För denna brandsäkerhetsanalys har en beräkningsmodell enligt följande används. Till en början har bränder utifrån ett urval enligt kapitel 4 lagt grund till ett antal scenarier. Dessa scenarier gav upphov till ett antal varierbara parametrar som i sin tur skapat händelsetråd eller utvecklingsscenarier vilka beskrivs närmare i APPENDIX K. Utifrån detta har simuleringar av brandförlopp gjorts med brandmodellen FREIA. De resultat som erhöles i det läget var helt deterministiska varför en vidare utveckling utfördes, se Figur 7-1. Denna bestod i att, i brist på representativ statistik, nyttja subjektiva sannolikheter och statistiskt använda informationen för att framräkna ett konkret förväntat skadevärde, en sannolikhet för skada av komponenter i brandrummet. För att verifiera den förenklade beräkningsmetodiken samt att belysa osäkerheter i indata vid analysen har en Monte Carlo-simulering av scenariot med hyttbrand genomförts. Då denna komplicerade statistiska beräkning är mycket tidskrävande har den endast utförts på ett av scenarierna, hyttbranden. Förhoppningen var att trots att scenarierna är egenartade har de gemensamt att indata har valts med samma metodik, varför spridningen i indata bör åtminstone hålla samma proportioner. Om så är fallet beskriver Monte Carlo-simuleringen för hytten till en viss grad osäkerhetspridningen för de andra scenarierna också. Resultatet från analysen blir då en sannolikhet som beskriver risken att ett objekt skall skadas givet att en brand har uppstått. För att förklara skillnaderna mellan nyttjandet av släcksystem eller inte har i vissa scenarier en sammanställning utförts där släcksystemets påverkan på branden har utslutits. Detta på grund av att i vissa utrymmen inte finns något släcksystem installerat, och jämförelsen kan därmed vara av intresse.



Figur 7-1: Skiss över metodik för analys av deterministiska resultat för skada på komponent p.g.a. brand

### 7.1.2. DATORMODELLEN FREIA

För dessa simuleringar har tvåzonsmodellen FREIA använts. FREIA är ett program framtaget av Brandteknik LTH tillsammans med Sydkraft Konsult AB, numera Sycon, och arbetet startade redan 1985. Då insåg Sydkraft att de behövde ett verktyg för att utvärdera alla typer av brandskador. Brandteknik fick ansvaret att ta fram ett sådant system, FREIA, att användas vid brandevalueringar i Sydkrafts kraftverk såväl som i andra industriella applikationer /5/. Valet av FREIA som arbetsverktyg för simuleringarna grundas på att det i de allra flesta fallen ombord HMS Visby verkar

vara tekniska system som störs, snarare än människor vid brand och FREIA-systemet är en av de få liknande modeller som kan hantera just skador på komponenter.

Freia innehåller mer än bara brandsimulering. Programmet kan också hantera utsläpp av gaser både inomhus och utomhus. Men för denna analys har bara brandsimuleringsmodulen använts. FREIA är en så kallad tvåzonsmodell, se Figur 7-2. Dessa gör ett enkelt antagande om att det i ett brandrum bildas två någorlunda homogena gasskikt, ett med varma gaser uppe vid taket och ett med kalla gaser under detta. Med branden som en källa till energi löser modellen två differentialekvationer, konservering av massa och energi, d.v.s. den beräknar värmetrasport och utbyte av massa mellan skikten och via olika ventilationsöppningar. Till detta är andra modeller länkade såsom ventilation, flödesmodeller och syrekonzentrationsbegränsningar. Från detta fås sedan bland annat temperatur och volym av brandgaslagret i brandrummet. Brandsimuleringarna i FREIA bygger på FPETOOL13 som har en brandmodul som kallas FIRE SIMULATOR. FPETOOL är framtaget vid amerikanska National Institute of Standard and Technology, NIST /36/.



Figur 7-2: Tvåzonsmodell

Modellen ger alltså en förenklad bild av brandutvecklingen i brandrummet. Efter det att brandutvecklingen har simulerats och den fysiska omgivningen för en eventuell komponent har fastställts återstår att bestämma eventuell skada på denna, något som FREIA gör i efterhand. Det första steget för detta är att den infallande värmestrålningen bestäms från kombinationen av strålning från flamman samt strålning eller konvektion från brandgaslagret. FREIA gör då en approximation av flamman som en cylinder uppdelad i fem olika zoner från vilka avståndet till komponenten bestäms och därmed också synfaktorn och slutligen infallande strålning. Sedan adderas de olika infallande strålningsnivåerna varvid en strålningsnivå för komponenten nås. Detta görs naturligtvis med numeriska integrationer så att ett tidsberoende samband mot infallande energi fås. Slutligen återstår att jämföra inkommen energi mot skadekriteriet för respektive komponent. FREIA använder härvid ”critical heat load concept” som beskrivs närmare i APPENDIX A. Detta innebär att inkommande strålningsenergi jämförs med kriterienivån men bara den infallande energi över långtidskriteriet tas med. Resultatet blir en kvot mellan inkommen energi och kriteriet, d.v.s. ett tal som är ett mått på om komponenten går sönder eller inte. Om kvoten är högre än 1 så får komponenten anses ha ådragit sig så pass höga energinivåer att den

gått sönder. Detta är resultatet i de grundläggande simuleringar som har genomförts inom ramen för detta projekt /3/, /5/. En viktig notis är att när man i FREIA placerar en linjekomponent behandlas denna som en punktkomponent i den punkt som ger det vinkelräta och kortaste avståndet till branden. Denna komponentskademodell är grov och har inte validerats i den omfattning som är önskvärd. Genom detta skall man vara noggrann med att inte betrakta dessa kvoter som några exakta värden, men de ger ett riktvärde på vad som kommer att hända vid brand.

## 7.2. GENERELLA ANTAGANDEN

Eftersom många av de antaganden som använts till simuleringarna och analyserna har grundats i samma resonemang redovisas dessa gemensamt. För scenariespecifika antaganden hänvisas till scenariobeskrivningar i kapitel 5.2 och nedan följande utläggning.

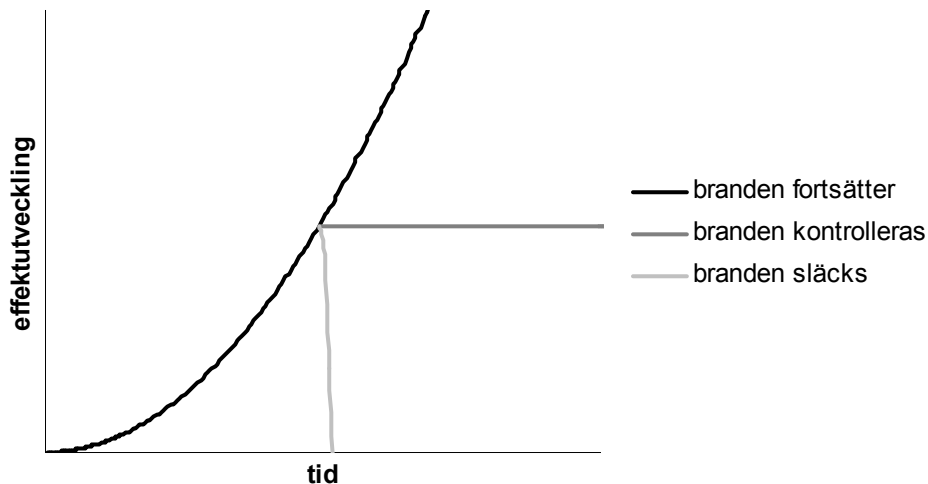
### 7.2.1. BRANDEFFEKT

Förutom i scenarierna med brand på lastdäck och i maskinrum har samma fördelning av sannolikheten för brandeffektens storlek antagits. Brandeffekten har fördelats diskret på fyra olika brandtillväxthastigheter, se Figur 7-4 med respektive sannolikheter. För dessa utrymmen har en s.k. slow brand ansetts vara mest högfrekvent. Motiveringen till detta val ligger i observationerna att stora delar av inredningen och material är flamskyddade samt att laminatmaterialet i väggarna helt enkelt inte brinner bra vid låg infallande strålning /47/. Konklusionen är att en brand kommer att vara långsammare än vad som skulle vara normalt i en så trång, brännbar och geometriskt komplicerad miljö. Men därmed inte sagt att det inte kan uppstå bränder med högre effektutveckling under vissa speciella förutsättningar. Utifrån detta resonemang har den mest troliga brandeffekten bestämts vara en slow  $\alpha^2$  brand ( $\alpha = 0,00293 \text{ kW/s}^2$ ). Då detta beslut var behäftat med osäkerhet har en känslighetsanalys genomförts varvid  $\alpha$  har varierats mellan fast ( $\alpha = 0,0466 \text{ kW/s}^2$ ) och något som kallats ultraslow ( $\alpha = 0,0003 \text{ kW/s}^2$ ) i fyra steg. Ultraslow har ansetts vara relativt lågfrekvent då flamskyddade material nästan självslocknar vid så låg effekt. (För diskret fördelningsfunktion av bränderna se Figur 7-4.)

### 7.2.2. SLÄCKSYSTEM

Det finns i dagsläget inte några enkla och effektiva förfaringssätt att modellera släcksystems inverkan på brand. För att ändå ta hänsyn till släcksystemets påverkan på branden och dess utveckling gjordes antagandena att släcksystemet kan prestera tre diskreta utvecklingar av brandeffekten. Till att börja med så kan släcksystemet, precis enligt plan, släcka branden, eller så kan branden kontrolleras såsom det är tänkt med konventionella sprinkler. Slutligen kan systemet helt misslyckas med att släcka branden, antingen genom att släcksystemet inte fungerar som det ska eller att branden helt enkelt är för kraftig för påföringshastigheten av släckmedel. Dessa tre situationer har representerats genom bearbetning av simuleringsunderlag som legat till grund för respektive simulering enligt Figur 7-3.





Figur 7-3: Branden kan släckas, kontrolleras eller fortsätter brinna beroende på släcksystemets funktion.

Tidpunkten för detektion, som naturligtvis beror på brandens tillväxthastighet  $\alpha$ , har bestämts genom programmet Detact-T2 /18/ vilket nyttjar så kallade plymekvationer och allmänt erkända värmetransportsamband för att kalkylera tiden till sprinklerns detektion se APPENDIX F.

### 7.2.3. VENTILATION

Ventilationsflödet för normal drift har använts vid simuleringen. Ventilationen är förvisso ett sätt att till viss del styra branden framförallt transporten av brandgaser, men i dagsläget verkar det inte utrett hur detta skall ske vid brand varvid detta grundflöde har använts. Brandutvecklingen beror också på möjligheterna för branden att själv ventileras genom öppningar till och från brandrummet. Detta innebär att även om en dörr står öppen eller stängd kan spela stor roll för brandens utveckling. Dörrarna till hytterna är försedda med magnetiska dörrstängare vilka skall stänga då brand detekteras i rummet via rökdetektorerna. I princip alla andra utrymmen kan dörren förutsättas vara stängd i stor del av fallen då utrymmena normalt inte nyttjas av människor, t.ex. elapparatrummen eller maskinrum.

FREIA ger inte möjlighet att förändra ventilationsflödet under simuleringstiden, varför en dörr har fått anses vara antingen stängd eller öppen. Tiden till rökdetektors alarmering och eventuell dörrstängning är i sammanhanget kort samt att branden under tidig utveckling inte är i närheten till att vara syrekontrollerad varför det är en obetydlig detalj om dörren i början av simuleringen är öppen eller stängd. Men med tanke på öppningens vikt för helheten av förloppet har en spridningsfördelning antagits. Systemet har i 95 % av fallen ansetts fungera. Antagandet innebär alltså att systemet som helhet, inkluderande både detektionssystem och dörrstängare ej fungerar, alternativt dörr utan sådan säkerhetsanordning står öppen, med en femprocentig felfrekvens. Detta är en subjektiv skattning, sannolikt aningen konservativ då en ökad ventilation ger möjlighet till större förbränning, allt i enlighet med ovan nämnd osäkerhetspolicy.

#### 7.2.4. GEOMETRI

Alla geometrier är naturligtvis specifika för respektive scenario och beskrivs nedan under dessa, se respektive kapitel.

#### 7.2.5. DEFAULTVÄRDEN TILL FREIA

I och med användandet av modellen FREIA så nyttjas ett antal simuleringsparametrar för vilka antagandena redovisas nedan i Tabell 7-1.

Tabell 7-1: Grundläggande indata till FREIA.

Parameter	Nyttjat värde
Förbränningsvärme $\Delta H_c$	28 MJ/kg (uppskattning blandning av material, laminatmaterialet och plaster)
Siktförsämringskoefficient	0,4 m <sup>2</sup> /g (tidsviktat medelvärde från konkalorimeterförsök /47/)
Övertändningskriterium	500 °C
Syre begränsning	10 vol% vid 21 °C 2 vol% vid 600 °C
CO till CO <sub>2</sub> kvot	0,005 tillräckligt m. luft 0,5 otillräckligt m. luft
Andel strålning av effekten	0,35
Max energiförlust till rum	0,95
Explosionsavlastning	Ingen

Vid övertändning har inga förändringar i förutsättningarna gjorts, utan ventilationen,  $\Delta H_c$  och  $\Delta H_{\text{gasification}}$  har hållits konstanta. Möjligheten att förändra ventilationen vid övertändning är förmodligen tänkt att representera att fönster eller liknande går sönder vid övertändning. Några sådana händelser är inte att vänta på Visby. Försättningsvis har mängderna brännbart material i brandrummet angetts på sådant sätt att bränsle har funnits för hela simuleringsperioden, 10 minuter plus tid för eventuell detektion. Inom denna tid anses inte bränslebrist kunna uppstå. Detta får anses rimligt i utrymmen där konstruktionen som sådan är brännbar samt att stor mängd material är inhyst per yta. Det är trångt ombord på fartyg.

#### 7.2.6. KOMPONENTER OCH BRAND

Placeringen av branden och komponenterna i förhållande till detta är naturligtvis viktiga element när det gäller skadan på de senare. FREIAS sätt att addera värmetransportmekanismer till varandra (se kapitel 7.1.2 om programmet FREIA) innebär att för olika positioner gäller olika matematiska uttryck. Om en komponent är placerad mitt i flamman fås energin endast från flamman. I det kalla gaslagret fås energi både från flamman och från det varma gaslagret, i form av strålning. Slutligen om en komponent befinner sig i det varma gaslagret fås energi från de omgivande varma gaserna samt flamman. Ekvationerna för värmetransport för gaslagren blir i princip identiska då strålningen i det varma gaslagret blir detsamma eftersom synfaktorn får antas vara nära ett i båda fallen. Detta innebär att placeringen i rummet inte spelar någon större roll så länge komponenten inte hamnar i flamman. Att en komponent i flamman inte påverkas om det är övertändning i rummet i övrigt kan ge lite konstiga situationer, då flamekvationen är svagare än den i det övriga rummet. Då

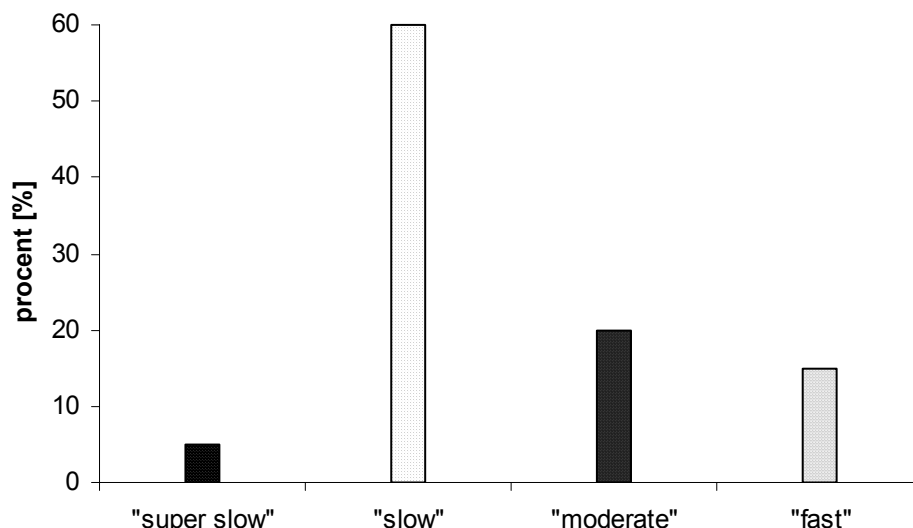
kan en komponent mitt i brandens ursprungsläge klara sig bättre än en på annan plats i rummet om det handlar om ett gränsfall med tåligheten. Vid placeringen av komponenter har grundtanken varit att placera komponenter i alla de positioner som skulle kunna tänkas ge intressanta skillnader, vanligtvis mot branden närliggande och motstående väggar. Branden har av simuleringspraktiska skäl i samtliga fall placerats i ett hörn varvid komponenterna istället har varierats. Även placeringen och valet av komponenter är självfallet specifikt för respektive scenario, se presentation nedan.

### **7.3. STATISTISK RESULTATANALYS**

För att vidareutveckla analysen när det gäller sannolikheten för respektive delscenario har två statistiska metoder använts, subjektiva värderingar av sannolikheterna för respektive delhändelse samt osäkerhetsanalys med hjälp av Monte Carlo-simulering. Med denna utgångspunkt har förväntat värde på skada beräknats, givet då att brand uppstår. Att analyserna har förutsatt att brand uppstått är en konsekvens av att ingen riktigt relevant statistik stått att finna för brands uppkomst ombord på svenska örlogsfartyg. Flottan för själva ingen statistik över uppkomna bränder eller incidenter. Det är inte möjligt att utan att införa mycket stora osäkerheter skatta en startfrekvens för brands uppkomst, varför analysen har genomförts givet brands uppkomst.

#### **7.3.1. FÖRVÄNTAD SKADA VID FÖRENKLAD METODIK**

Eftersom tre olika variabla parametrar har använts skapades diskreta sannolikhetsfördelningar för dessa med följande motiveringar. Trots att miljöerna i alla fall förutom lastdäck och maskinrum är relativt kompakta med sovslafar, klädska, elskåp, datorrack etc. har en relativt långsam – slow - brandutveckling antagits vara mest sannolik. Detta genom att omgivande material är flamskyddade, få tändkällor finns och att laminatmaterialet brinner dåligt vid låg infallande strålning. Det finns helt enkelt inget material som sprider brand snabbt. Samtidigt så påstår ”Murphys lag” att ”Om det finns två eller flera sätt att göra något på, och ett av dem kan ställa till katastrof, så kommer någon att göra på det sättet.” ur vilket vi kan föreställa oss svårare scenarier. Genom mänskligt felhandlande skulle t.ex. en flaska utspilld alkoholhaltig dryck kunna ställa till med betydligt snabbare brandutveckling. Det var därmed inte möjligt att negligera de snabbare brandeffekterna trots att mängden och typen av material och bränsle antydde en relativt långsam brand. Även bränders utveckling är förmodligen beroende på vissa stokastiska variabler, varför ett två lika provuppsättningar inte kommer att ge exakt samma resultat vid två provningar. Vilket var ytterligare ett argument för att behandla branden som osäker med en viss fördelning. Utifrån detta resonemang har den mest troliga brandeffekten bestämts vara en slow  $\alpha^2$  brand med sannolikheten 60 %. Snabbare bränder är inte lika sannolika men de kan lika fullt uppstå, varför fortsatt fördelning utföll som moderate 20 %, samt 15 % för fast. De återstående 5 % bränderna har förutsatts vara något som har kallats superslow, uppskattningsvis en pyrande brand i långsamma material till exempel i kablage eller liknande. Fördelningen på olika tillväxthastigheter beskrivs i Figur 7-4.

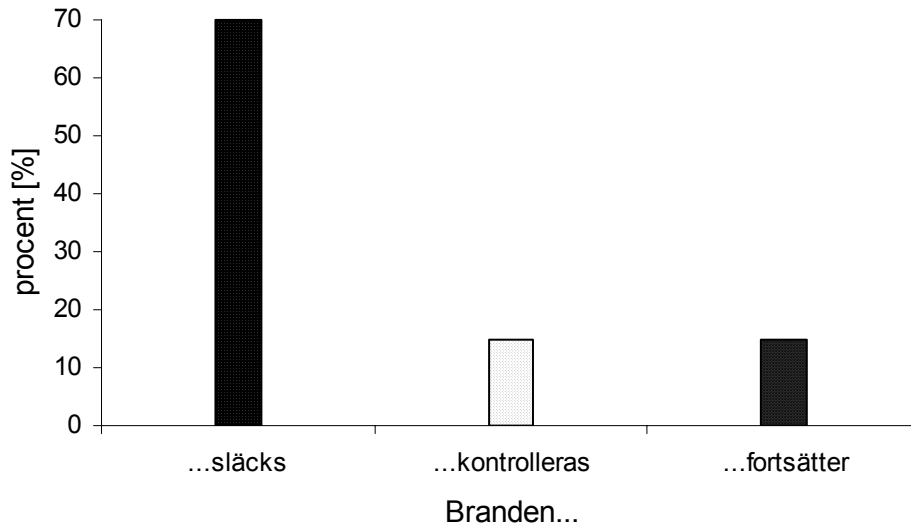


Figur 7-4: Diskret sannolikhetsfördelning av brandens tillväxthastighet.

### Släcksystemens förmåga och sannolikheten för släckning

Visby har många aktiva system, se kapitel 2.4.2, som vid full funktion skall släcka brand. Inget tekniskt system har dock en hundra procentig tillförlitlighet då systemets funktion också beror på mänskligt handlande kring detta. Människor beteende är på inget sätt alltid korrekt kring system där man inte känner systemets känslighet och gränser. Redan 300 f. Kr uttryckte Aristoteles "Det är sannolikt att det osannolika kommer att inträffa.", från vilket slutsatsen kan dras att släcksystemen på Visby, oavsett hur genomtänkta de är, inte alltid kommer att släcka brand.

Den analys som har genomförts har inte granskat dimensioneringen av släcksystemen som installerats på HMS Visby. Som det beskrivits tidigare finns det osäkerheter med dimensionering av släcksystem, men att analysera dessa är utanför ramen för detta arbete. Dessa osäkerheter har uppmärksammats på det sättet att släcksystemen inte bedöms släcka var gång. Som helhet bedöms dock systemen som relativt kapabla varför en något konservativ uppskattning är att i 70% av fallen släcks branden, 15 % kontrollerad samt 15% fortsatt brandutveckling. Den konservativa skattningen innebär att värderingen är i lägsta laget, förmodligen är släcksystemens funktion och flottans organisation åtminstone lite bättre än så. Konservativa skattningar är dock enligt osäkerhetspolicyen för projektet. För scenariot i maskinrummet har förhållandet bedömts till 85 % släckning samt 15 % fortsatt brandutveckling, då gassläckning används. Med gassläckning är det inte möjligt att få en kontrollerad brand då gasen inte påförs kontinuerligt utan under en kort tid., dessutom bedöms gassystemet vara mer kapabelt till släckning.



Figur 7-5: Diskret sannolikhetsfördelning över släcksystemets förmåga att släcka eller kontrollera branden.

Det tycks mer troligt att placeringen och konfigurationen av bränslet är avgörande för om systemet släcker branden snarare än brandeffekten då systemen är dimensionerade att släcka relativt kraftiga bränder. Gemensamt för dimsläcksystemet och sprinklersystemet är att de har störst problem med dolda bränder och svåra konfigurationer /9/. Detta gäller naturligtvis inte gasläckningssystemet men det har, som har nämnts, andra osäkerhetsaspekter som till viss del är oberoende av effektutveckling. Med utgångspunkt i detta har samma sannolikhetsfördelning för släckning valts för alla brandeffekter, förutom för Halotrons systemet. Slutligen har det enligt kapitel 7.2.3 ovan antagits att dörrstängningssystemet som helhet, inkluderade detektionen, inte fungerar i 5 % av fallen, d.v.s. 95 % konfidens för dörrstängningen. Detta är också en subjektiv skattning av systemets tillförlitlighet utifrån. Dessa diskreta fördelningsfunktioner och hela händelseförloppet har åskådliggjorts i form av ett händelsetråd vilket återfinns i APPENDIX K.

### Sammanfattning förenklad metodik

Den statistiska analysen har genomförts med elementär händelseträds metodik och sannolikheter har estimerats med subjektiva skattningar enligt ovan. Grundläggande är också att analysen förutsätter att brand uppstått. I APPENDIX K framställs helheten som händelsetråd. Då en normal förväntad skada på detta sätt ger ett sannolikhetsviktat medelvärde av resultatnivån har istället en diskret bedömning av resultatet använts. Detta för att ett medelvärde inte ger en rättvis bild av skadeläget om det finns mycket extrema värden, vilket det i många simuleringar gör. Utifrån de diskreta sannolikhetsfördelningar som antagits fås sedan den förväntade diskretiserade skadan vid brand i hytt till följande för respektive komponent.

Det är mycket viktigt att dessa resultat ses som riktvärden och definitivt inte som absoluta tal då analysen är behäftad med osäkerheter bland annat genom subjektiva skattningar. Men detta ger dock en fingervisning kring hur saker och ting kan komma att skadas vid händelse av brand.

### **7.3.2. FÖRVÄNTAD SKADA VID MONTE CARLO-ANALYS**

För att visa på osäkerheter i indata och belysa en förenklad metods precision har en så kallad Monte Carlo-analys genomförts. Metoden är komplicerad och tidskrävande varför den bara har utförts på data från hyttscenariot och beskrivs närmare därunder, kapitel 8.3.2.

## 8. HYTT

### 8.1. UPPLÄGG

Scenariot brand i hytt består i att en brand uppstår i en sovhytt. Scenariot som sådant är troligen lågfrekvent, se kapitel 5.2.1, då varken speciellt uppenbara tändkällor eller mycket brännbart material finns. Men eftersom det är en sovmiljö där människor kan förväntas vistas är det ändå av vikt att utvärdera brand.

#### 8.1.1. BRANDEFFEKT

Omgivningen i hytten är relativt kompakt med sovslafar och klädskåp av trä, sängkläder samt omgivande brännbara laminatmaterial. Madrasser och sängmaterial är flamskyddade och laminatmaterialet brinner inte bra vid låg infallande strålning /47/. Enligt resonemang i kapitel 7.3 så har bränder i en spridning mellan superslow till fast nyttjats.

#### 8.1.2. SLÄCKSYSTEM

I hytten finns också ett släcksystem med ett dimsprinklerhuvud i varje hytt. I enlighet med grundantagandena, se kapitel 7.2.2, har släcksystemets påverkan på brand diskretiserats till släckning, begränsning, samt oförändrad utveckling av branden. Dessa tre situationer har representerats genom bearbetning av den brand som legat till grund för respektive simulering se Figur 7-3. Detektionspunkten har bestämts genom datoriserade plymekvationer se APPENDIX F.

#### 8.1.3. VENTILATION

Inga förändringar i ventilationsflödet har gjorts utan normal drift har antagits. Noterbart är att ventilationsflödet är mycket högt och ventilationen i detta utrymme omsätter  $180 \text{ m}^3/\text{h}$ .

#### 8.1.4. GEOMETRI

Hytten har i FREIA framställts som ett rättblock även om vissa väggar egentligen inte håller så vinkelräta konfigurationer. En av kortsidorna i hytterna består i insidan av skrovet vilket naturligtvis inte är lodrätt, men det avviker inte mer än ett par grader vilket gör att approximationen är acceptabel. Hytten som har använts som standardhytt har betäckningen 19 och har måtten  $2,4 \cdot 3,2 \cdot 2,4 \text{ m}$  (b · d · h).

#### 8.1.5. VALBARA VÄRDEN FREIA

Alla grundinställningar av simuleringarna har nyttjats på samma sätt som beskrivs i kapitel 7.2.5.

#### 8.1.6. KOMPONENTER OCH BRAND

Placeringen av branden och hur komponenterna förhåller sig till detta är naturligtvis viktiga element när det gäller skadan på de senare. Vid placeringen av komponenter har grundtanken varit att placera komponenter i alla de positioner som skulle kunna tänkas ge intressanta skillnader. I hytten så finns bara två typer av skadekomponenter, mänsklig hud samt den allestädes närvarande väggkomponenten. Dessa har placerats i flamman, på kortväggen intill branden på halva och hela rummets höjd samt på hela

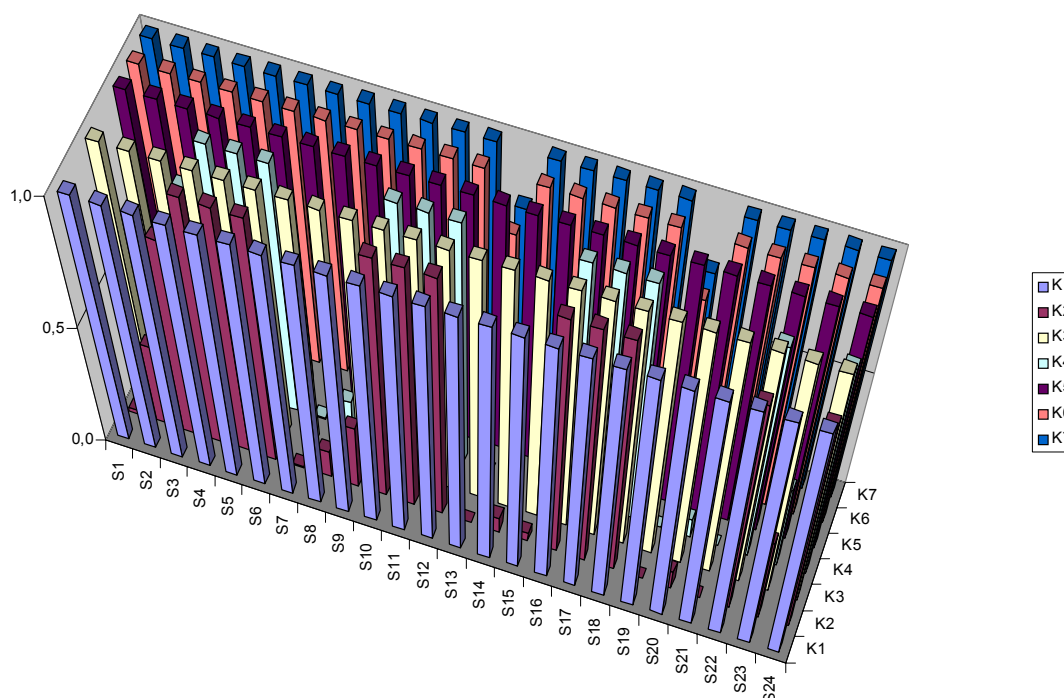
och halva höjden av motstående långvägg. Placering av komponenterna redovisas i APPENDIX L.

### 8.1.7. SAMMANFATTNING SCENARIOUPPLÄGG

I och med de känslighetsanalyser som har utförts har ett antal parametrar varierats, brandtillväxt, ventilation och släckning. De har kombinerats i  $4 \cdot 2 \cdot 3 = 24$  konstellationer vilka alla representerar en simulering i FREIA. För en överskådlig bild över detta se händelseträdet i APPENDIX K.

## 8.2. RESULTAT

De resultat som fås från FREIA är, som tidigare nämnts, i form av kvoter mellan infallande energi samt komponentens skadekriterium. Dessa presenteras i Figur 8-1, för samma resultat i tabellform se APPENDIX H. Noteras bör att z-axeln har trunkerats för bättre överblick då vissa komponenter uppvisar kvoter på flera hundra gånger skadekriteriet. Det intressantaste området tycks rimligen vara kring 1 emedan detta indikerar gränsfallet då komponenten skadas.



Figur 8-1: Skadekvoter från brand i hytt.

Figur 8-1 visar komponentskador, där K1-K4 representerar skador på väggmaterialet i fyra olika placeringar och K5-K7 motsvarar mänsklig hud i tre olika punkter, diagonalt i rummet från brandhörn till motstående hörn på höjden 1,2. Resultaten ger ett dystert intryck av brand i hytt. I många fall av komponenter ger en brand, oavsett hur släcksystemet fungerar, skada på komponenterna. Det skall dock noteras att de komponenter som undersökts i detta fallet är relativt känsliga för värme, men så ter sig också scenariot. Att en brand oberoende av var den uppstår och eventuell släckning kommer att skada mänsklig hud är kanske trots allt inte helt oväntat. Det är närmast naturligt då släcksystemet tar tid på sig innan det initieras och kan hindra värmeskador på känslig mänsklig hud. Utifrån erfarenhet är det tydligt att människor i bränder ofta skadas eller sövs av brandgaserna, långt innan termiska skador uppstår



/11/. Slutsatsen från detta är att personskyddet för individer i brandrummet knappast kan baseras på släcksystemet. Vilket i sin tur poängterar vikten av att evakuera individer från brandrummet genom annat system. Detta system finns installerat med rökdetektion och utrymningsignal. Man bör dock vara helt på det klara med att släcksystemet inte gör varken till eller från för att hindra brandskador på personer i brandrummet.

Ytterligare trender i Figur 8-1 är att skadorna på väggar naturligtvis är mer extensiva i närheten av branden, speciellt i punkter där flamman utbreder sig. Detta ter sig kanske som en självklarhet, men resultatet visar på att släcksystemets reliabilitet är avgörande för hur omfattande brandskadorna på väggar kan tänkas bli. I och med väggarnas integrerade funktion och minst sagt komplicerade tillverknings- och installationsförfarande är det dyrt och svårt att efter brand reparera (läs byta ut) delar av strukturen. Från diagrammet kan också utläsas att släcksystemet naturligtvis har en mycket stor kontrollerande funktion på brandens utbredning. Släcksystemet reagerar inte snabbt nog att hindra lokala brandskador på väggmaterial, men vid full funktion på systemet hindras i stort all övrig utbredning av branden både i brandrummet och utanför, d.v.s. kostnaderna av en brand blir betydligt mindre och likaså reparations-tiden.

### 8.3. STATISTISK RESULTATANALYS

En statistisk analys av simuleringsresultaten har genomförts, med två huvudsakliga syften. Dels att lyfta analysens värde ett steg längre med antaganden kring sannolikheten för respektive händelse, dels att med avancerad metodik visa på osäkerheter i indata samt verifiera nyttjandet av en enklare metodik för resterande analyser. I kapitel 7.3 beskrivs den övergripande metodiken närmare.

#### 8.3.1. FÖRVÄNTAD SKADA VID FÖRENKLAD METODIK

Den statistiska analysen, vars metodik beskrivs närmare i 7.3, visar enligt Tabell 8-1 nedan förväntad skada på komponenter i hytt.

Tabell 8-1: Jämförelse förväntad skada med eller utan släckning i hytt.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Släckning	1	0,28	1	0,28	1	0,98	0,98
Ingen släckning	1	0,95	1	0,95	1	1	1

Vikten av att observera den statistiska analysens osäkerheter, och nyttja utredningen som en fingervisning kring beteendet vid brand kan inte överdrivas. Det är av stor betydelse. I Tabell 8-1 består K1-K4 av väggmaterial i fyra olika placeringar och K5-K7 svarar mot mänsklig hud i tre olika punkter. K1, K3 och K5 är placerade i brandens närhet, varav det olustiga resultatet. Det är dock ingen nyhet att lokala brandskador kommer att uppstå oavsett om släckning sker eller inte, speciellt då både mänsklig hud och väggmaterialet är känsligt för termisk påverkan. Det kan också utläsas att sannolikheten för skada på människor är stor, om dessa är oförmögna att själva flytta på sig. Släcksystemet hinner helt enkelt inte hindra brännskador på en människa, utan denna måste utrymmas ur brandrummet genom ett fungerande detektions och larmsystem. Ett sådant finns i dagsläget med både rökdetektor och tillhörande larm. Förmodade brukare av hytterna kommer i stor utsträckning vara

relativt unga friska män, med god förmåga att förflytta sig, varför slutsatsen blir att detektionssystemet utfaller som den avgörande faktorn. Om systematiskt underhåll och regelbunden översyn samt testning av larmfunktionen sker, ger detta ett relativt gott skydd för personsäkerhet. Sedan är det helt upp till funktionen på släcksystemet att förhindra brandspridning till närliggande rum, se också CFD-simulering för noggrannare analys.

### 8.3.2. FÖRVÄNTAD SKADA VID MONTE CARLO-ANALYS

För att visa på osäkerheter i indata samt verifiera den förenklade metodiken ovan har en Monte Carlo-analys genomförts. Metoden är invecklad och tidskrävande varför den bara har utförts på data från hyttscenariot. Därefter har resultaten från de två statistiska analysmetoderna jämförts, så att Monte Carlo-analysen styrkte användningen av den enklare modellen endast med diskreta fördelningar.

Monte Carlo-analysen går i grund och botten ut på ”de stora talens lag” Detta är detsamma som att många slumpvisa simuleringar enligt givna fördelningar som sedan nyttjas i matematiska samband som slutligen genererar en fördelning av slutprodukten /23/. Först skapades explicita matematiska uttryck för det förlopp som skulle simuleras, i detta fall skada på komponenter i hyttscenariot. Ekvationerna erhöles genom regressionsanalys på det datamaterial inom vilket området uttrycken önskas gälla, se APPENDIX C med Monte Carlo analys. Det vill säga att indata och resultat från de simuleringar som genomförts på hytten låg till grund dessa ekvationer. I nästan alla fall har determinationskoefficienten ( $R^2$ -värdet), som beskriver överensstämmelsen mellan ekvationen och datamaterialet, varit betydligt bättre än 95 %, en fullt tillfredsställande överensstämmelse då endast små ytterligare osäkerheter införs. Resultatet av simuleringarna är normalt en fördelning över slutprodukten, men eftersom denna beskriver skada eller icke skada så diskretiseras outputen till just den binära fördelningen, skada eller icke skada. Slutprodukten blir då en sannolikhet för att respektive komponent skall skadas förutsatt de subjektiva sannolikheter som har nyttjats i analysen. Resultatet från denna simulering redovisas i Tabell 8-2.

Tabell 8-2: Jämförelse förväntad skada Monte Carlo- och förenklad analys.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Monte Carlo	1	0,29	1	0,29	1	0,97	0,97
Förenklad analys	1	0,28	1	0,28	1	0,98	0,98

Även dessa resultat är baserade på subjektiva skattningar och dras med de övriga osäkerheter som följer simuleringarna i FREIA och skall därför ses som en antydning på händelseförloppet vid brand. Den goda överensstämmelsen mellan resultaten från den förenklade analysen och Monte Carlo-simuleringen beror visserligen till stor del på att liknande fördelningar har nyttjats som indata. Men jämförelsen visar ändå på att den diskreta modellen inte missar allt för mycket i precision trots att branden då bara kan anta vissa värden, det vill säga är diskret uppdelad. Förmodligen beror detta på att gränsdragningen mellan skada och icke skada snarare beror på släcksystemets funktion och därigenom exponeringstiden snarare än brandens utvecklingshastighet. Överensstämmelsen är av stor vikt, då den förenklade metodiken kan nyttjas i övriga scenarier. Därutöver åskådliggör Monte Carlo-analysen att spridningen i brandutvecklingen inte har någon större betydelse för spridningen på analysresultatet. Detta beror främst på den gränsdragande faktorn, skada eller icke skada. Genom detta

diskreta antagandet gäller att vid en viss storlek på branden så skadas komponenten, och den går inte sönder fler gånger för att branden ökar ytterligare, det vill säga ökad spridning inom vissa gränser har ingen effekt. Samma resonemang gäller för resultat nedan gränsen icke skada. Konklusionen av detta är att det valda intervall av bränder täcker in det som är av något som helst intresse för skada på komponenter. Dessutom kan inte regressionsuttrycken användas utanför det område för vilket de har deriverats, vilket resonemanget ovan visar att det är onödigt.



## 9. ELAPPARATRUM 3

### 9.1. UPPLÄGG

Scenariot brand i elapparatum 3 består i en brand i någon av de elektriska enheter som finns i rummet. Scenariot är befogat enligt grovanalysen då funktion på komponenterna är av stor vikt för fartygets operation.

#### 9.1.1. BRANDEFFEKT

Miljön i elapparatrummet är kompakt och väggarna är överhopade med elektriska kopplingar, reläer styrcentraler etc. Dessa kablar och till viss del också kabinett och väggmaterial utgör den huvudsakliga brandbelastningen. Med detta som grund har en långsam brandbelastning förutsatts vara trolig, och enligt resonemang i 7.2.1 så har bränder i en spridning mellan superslow till fast nyttjats, med tyngdpunkt på slow.

#### 9.1.2. SLÄCKSYSTEM

Det finns i dagsläget inget släcksystem i elapparatum 3. I analysen har dock ett släcksystem av t.ex. dimsprinklertyp nyttjats för komparation. I enlighet med grundantagandena, se kapitel 7.2.2, har släcksystemets påverkan på brand diskretiserats till släckning, begränsning, samt oförändrad utveckling av branden. Dessa tre situationer har representerats genom bearbetning av den brand som legat till grund för respektive simulering se Figur 7-3. Detektionspunkten har bestämts genom datoriserade plymekvationer se APPENDIX F.

#### 9.1.3. VENTILATION

Inga förändringar i ventilationsflödet har gjorts utan normal drift har antagits. Noterbart är att ventilationsflödet är mycket högt och ventilationen i detta utrymme omsätter totalt 2370 m<sup>3</sup>/h inklusive den ventilation som är direktkopplad till apparatskåpen, men som evakueras genom lokalen.

#### 9.1.4. GEOMETRI

Elapparatrummet har i FREIA framställts som ett rätblock även om rummet snarare uppvisar en L-formation. FREIA kan dock inte simulera andra geometrier än rätblock. Huvudsaken är egentligen att volym och takhöjd korresponderar mot verkligheten. Rummet har beskrivits med måtten 5 · 7,3 · 2,3 m (b · d · h).

#### 9.1.5. VALBARA VÄRDEN FREIA

Alla grundinställningar av simuleringarna har nyttjats på samma sätt som beskrivs i kapitel 7.2.5.

#### 9.1.6. KOMPONENTER OCH BRAND

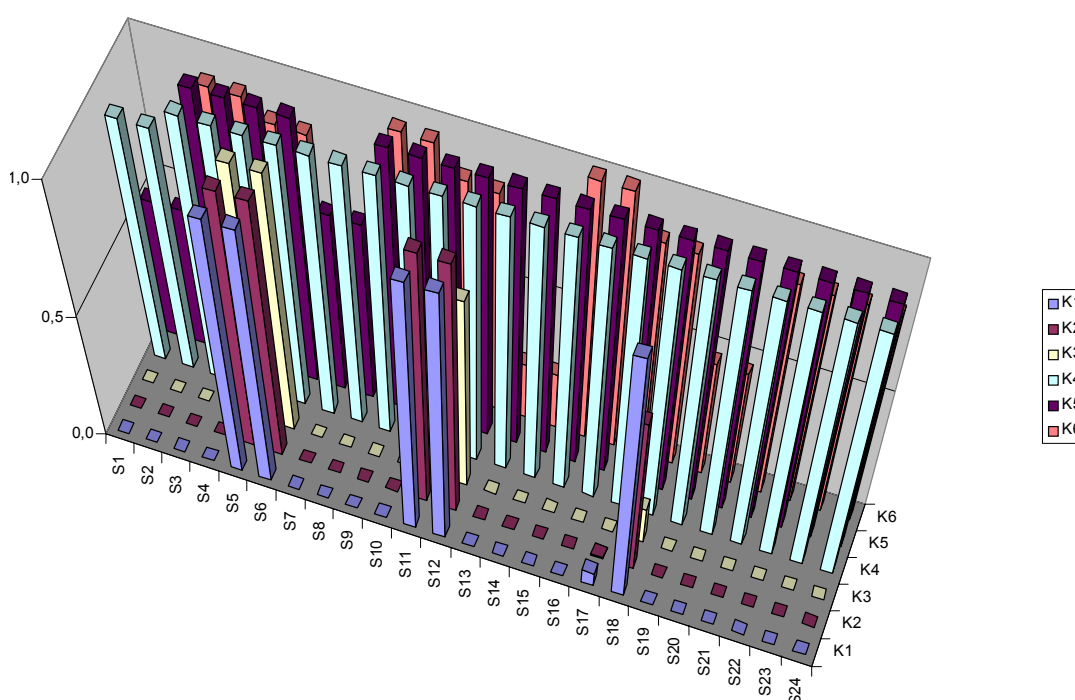
Placeringen av branden och hur komponenterna förhåller sig till detta är naturligtvis viktiga element när det gäller skadan på de senare. Vid placeringen av komponenter har grundtanken varit att placera komponenter i alla de positioner som skulle kunna tänkas ge intressanta skillnader. I ELA 3 har tre typer av skadekomponenter utvärderats, två varianter av kabel samt väggkomponenten. Dessa har placerats på kortväggen intill branden och på motstående kortvägg. Se APPENDIX L med placering av komponenter för en förklarade bild.

### 9.1.7. SAMMANFATTNING SCENARIOUPPLÄGG

I och med de känslighetsanalyser som har utförts har ett antal parametrar varierats, brandtillväxt, ventilation och släckning. De har även här kombinerats i  $4 \cdot 2 \cdot 3 = 24$  konstellationer vilka alla representerar en simulering i FREIA. För en överskådlig bild över detta se händelseträdet i APPENDIX K.

## 9.2. RESULTAT

Simuleringsresultaten från FREIA är kvoter mellan infallande energi samt komponentens skadekriterium. Dessa presenteras i Figur 9-1, för samma resultat i tabellform se APPENDIX H. Som tidigare har z-axeln trunckerats för bättre överblick. Kvoten ett indikerar gränsfallet då komponenten skadas.



Figur 9-1: Skadekvoter från brand i elapparatur 3.

Komponent K1 och K4 i Figur 9-1 representerar väggstruktur på intill branden liggande kortvägg respektive motstående kortvägg. På samma sätt motsvarar K2 och K5 samma punkter för kabel typ I och K3, K6 för kabel typ II. Det ter sig uppenbart från resultaten att K4 skadas i relativt stor utsträckning. Detta är inte konstigt då det handlar om väggkomponenten som är placerad i princip mitt i flammen. En annan trend i Figur 9-1 är att skadorna på väggar naturligtvis är mer utbredda nära in på branden. På nytt visar detta på hur viktig snabb släckning är för omfattningen av brandskador på väggar och annat material. I och med att väggarna är konstruerade med ett minst sagt komplicerat tillverknings- och installationsförfarande är det dyrt och svårt att efter brand reparera (läs byta ut) delar av strukturen. Slutsatsen är att brand skall släckas snarast möjligt. Det går också att utläsa ett släcksystems kontrollerande funktion på brandens utbredning och storlek. Ett släcksystem av denna typen reagerar inte snabbt nog att hindra lokala brandskador på väggmaterial, men det

kan hindra all övrig utbredning av branden, vilket självfallet minskar kostnaderna av en brand och likaså reparationstiden.

Återigen noteras att lokala skador uppstår oavsett släcksystemets eller ventilationens funktion, förutom för kabel typ II, den mycket tåliga kabeltypen. Den senare klarar så pass mycket att den under en tid kan utsättas för direkt värmepåverkan i flaman, och därmed är det bara långvariga övertändningar som ger skador på denna. Att kablarna i rummet, K2, K3, K5, K6, skiljer sig så pass åt i skadenivå visar på hur svårbedömt det hela är. Dock markerar dessa nivåer att någon form av skada är trolig vid utfall där släckning inte sker genast. Detta är av vikt att notera då automatiskt släcksystem inte finns i dagsläget. Ett eventuellt släcksystem ger intryck av att kunna förhindra att kablar skadas i någon större omfattning, förutsatt att systemet är fullständigt funktionellt. Därmed inte sagt att den enda lösningen på detta är att installera ett automatiskt släcksystem, andra släckalternativ är tänkbara.

### 9.3. STATISTISK RESULTATANALYS

En statistisk analys av simuleringsresultaten har genomförts, med syftet att lyfta analysens värde ett steg längre med antaganden kring sannolikheten för respektive händelse. Denna har genomförts med inriktning enligt beskrivning ovan (kapitel 7.3.1).

#### 9.3.1. FÖRVÄNTAD SKADA VID FÖRENKLAD METODIK

Den statistiska analysen har genomförts med nyttjandet av händelseträdsmetodik och ingående sannolikheter har uppskattats genom subjektiva bedömningar. Grundläggande är också att analysen förutsätter att brand uppstått (se kapitel 7.2) ovan. I kapitel 7.2 beskrivs antaganden kring fördelning av sannolikheter på ingående komponenter och i APPENDIX K framställs helheten som ett händelseträd. Då en normal förväntad skada på detta sätt ger ett sannolikhetsviktat medelvärde av resultatnivån har istället en diskret bedömning av resultatet använts. Detta för att ett medelvärde inte ger en rättvis bild av skadeläget om det finns mycket extrema värden, vilket det i många simuleringar gör. Utifrån de diskreta sannolikhetsfördelningar som antagits fås sedan den förväntade diskretiserade skadan vid hytten till följande för respektive komponent, se Tabell 9-1.

Tabell 9-1: Jämförelse förväntad skada med eller utan släckning i elapparatur 3.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Släckning	0,14	0,05	0,01	0,97	0,90	0,03
Ingen släckning	0,92	0,35	0,15	1	1	0

Det är mycket viktigt att detta ses som riktvärden och inte som absoluta tal då analysen är behäftad med osäkerheter bland annat genom subjektiva skattningar. Men detta ger dock en bild kring hur saker och ting kan komma att skadas vid händelse av brand. Resultaten visar precis som väntat att, släcksystemet inte hinner med att förhindra att känsliga komponenter, väggmaterial och vissa kablar, i närheten av branden skadas trots att släckning sker. I övrigt visar analysen på låga sannolikheter för skada av komponenter eller system som inte återfinns i närheten av branden. Detta visar på hur viktigt släckning är för att inte sprida skadebilden från brandens ursprung. Utifrån detta kan ses att det inte är troligt att några stora systemskador uppstår, som

till exempel skulle kunna innebära bortfall av ström, förutsatt att snabb släckning sker. Att detektion sker mycket snabbt är alltså av högsta vikt. Hur sedan släckning sker, automatiskt eller manuellt är av underordnad betydelse. Kanske bör detektorer i speciellt viktiga komponenter elskåp eller liknande övervägas.



# 10. ELAPPARATRUM 5

## 10.1. UPPLÄGG

Scenariot brand i elapparatum 5 består i att en brand i någon av de elektriska enheter som finns i rummet. Scenariot är befogat enligt grovanalysen då funktion på komponenterna är av stor vikt för fartygets operation.

### 10.1.1. BRANDEFFEKT

Miljön i elapparatrummet är precis som i ELA 3 kompakt och väggarna är överhopade med elektriska kopplingar, reläer styrcentraler etc. Med samma resonemang, enligt kapitel 7.2.1, så har bränder i en spridning mellan superslow till fast nyttjats, med tyngdpunkt på slow.

### 10.1.2. SLÄCKSYSTEM

Inte heller i ELA 5 finns i dagsläget något släcksystem. Även till denna analys har ett system nyttjats för att bedöma eventuella skillnader. På samma sätt som beskrivs ovan, kapitel 7.2.2, har släcksystemets påverkan på brand diskretiserats till släckning, begränsning, samt oförändrad utveckling av branden.

### 10.1.3. VENTILATION

Ventilationsflöden har hållits konstanta på normal drift genom hela det brandsimulerade förloppet. Ventilationsflödet är högt, 1900 m<sup>3</sup>/h inklusive den ventilation som är direktkopplad till apparatskåpen.

### 10.1.4. GEOMETRI

Elapparatrummet har i FREIA framställts som ett rättblock med måtten 6,2 · 6 · 2,5 m (b · d · h), vilket är en god överensstämmelse med rummets verkliga geometri.

### 10.1.5. VALBARA VÄRDEN FREIA

Standardvärden har nyttjats med samma grundläggande utgångspunkter som beskrivs i generella antaganden ovan (se kapitel 7.2.5).

### 10.1.6. KOMPONENTER OCH BRAND

På samma sätt som i ELA 3 har komponenterna placerats på kortväggen intill branden och på motstående kortvägg, vilket förklaras med en bild i APPENDIX L.

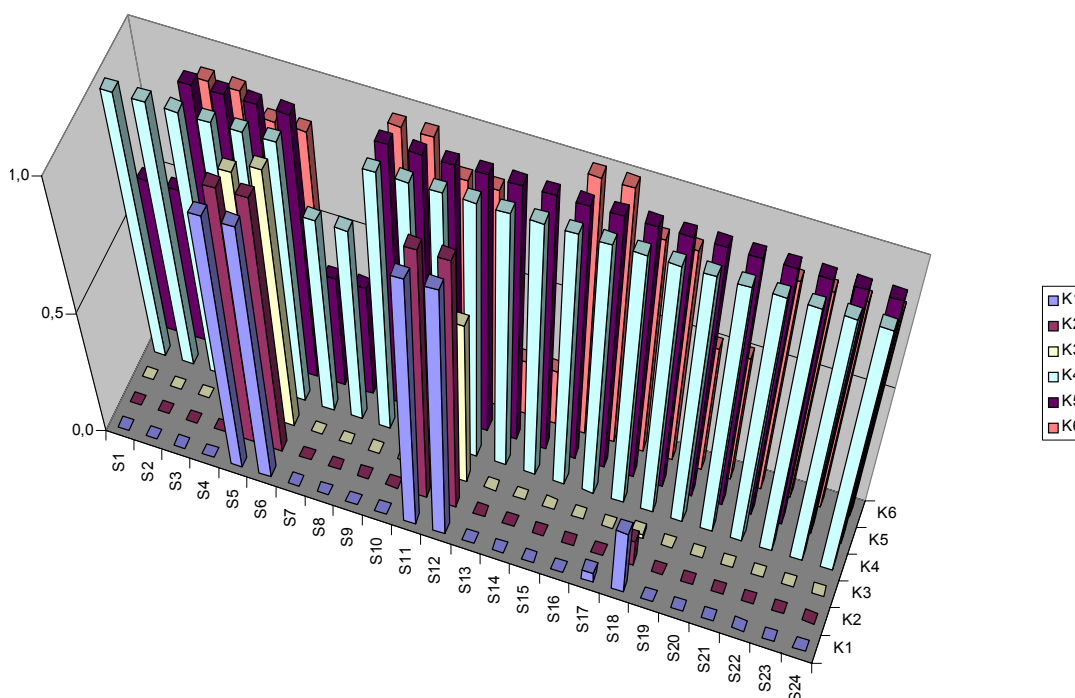
### 10.1.7. SAMMANFATTNING SCENARIOUPPLÄGG

I och med de känslighetsanalyser som har utförts har de tre parametrarna förenats i 4·2·3 = 24 kombinationer vilka alla representerar en simulering i FREIA. En mer överskådlig bild över detta visas i händelseträdet se APPENDIX K.

## 10.2. RESULTAT

Utdata från FREIA är, vilket har nämnts tidigare, i form av kvoter mellan infallande energi samt komponentens skadekriterium. Denna data presenteras nedan i Figur 10-1, och i tabellform i APPENDIX H. Även här har z-axeln trunkerats för bättre

överblick då vissa komponenter uppvisar mycket höga kvoter. Nivån 1 indikerar gränsfallet då komponenten skadas.



Figur 10-1: Skadekvoter från brand i elapparatur 5.

Skadenivån för komponenter i ELA 5 visas i Figur 10-1. Komponent K1 och K4 utgörs av väggstruktur på intill branden liggande kortvägg respektive motstående kortvägg. Vidare motsvarar K2 och K5 samma punkter för kabel typ I och K3, K6 för kabel typ II. Komponent K4 skadas även här i stor uträkning vilket naturligtvis förklaras med väggmaterialets relativa känslighet samt närheten till brandkällan. Det är att vänta att väggen skadas vid brandhärden. Kablarna däremot är tåligare, men typ I skadas ändå i stor omfattning när den återfinns i närheten av branden. Detta står i kontrast med den mycket tåliga kabeln, typ II som bara skadas vid icke släckta och kraftiga bränder. Det är återigen tydligt hur viktig snabb släckning är för omfattningen av brandskadorna, både för väggmaterial och kablar. Det är även tydligt att släcksystemet har både en kontrollerande och begränsande funktion, men lokala skador är ett faktum trots detta. Någon typ av snabb släckning, i klass med den här fiktiva, förefaller kunna förhindra några extensiva skador på kablar, vilka här representerar styrsystem och elförsörjning, och därmed torde det ge en god fortsatt operationell funktion.

### 10.3. STATISTISK RESULTATANALYS

En statistisk undersökning av simuleringsresultaten har genomförts. Syftet har varit att förbättra värdet av simuleringarna några steg längre med antaganden kring sannolikheten för respektive händelse. Metodiken har beskrivits i kapitel 7.3.1 ovan.

### 10.3.1. FÖRVÄNTAD SKADA VID FÖRENKLAD METODIK

Förväntad skada, utifrån de antagna sannolikhetsfördelningarna, har beräknats med hjälp av händelseträdsmetodik, se kapitel 1.3 och resultaten beskrivs nedan i Tabell 10-1 både med och utan ett släcksystem.

Tabell 10-1: Jämförelse förväntad skada med eller utan släckning i elapparatur 5.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Släckning	0,05	0,05	0,02	0,86	0,76	0,09
Ingen släckning	0,35	0,35	0,14	1	1	0

Skattningarna som har gjorts gör analysen beroende av de subjektiva bedömningar som har genomförts på vägen. Det är av vikt att detta hålls i åtanke vid nyttjandet av det förväntade värdet, det är inte en absolut sanning utan en subjektivt baserad förväntad skada. Vidare bör också noteras att sannolikheten för skada är givet brand och frekvensen för brands uppkomst har inte beaktats.

Det är tydligt att släcksystemet sänker nettoeffekten på skadenivåerna i stor utsträckning. Det blir här ännu mer tydligt att sannolikheten för att en komponent skall skadas och att ett system skall slås ut när släckning sker är låg, i storleksordningen några procent, för de flesta komponenter. Då är skadorna begränsade i stort sett till känsliga komponenter i den omedelbara närheten till branden, men inte heller då är det säkert att skada på dessa sker. Det beror snarare på brandens effektutveckling. Sammanfattningsvis förefaller riskbilden vara acceptabel om snabb släckning sker. Det ter sig inte troligt att flera system slås ut av brand, om just släckningen har normal funktion.

Notera att för K6 visar analysen att svårare skador skulle uppstå med släckning än utan, vilket verkar mycket otroligt. Det är en produkt av en analysbegränsning som innebär att den tid som branden har utsatts för när släckning finns, har varit några sekunder över den grundläggande simuleringstiden, 10 minuter. Det ökar energiflödena till komponenten och den uppvisar skada aningen felaktigt. Felet ligger dock i de felmarginaler som kan förväntas i en så beskaffad analys.



# 11. LASTDÄCK

## 11.1. UPPLÄGG

Scenariot på lastdäck skiljer sig från de ovan beskrivna genom att geometrin är betydligt större, bränderna är kraftigare och snabbare samt att det finns andra objekt att undersöka eventuella skador på. Bland annat så förvaras minor och torpeder på lastdäck.

### 11.1.1. BRANDEFFEKT

Eventuella bränder på lastdäck kan bestå i spray eller poolbränder från de brännbara vätskor som finns på lastdäck, allt från alkohol, hydraulvätska eller helikopterbränsle. För lastdäcket har två bränslen valts, en relativt tung olja och olja till transformatorer, vilka sedan har antagits kunna rinna ut i pölar med tre olika storlekar, diametrarna 1, 2, 3 meter. För dessa har förväntad maximal effektutveckling beräknats enligt gängse korrelationer för poolbränder /30/. Valet och beräkningarna av bränder beskrivs närmare i APPENDIX B.

### 11.1.2. SLÄCKSYSTEM

På lastdäck finns, som tidigare har beskrivits, ett släcksystem med lokal sprinkler, se kapitel 2.4.2. Även för detta har systemets påverkan på brand förutsatts vara diskret i formerna släckning, begränsning, samt oförändrad utveckling av branden. Dessa har simulerats genom anpassning av den brand som legat till grund för respektive delscenario, se Figur 7-3. Tidpunkten för detektion har bestämts genom datormodellen Detact-T2, se APPENDIX F.

### 11.1.3. VENTILATION

Normal ventilation har nyttjats under simuleringen. Flödet är även här mycket högt, närmare bestämt  $16170 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### 11.1.4. GEOMETRI

Lastdäck är mer eller mindre ett stort rätblock även om de yttre väggarna lutar några grader. Även i FREIA har däckets framställts rektangulärt med måtten  $24 \cdot 9 \cdot 3,5 \text{ m}$  (b · d · h). Det är värt att notera att tvåzonsmodeller inte nyttjar några modeller för transport av brandgaser i horisontalled, varför värmeöverföring till tak och inblandning av kalla gaser missas. Detta innebär att FREIA förmodligen överskattar temperaturer i brandrum med långt utsträckta tak en aning, varför en viss extra osäkerhet uppstår vid denna simulering. Eventuell överskattning ger dock ytterligare konservativa värden vilket får accepteras, enligt osäkerhetspolicyn.

### 11.1.5. VALBARA VÄRDEN FREIA

Grundläggande värden och inställningar av simuleringsmodellen FREIA har nyttjats utan förändringar på sätt som beskrivs i kapitel 7.2.5.

### 11.1.6. KOMPONENTER OCH BRAND

På liknande sätt som tidigare har komponenter utplacerats i placeringar som har förväntats ge en bra spridning på de skador som uppstått. Kortväggen intill branden

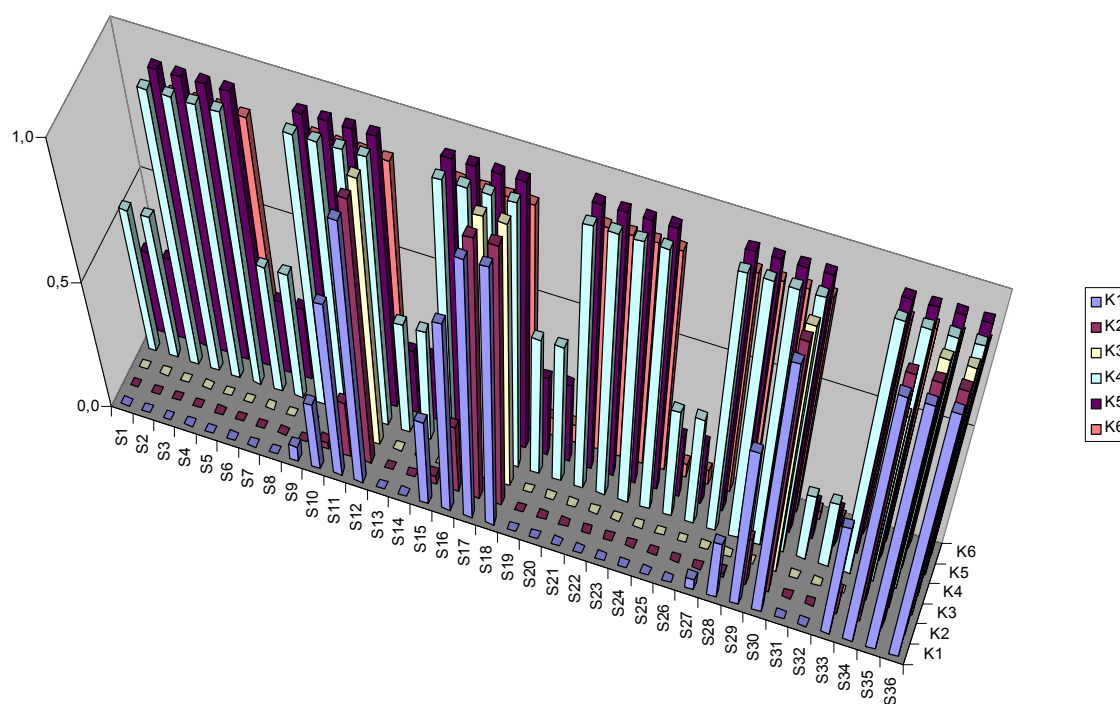
och motstående kortvägg har varit föremål för dessa. För en förklarade bild se APPENDIX L.

### 11.1.7. SAMMANFATTNING SCENARIOUPPLÄGG

Parametervariationen har, till skillnad mot övriga scenarier, bestått av  $6 \cdot 2 \cdot 3 = 18$  kombinationer, då brandens storlek (6), ventilationsförhållanden (2) och släckning (3) har varierats. För en överskådlig bild över detta se händelseträdet i APPENDIX K. Vid ett senare tillfälle, efter analysen, har framkommit att någon form av dräneringsfunktion finns inom vissa områden på lastdäck. Därigenom skulle eventuella spill inte kunna utbreda sig till en poolbrand. Dessa spygatten, dräneringsdon, finns dock inte överallt på däck, varför det får anses att dräneringsfunktionen enbart minskar sannolikheten för brands uppkomst.

## 11.2. RESULTAT

Resultaten från FREIA presenteras i Figur 11-1 i form av kvoter mellan infallande energi och komponentens skadekriterium. Samma resultat finns för detaljstudie också i tabellform i APPENDIX H. Z-axeln har trunkerats då vissa komponenter uppvisar kvoter mycket höga kvoter. Gränsfallet för skada är som tidigare då kvoten passerar 1.



Figur 11-1: Skadekvoter från brand på lastdäck.

Komponenterna K1 och K4 i Figur 11-1 representerar väggstruktur på mot branden motstående respektive intilliggande kortvägg. På samma sätt utgör K2 och K5 samt K 3 och K6 exempel på kabel av typerna I respektive II i motsvarande placeringar. I och med de stora avstånd som finns på lastdäcket blir skadorna från en brand väldigt lokala om släcksystemet fungerar som det skall. Komponenter i övriga delar av rummet påverkas som synes knappt alls. Däremot kan mycket extensiva skador förväntas om släcksystemet av någon anledning inte fungerar. Det är naturligtvis en följd av de kraftiga bränder som kan förväntas på lastdäck. Därmed får anses att skadorna i stort på de undersökta komponenterna blir relativt små. Det är också tydligt

att släcksystemet spelar stor roll, både som kontrollerande och begränsande funktion. I och med den stora skillnaden mellan fungerande släckning och icke helt tillfredsställande sådan är det tydligt att släcksystemets förmåga att verkligen släcka varje uppkommen brand är av största vikt. Alla eventuella hinder för släckning, såsom dåligt underhåll, mänskligt felhandlande och liknande måste elimineras, då brandsäkerheten här är så beroende av funktionen. Ett dilemma när det gäller lastdäck är att det även finns minor och torpeder på däck. Dessa är i och för sig relativt tåliga för brand, men en eventuell detonation skulle av naturliga skäl vara förödande för fartyget. Då torpederna skyddas separerat med skumsprinkler är en trovärdig utvärdering av funktionen mycket svår att utföra. På grund av bristande information kring dessa torpeder har en förenklad analys av tiden till dess att en torped skadas genomförts, se APPENDIX D. Resultatet från denna visar att det är relativt korta tider det handlar om, innan det yttre höljet av aluminium går sönder om en torped hamnar mitt i en brand. Naturligtvis ger begjutning med skumsprinkler längre tidsrymd innan branden måste tas om hand för att inte få skadade torpeder. Minorna har inte utretts, återigen genom bristfällig information kring dessa. De får dock antas vara minst lika tåliga som torpederna då de senare har ett känsligt skal av aluminium.

### 11.3. STATISTISK RESULTATANALYS

Den statistiska analysen har som tidigare utförts med hjälp av händelseträdsanalys och den visar sannolikheten att respektive komponent skall skadas. Metodiken har beskrivits i kapitel 7.3.1.

#### 11.3.1. FÖRVÄNTAD SKADA VID FÖRENKLAD METODIK

Sannolikheten för skada för respektive komponent på lastdäck visas i Tabell 11-1.

Tabell 11-1: Förväntad skada med släckning på lastdäck.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Förväntad skada	0,12	0,12	0,07	0,30	0,30	0

Som tidigare nämnts är det av vikt att de subjektiva bedömningar som analysen är beroende av hålls i åtanke vid nyttjandet av det förväntade värdet. Det är inte en absolut sanning utan en delvis subjektivt baserad förväntad skada, givet brands uppkomst.

Komponenterna K1 och K4 i Tabell 11-1 representerar väggstruktur på mot branden motstående respektive intilliggande kortvägg. På samma sätt utgör K2 och K5 samt K3 och K6 exempel på kabel av typerna I respektive II i motsvarande placeringar. Resultaten visar på relativt låga sannolikheter för skadade komponenter vid brand på lastdäck. Detta är förmodligen en konsekvens av lastdäckets stora volym så att branden blir väldigt lokal, och värme sprids över större ytor. Sammanfattningsvis förefaller riskbilden över dessa komponenter vara acceptabel om snabb släckning sker. Det ter sig inte troligt att flera system slås ut av brand, om just släckningen fungerar. Som har nämnts ovan har torpeder och minor på lastdäck helt andra kriterier för skada. Förmodligen kan deras monetära värde avvaras vid en brand, men däremot är det viktigt att detonation, eller deflagration inte uppstår för fartygets överlevnad. Detta har översiktligt utretts i APPENDIX D.





# 12. MASKINRUM

## 12.1. UPPLÄGG

Scenariot brand i maskinrum består i att en brand uppstår genom läckande bränsle eller liknande. Scenariot är sannolikt då detta normalt är den vanligaste brandorsaken på fartyg /43/. Däremot har HMS Visby dubbelmantlade bränslerör samt punktsläckning och vätskekylda avgasrör för att minska sannolikheten för brands uppkomst. Däremot arbetar generatordieselmotorerna med höga bränsletryck och en av dem har inte någon kapsling eller punktskydd.

### 12.1.1. BRANDEFFEKT

Brandeffekterna består i spraybränder då bränsle släpps ut under högt tryck, som finfördelas och antänds. Tre olika storlekar på bränder har nyttjats, se APPENDIX B.

### 12.1.2. SLÄCKSYSTEM

Maskinrummet är utrustat med halotron gassläckning vilket har beskrivits ovan. Detta gör att påverkan på branden bara har beskrivits som släckt brand eller fortsatt brandutveckling. Något alternativ med kontrollerad brand är inte att vänta, då ett gassystem inte kan prestera något sådant.

### 12.1.3. VENTILATION

Det normala ventilationsflödet har inte förändrats inför simuleringarna utan normal drift har antagits. Ett stort flöde finns även här, ungefärligen  $3960 \text{ m}^3/\text{h}$ . Noterbart är att frånluften från maskinrummen går som överluft till lastdäck och sedan ut i det fria.

### 12.1.4. GEOMETRI

Maskinrummet har i FREIA framställts som ett rättblock med måtten  $5,5 \cdot 10 \cdot 4,5 \text{ m}$  ( $b \cdot d \cdot h$ ).

### 12.1.5. VALBARA VÄRDEN FREIA

Alla grundinställningar av simuleringarna har nyttjats i enlighet med argumentation som beskrivs i kapitel 7.2.5.

### 12.1.6. KOMPONENTER OCH BRAND

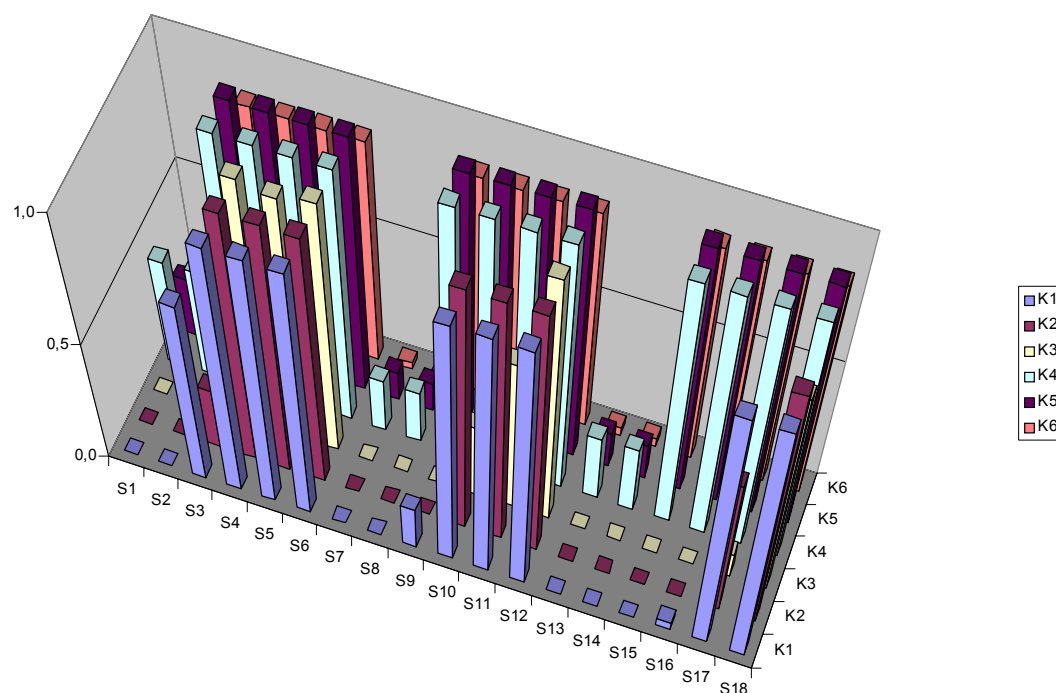
Som vanligt har grundtanken varit att placera komponenter i alla de positioner som skulle kunna tänkas ge intressanta skillnader i skadenivå för att belysa spridningen. Detta har gett motstående och närliggande vägg gentemot branden vilket förklaras med figur i APPENDIX L.

### 12.1.7. SAMMANFATTNING SCENARIOUPPLÄGG

Variationerna av tre parametrar, brandutveckling, ventilation samt släckning har gett  $4 \cdot 2 \cdot 3 = 24$  kombinationer och alla representerar en simulering i FREIA. Händelseträdet i APPENDIX K beskriver detta bättre.

## 12.2. RESULTAT

Kvoter mellan infallande energi samt komponentens skadekriterium för maskinrummet presenteras i Figur 12-1. Som vanligt betraktas bara området kring gränsvärdet ett, där överskridandet till skada sker.



Figur 12-1: Skadekvoter från brand i maskinrum.

I Figur 12-1 beskriver K1 och K4 väggmaterial, K2 och K5 kabel typ I samt K3 och K6 kabel typ II på gängse platser. En mycket tydligt gruppering syns här kring de simuleringar där släcksystemet inte har tänkts ha normal funktion. I princip samtliga komponenter verkar också skadas när släckning inte sker. Utifrån detta kan både släcksystemets relevans för säkerheten samt utrymmets sårbarhet utläsas. Det är tydligt att säkerheten i maskinrummet är beroende av flera aktiva säkerhetssystem. Till dess fördel talar dock att detta är redundanta system som är skapade för att täcka upp varandra, punktskydd och sedan också rumsskydd. I allmänhet bör viss försiktighet vidtas innan för mycket tillit läggs på flera aktiva system. Dessa är beroende av skötsel, korrekt montering och dimensionering, samt att inga övriga mänskliga misstag görs.

## 12.3. STATISTISK RESULTATANALYS

Den statistiska resultatanalysen som har genomförts har haft ett huvudsakligt syfte, att bredda analysens värde genom att uttrycka något kring sannolikheten för respektive händelse. I kapitel 7.3.1 beskrivs den övergripande metodiken närmare.

### 12.3.1. FÖRVÄNTAD SKADA VID FÖRENKLAD METODIK

Tabell 12-1 nedan beskriver förväntad skada på komponenter i maskinrummet, byggt på den förutsättningen att antagna fördelningar är någorlunda trovärdiga.

Tabell 12-1: Förväntad skada med släckning i maskinrum.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Förväntad skada	0,15	0,15	0,10	0,15	0,15	0

En analys som ovan är behäftad med vissa osäkerheter och det är angeläget att beakta detta vid nyttjandet av dessa data. Som tidigare har nämnts är gassläckning med Halotron, vilket används i maskinrummet, en beprövad metod för rumsskydd. Om systemet är helt rätt dimensionerat så får ett sådant system anses vara mycket tillförlitligt. Dock kan det vara en svårighet att dimensionera tryckavlastningar och ventilation i förhållande till släckmedlet, varför en hundra procentig konfidens inte är att förvänta. Därför visar också dessa komponenter en mycket god överensstämmelse med reliabiliteten för släcksystemets funktion. Endast kabel typ II avviker då denna tål mycket mer än övriga komponenter. Genom likheten med subjektivt skattad reliabilitet kan den subjektiva inverkan på analysresultatet bedömas vara avgörande, och vid nyttjandet av dessa resultat måste man ha detta i åtanke. Dock visar det hur avgörande systemets funktion är för helhetsbilden. Om detektionen är snabb och släcksystemet helt funktionellt så kan slutsatsen dras att mycket små skador är att vänta och därmed också små chanser till störning av styrsystem eller dyrbara reparationer. Det får anses att brandskyddet i maskinrummet är relativt kapabelt och ger ett gott skydd mot undersökta bränder om systematisk översyn, service och testning av systemen sker. Slutligen så framgår det inte av ritningar över ventilationen hur tryckavlastningen är tänkt att fungera, så en översyn är att rekommendera om detta inte är genomtänkt.



# 13. STRIDSLEDNINGSCENTRAL - SLC

## 13.1. UPPLÄGG

Stridsledningscentralen är vid bruk av fartyget alltid ett befolkat utrymme. En tänkt långsam brand kommer förmodligen att upptäckas och förhoppningsvis också släckas snabbt. Däremot då fartyget ligger vid kaj, eller av annan anledning inte brukas, kan en fara för komponentskada uppstå. Brandbelastningen består i huvudsak av bränder i utrustningen.

### 13.1.1. BRANDEFFEKT

Med samma resonemang som förs i de generella antagandena, kapitel 7.2.1, så användes en relativt långsam branduppsättning, till största delen slow. Dock finns en spridning med från superslow till fast.

### 13.1.2. SLÄCKSYSTEM

I stridsledningscentralen finns inte något automatiskt släcksystem installerat med motiveringen att den alltid är bemannad. För jämförelse har ett släcksystem i klass med HiFog-systemet som finns i inredningen använts.

### 13.1.3. VENTILATION

Ventilationsflödet har nyttjats med normal drift i enlighet med argumenteringen i kapitel 7.2.3. Ett relativt stort flöde existerar normalt i rummet. Ventilationen omsätter 2600 m<sup>3</sup>/h.

### 13.1.4. GEOMETRI

Stridsledningscentralen har beskrivits som ett rätblock med måtten 6,1 · 7,8 · 2,5 m (b · d · h), vilket är en förenkling. SCL består av två rum, ett utrymme som är den huvudsakliga stridsledningscentralen, samt ett ytterligare mycket litet krypin som är en radiocentral. Den senare är mycket litet och har bara utrymmesmässigt lagts till volymen i den simulerade lokalen då FREIA inte hanterar multipla utrymmen.

### 13.1.5. VALBARA VÄRDEN FREIA

Grundläggande inställningar till simuleringarna i FREIA har brukats enligt den standardrutin som beskrivs i kapitel 7.2.5.

### 13.1.6. KOMPONENTER OCH BRAND

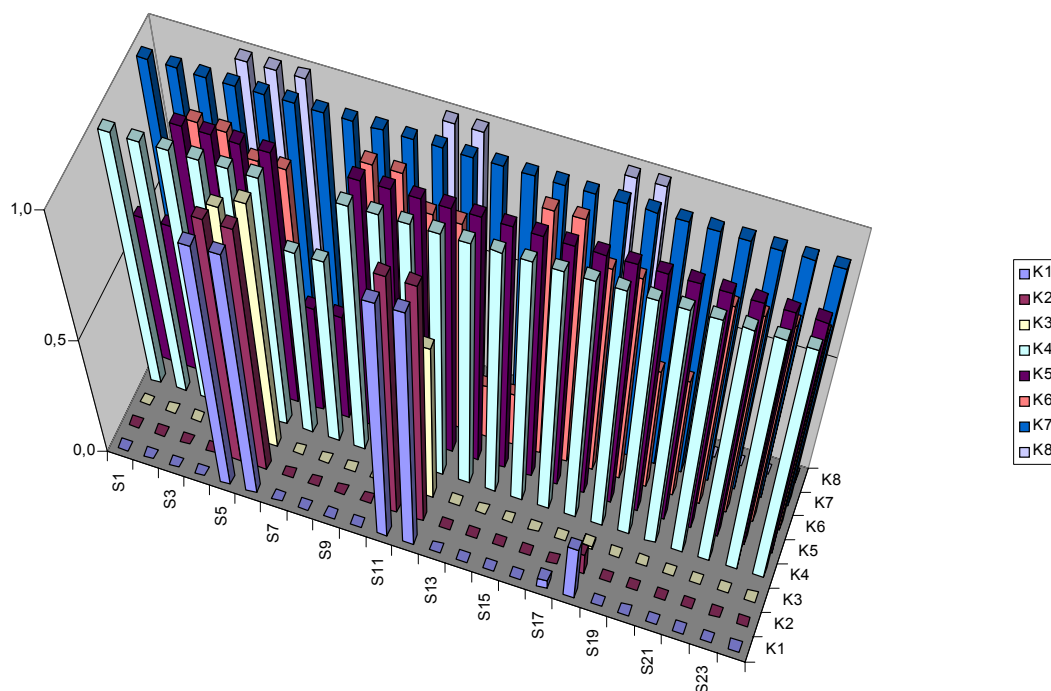
Precis som tidigare har komponenter utplacerats i positioner som har förväntats ge en stor spridning på eventuella skador. Detta har inneburit att kortväggen intill branden och motstående kortvägg, samt motstående hörn har varit föremål för dessa, se APPENDIX L.

### 13.1.7. SAMMANFATTNING SCENARIOUPPLÄGG

Då parametrarna brandens storlek, ventilationsförhållanden samt släckningsalternativ kombinerats har 4·2·3 = 24 kombinationer uppstått. Detta presenteras överskådligt i händelseträdet i APPENDIX K.

## 13.2. RESULTAT

Som tidigare nämnts, levererar FREIA utdata i form av kvoter mellan infallande energi samt komponentens skadekriterium. Dessa för stridsledningscentralen presenteras nedan i Figur 13-1, för samma resultat i tabellform se APPENDIX H. Z-axeln har återigen trunckerats för bättre överblick.



Figur 13-1 Skadekvoter från brand i SLC.

Figur 13-1 visar skadenivån för komponenterna i SLC. Komponenten K4 representerar väggstruktur invid branden. Likaså svarar K5 och K6 mot samma punkter för kabel typ I, respektive kabel typ II. Analogt finns K1-K3 på motstående kortvägg. Slutligen är K7 och K8 punktkomponenter, mänsklig hud, som för jämförelse har lagts in i båda hörnen vid och mitt emot branden, se APPENDIX L för detaljerna kring komponentplacering.

Det ter sig uppenbart från resultaten att alla komponenter i närheten av branden skadas, till viss del undantaget kabel typ II när släckning sker. Det har visats tidigare att släcksystemen helt enkelt inte är snabba nog att förhindra lokal brandpåverkan just i närheten av branden, det är oundvikligt oavsett. Däremot är detta knappast att förvänta sig om personal finns i rummet, då dessa med gasfyllda handbrandsläckare med bajonettkoppling snabbt kan göra en insats och förhindra brandens vidare utveckling.

I Stridsledningscentralen uppstår ett helt annat problem som vid en väl utvecklad brand kan bli mycket kostsamma, nämligen icketermiska skador från den rök som alstras. Modern digital elektrisk utrustning är mycket känslig för de produkter som en brand frambringar. Framförallt vissa halogengaser, klor - Cl och fluor - F, som frigörs från bränslet genererar bekymmer eftersom de tillsammans med luftens vattenånga

bildar syror och svår korrosion kan uppstå. Även sot skapar problem med bryggor av sotpartiklar som kan generera överledningsproblem och kortslutningar, problem som kan vara både reversibla och irreversibla, beroende bland annat på sotmängd och konfiguration. Enligt resonemang i kapitel 6.3 förutsätts att en brand som inte släcks mer eller mindre omedelbart kommer att påverka digitala och elektroniskt utrustning.

Även för SLC är det uppenbart att snabb släckning är viktig för att förhindra extensiva skador. Ett eventuellt släcksystem har också en funktion att begränsa branden till att inte sprida sig utanför brandrummet. För jämförelse är det tydligt att en eventuell människa i rummet nära branden skadas i samtliga fall. Det är dock inte troligt att en människa kan tänkas befinna sig på samma plats i brandrummet under det att branden utvecklas. Dock kan skadenivån ses som en granskning av andra komponenter med känslighet i likhet med mänsklig hud. Det torde finnas några sådana med utrustning fullpackade lokalen.

### 13.3. STATISTISK RESULTATANALYS

En statistisk undersökning av simuleringresultaten har gjorts. Detta för att förfinas värdet av simuleringarna några steg längre med hjälp av antaganden kring sannolikheten för respektive händelse. Metoden för detta har beskrivits i kapitel 7.3.1.

#### 13.3.1. FÖRVÄNTAD SKADA VID FÖRENKLAD METODIK

Förväntad skada har, som vanligt, beräknats med hjälp av händelseträdsmetodik och resultaten beskrivs nedan i Tabell 13-1 både med ett fiktivt släcksystem och som det är i dagsläget utan ett sådant.

Tabell 13-1: Jämförelse förväntad skada med eller utan släckning i SLC.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Släckning	0,05	0,05	0,02	0,86	0,76	0,09	1	0,16
Ingen släckning	0,35	0,35	0,14	1	1	0	1	0,95

Som sagts tidigare beskriver K4 väggstruktur, K5 kabel typ I och K6 kabel typ II i närheten av branden. Analogt är K1-K3 samma komponenter på motstående kortvägg. Slutligen är K7 och K8 mänsklig hud i båda hörnen vid och mitt emot branden, se APPENDIX L.

Genom att K4 och K5 ligger relativt högt är det återigen tydligt att lokala brandskador uppstår vid släckning och självklart även när släckning inte sker. Kabel som är mycket tålig, typ II, verkar dock klara sig bra, oavsett släckfunktion. Detta resultat är dock inte att förvänta om personal finns i rummet. Då kan de med handbrandsläckare snabbt kan göra en insats och förhindra brandens vidare utveckling. Slutsatsen är att de termiska skadorna överlag är mycket små, naturligtvis med ytterst lokala undantag. Som har nämnts ovan är också icketermiska skador ett problem, då brandgaser med sot och korroderande gaser skapar problem med känslig utrustning. Detta diskuteras vidare i kapitel 6.3.





# 14. MANÖVERBRYGGA

## 14.1. UPPLÄGG

Scenariot med brand på manöverbryggan, MB, har likheter med stridsledningscentralen vad det gäller förväntad brandutveckling samt känslig utrustning. Naturligtvis är MB alltid bemannad när fartyget är i bruk, däremot vid kaj eller i docka kan läget helt annorlunda.

### 14.1.1. BRANDEFFEKT

Med samma resonemang som förs i den generella beskrivningen i kapitel 7.2.1 har en långsam spridning av bränder använts. Slow brand har varit mest sannolik och spridningen har varit mellan fast och superslow.

### 14.1.2. SLÄCKSYSTEM

Något släcksystem på MB finns i dagsläget inte. Analysen har genomförts både med och utan släcksystem för jämförelse.

### 14.1.3. VENTILATION

Ventilationen har i simuleringarna varit normal drift för den forcerade ventilationen. Däremot har inte någon dörr eller liknande öppning simulerats då enda öppningen till och från MB är en öppning i golvet. Därmed kan inte varm rök i första hand ventileras ut därigenom och man får inte heller någon av brandens termiska kraft genererat flöde genom denna.

### 14.1.4. GEOMETRI

MB är i form av en trunkerad pyramid. FREIA accepterar dock inte sådana geometrier varför detta har förenklats till ett rätblock där ytan har samma dimensioner som medelvärdet av tak och golv. Måtten blev då  $6,15 \cdot 4,7 \cdot 2,5$  m (b · d · h). Detta innebär att rökgaslagret torde, till en början, sänka sig snabbare än vad som simuleringen visar. Detta spelar dock mindre roll då inte personsäkerhet utvärderas på manöverbryggan.

### 14.1.5. VALBARA VÄRDEN FREIA

Startvärden och inställningar till simuleringarna i FREIA har nyttjats analogt med den standardrutin som beskrivs i kapitel 7.2.5.

### 14.1.6. KOMPONENTER OCH BRAND

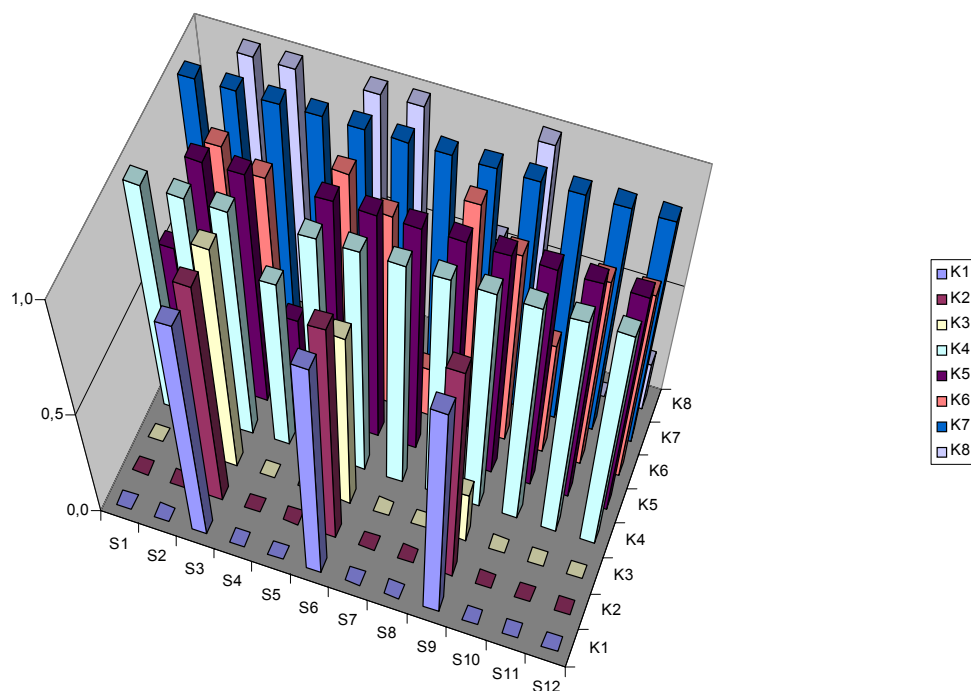
Komponenterna har även här placerats i positioner som har förväntats ge stor spridning på skadorna, kortväggarna intill och motstående branden, för förklarande figur se APPENDIX L.

### 14.1.7. SAMMANFATTNING SCENARIOUPPLÄGG

Variationen av parametrarna ger  $4 \cdot 1 \cdot 3 = 12$  kombinationer, brandens storlek (4 olika), ventilationsförhållanden (1) och släckning (3 olika). För en schematisk bild över detta se händelseträdet i APPENDIX K.

## 14.2. RESULTAT

Resultaten från FREIA är i form av kvoter mellan infallande energi samt komponentens skadekriterium. Dessa presenteras både i Figur 14-1 nedan och i tabellform i APPENDIX H. En trunkering av z-axeln har gjorts för bättre vy över området kring kritiskt nivå, ett.



Figur 14-1: Skadekvoter från brand på manöverbrygga.

I Figur 14-1 motsvarar K1 och K4 i vägg på kortväggen på motstående sida branden respektive vid den. På samma sätt är K2 och K5 kabel typ I och K3 och K6 kabel typ II. K7 och K8 är mänsklig hud, vid branden och i motstående hörn. Resultaten uppvisar inte samma precisa gruppering som tidigare analyser har gjort. Det går dock ändå att dra slutsatserna att relativt omfattande lokala skador är att vänta vid brand om inte brandens utveckling hindras. Det syns en tendens att var tredje simulering har extensiva skador, varför slutsatsen kan dras att släckningen är helt avgörande. Det vill säga att analysen inte visar på några större skador på icke lokala komponenter, förutom då släckningen inte fungerar. Det vill säga att det torde inte vara några problem att med någon typ av släckningsrutin, antingen ett automatiskt släcksystem eller en mycket snabb brandstyrka, förhindra i övrigt utbredda bränder. Vid kaj kommer dock en förmodad brandstyrka inte att hinna förhindra extensiva skador på MB. Med tanke på den avancerade, digitala, elektroniska och dyra utrustning som finns på MB finns det ytterligare problemet med icketermiska skador som beskrivits i kapitel 6.3. Detta är förmodligen något av det svåraste med en utvecklad brand på manöverbryggan.

## 14.3. STATISTISK RESULTATANALYS

Då en statistisk undersökning av simuleringsresultaten har genomförts, enligt metodik beskriven i kapitel 7.3.1, presenteras nedan resultatet av denna.

### 14.3.1. FÖRVÄNTAD SKADA VID FÖRENKLAD METODIK

En förväntad skada för respektive komponent i brandrummet har beräknats. Resultaten beskrivs nedan i Tabell 14-1 både med och utan ett släcksystem för jämförelse.

Tabell 14-1: Jämförelse förväntad skada med eller utan släckning på manöverbrygga.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Släckning	0,14	0,14	0,02	0,86	0,76	0,09	1	0,20
Ingen släckning	0,95	0,95	0,15	1	1	0	1	0,95

Det är återigen tydligt att komponenterna K4 och K5, som är vägg och känsliga kablar i närheten av branden, troligtvis kommer att skadas av en uppkommen brand även om släcksystem finns. Däremot uppvisar inga av de övriga komponenterna stor sannolikhet för skada, då släckning fungerar. Det finns således ett visst, men litet, tidsrum för att manuellt släcka en eventuell brand. Skillnaden mellan släcksystem och icke släcksystem är dock stor och visar verkligen på vikten av snabb brandsläckning. Däremot säger detta inte på något sätt hur denna görs, bara att snar släckning är ett krav. Återigen uppvisar K6 inkonsekventa siffror då sannolikheten för skada är större vid släckning än utan. Detta beror på samma simuleringstekniska problem då några sekunders längre brand har nyttjats vid släckning. Det är dock inom de förväntade felmarginalerna för en dylik analys.



# 15. CFD-SIMULERING AV HYTTBRAND

## 15.1. FÖRDJUPNINGSOBJEKT

Den analys som har använt FREIA som huvudsakligt verktyg för brandsimulering har vissa nackdelar, speciellt då man talar om detaljerad brandsimulering. Därför har en mer djupgående analys genomförts, en så kallad CFD-simulering. CFD är ett betydligt mer noggrant men helt deterministiskt redskap för att prediktera brandförlopp.

## 15.2. CFD-SIMULERING

### 15.2.1. CFD ALLMÄNT

CFD som står för Computational Fluid Dynamics, är i dagsläget den mest avancerade typ av brandsimuleringsverktyg som finns att tillgå. CFD-modellerna, som också kallas fältmodeller, är väl erkända vetenskapliga verktyg inom flera vetenskaper, inte bara brandsimulering. Till exempel har principerna en utbredd användning inom aerodynamiken. Det är först på senare år som de har börjat användas till prediktion av brandförlopp.

Fältmodellerna bygger på grundläggande fysikaliska och kemiska vetenskapliga samband. Till skillnad från tvåzonsmodellerna som delar in ett brandrum i två zoner, ett varmt brandgaslager samt ett kallt opåverkat gaslager, delar CFD-modeller in volymen i ett stort antal små delvolymmer. Delvolymerna, som också kallas celler eller noder, kan, om de väljs i tillräckligt stor antal, betraktas som volymer med konstanta fysikaliska parametrar. Inom varje cell är temperatur, massa och rörelsemängd konstant för varje tidssteg. För alla dessa celler löses sedan konserveringslagarna för massa, energi och rörelsemängd. Till detta länkas sedan ytterligare modeller för grundämnenas bevarande, förbränning, strålning och värmetransport. Dataprogrammen finner numeriska lösningar till konserveringslagarna genom många iterationer och varje cells innehåll är då kopplat till angränsande celler.

För ytterligare allmänna kunskaper om CFD-modellering av brandförlopp hänvisas till *Fire Modelling Using CFD – An introduction for Fire Safety Engineers* /16/, *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* /43/ eller *Enclosure Fire Dynamics – a student handbook Brandteknik* /30/.

### 15.2.2. SOFIE

CFD-koden SOFIE, Simulation Of Fires In Enclosures, har använt till denna analys. SOFIE är en kod som har tagits fram vid Cranfield University av Dr. P. Rubini med stöd av ett konsortium av europeiska branschorganisationer inom brandområdet. Dessa består bland annat av Brandteknik LTH men också Fire Research Station, Health and Safety Laboratory, och Home Office Fire Safety Engineering group i England, VTT i Finland, CSTB i Frankrike och Sveriges provnings och forskningsinstitut i Borås.

### **15.2.3. GEOMETRIHANTERING**

CFD-koden Sofie har i denna version möjligheten att importera geometrier som lagrats i ett vektorbaserat format som kallas wrml. Därför har också geometrin, rummet och dess omgivningar, skapats genom användandet av ett sådant program, i detta fall AC3D. AC3D är en lite enklare variant av ett CAD, Computer Aided Design, som ger användaren möjlighet att skapa geometriobjekt och exportera dem till wrml-formatet.

### **15.2.4. PREPROCESSOR**

En förprocessor, preprocessor, används för att definiera geometrier och tilldela gridnätet dess utbredning samt precisera objekts fysiska aggregationstillstånd, såsom solid eller fluid samt densitet och värmeledningsegenskaper. Postprocessorn används också för att ange vilken typ av lösning som koden skall utföra, hur branden anges samt vilka startvärden, randvillkor, som skall gälla. Sofie innehåller i sig en preprocessor med vilken man kan definiera alla dessa inställningar.

### **15.2.5. SOLVER**

Lösningss algoritmen den så kallade solvern är den itererande delen av koden som löser ovan nämnda ekvationer och kommer fram till en numerisk lösning. Iterationsprocesserna är krävande i fråga om datorkraft och kan ta avsevärd tid, beroende på upplägg av simuleringen och antal celler. Det är oftast denna del som brukar kallas CFD-kod.

### **15.2.6. POSTPROCESSOR**

Efterbehandlingen av de utdata som solvern ger görs i en så kallad postprocessor. För detta finns det flertalet program tillgängliga men här har FieldView /20/ valts. FieldView är ett program speciellt utvecklat för CFD-data och det är relativt användarvänligt.

### **15.2.7. OSÄKERHET I CFD-SIMULERING**

Det står utan tvivel att Sofie är vetenskapligt grundad och har granskats av många oberoende parter inom kunskapsområdet. Koden får anses vara väl verifierad och CFD-koderna är i allmänhet erkänt bra på att modellera så komplexa förlopp som brand. Därför får det anses som att modellosäkerheterna genom detta blir mycket små i varje fall jämfört med tvåzonsmodeller. Men osäkerheter i indata föreligger fortfarande, och är analysens egentliga svårighet. Det är mycket svårt att förutsäga exakt vilken storlek på brand som kommer att uppstå i ett rum och CFD-simuleringarnas komplexitet ger inga möjligheter till statistiska osäkerhetsanalyser. Därför blir den deterministiska CFD-simuleringens resultat helt beroende på branden och denna är i stort sett den huvudsakliga osäkerhetsvariabel som finns. Vikten av att välja en brand i någorlunda rätt storlek kan alltså inte betonas tillräckligt.

## **15.3. GENOMFÖRANDE**

### **15.3.1. SCENARIO**

Scenariot som valdes till djupare analys är brand i hytt. Scenariot delas i två fall där i det ena fallet studeras strålningspåverkan på konstruktionen väggarna i hyttutrymmet. I det andra fallet undersöks brandgasspridning från hytt till närliggande korridor och ventilationens påverkan på fallet.

### 15.3.2. INDATA

#### Geometri och gridnät

I geometrin definieras väggar, tak, öppningar d.v.s. de fysiska delarna av geometrin. Geometrin är en förenkling av hur utrymmen ser ut i verkligheten. Alla detaljer som finns i verkligheten är näst intill omöjligt att ta med i geometrin. Dessutom har formatet och koden SOFIE begränsningar när det gäller hantering av icke räta vinklar och krökta ytor. Vid rökassimuleringen har den verkliga korridoren förenklats en del, framförallt för att simulering av den verkliga korridoren skulle innebära svårigheter och orimlig tidsåtgång p.g.a. för komplicerad och för stor geometri. Förenklingen innebär att bara en begränsad längd av korridoren har nyttjats.

I det första fallet där bara själva hyttutrymmet är viktig för analys blir geometrin enkel. Den består bara av ett rum med ett utrymme utanför så att gaser kan strömma ut motsvarande att korridoren finns, se Figur 15-1. Kuben (röd) i figuren motsvarar branden medan öppningarna i dörren och bakre väggen är ventilationsöppningar; tilluft respektive överluftning i dörren. Utanför rummet finns ett utrymme som slutar med en så kallad "pressure boundary", en yta som tillåter fluider, luft och brandgaser, att strömma ut med ett konstant mottryck. Detta är en simuleringsteknisk detalj som innebär att inga motflöden i korridoren hindrar brandförloppet i hytten.

I det andra fallet finns förutom hyttutrymmet även en korridor. Där spridningen av brandgaser till korridor är viktiga utvecklas geometrin vidare så att en bit av korridoren skapas och ventilationsöppningar från angränsande rum är med, se Figur 15-2 och Figur 15-3. Kuben som syns i Figur 15-3 är branden. Förutom ventilationsöppningar i själva hytten finns det ventilationsöppningar i korridoren som skall motsvara ventilation från de övriga hytterna samt frånluft. En öppning mot det fria längst ner vid golvnivå i korridoren har också införts. Anledningen till detta är att inte orimliga tryckuppbyggnader förekommer vid simulering då branden genererar tryck.

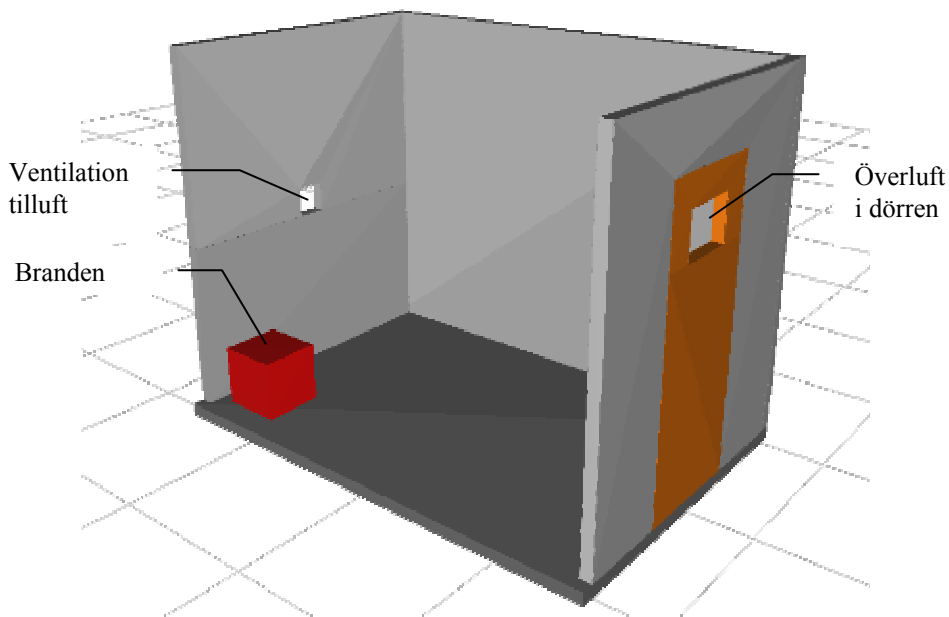
Inläsning av geometrin sker med noggrannhet på 0,02 m samt minst 2 noder per region vilket ger ett gridnät med antal celler för respektive fall enligt Tabell 15-1 och Tabell 15-2. Detta summerar till 21 252 respektive 53 040 celler.

Tabell 15-1: Gridnätets utbredning för fall 1- med strålningsmodell.

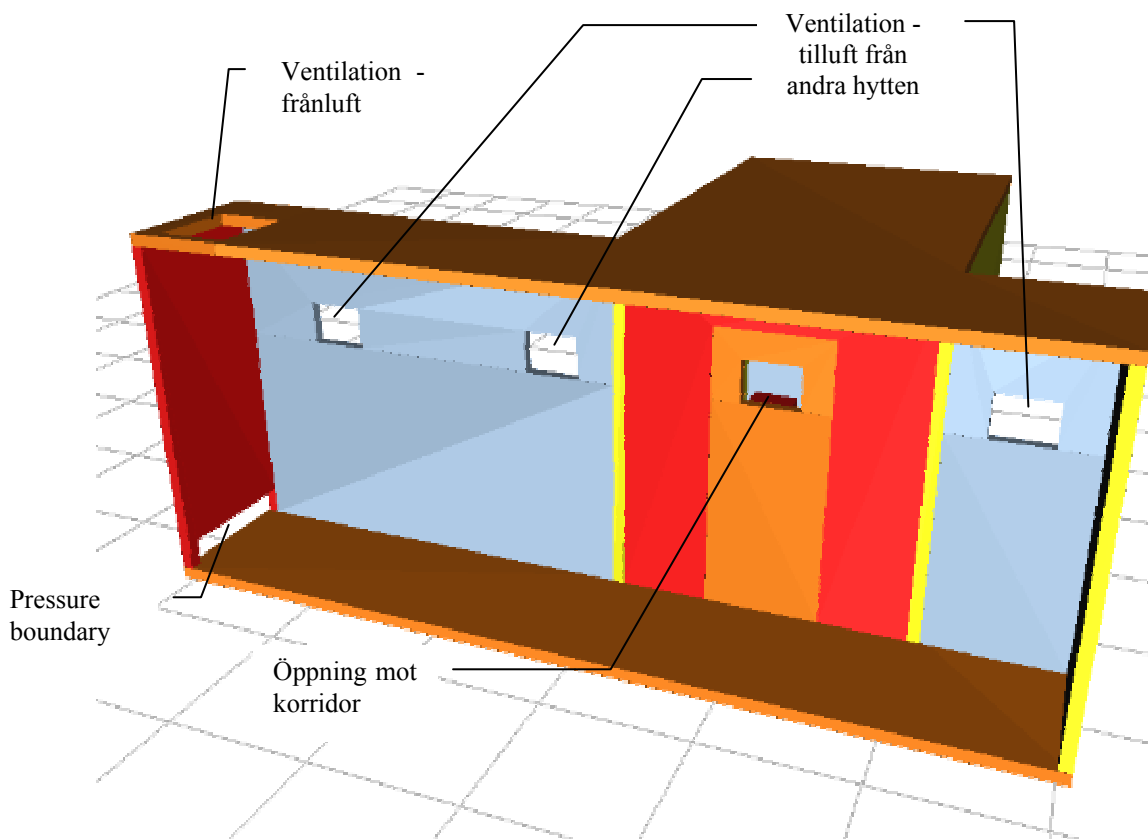
Dimension	Verklig längd	Antal celler	Medelstorlek på celler
X	6,12 m	46	ca 0,13 m
Y	2,56 m	22	ca 0,12 m
Z	2,16 m	21	ca 0,10 m

Tabell 15-2: Gridnätets utbredning för fall 2-utan strålningsmodell.

Dimension	Verklig längd	Antal celler	Medelstorlek på celler
X	4,16 m	34	ca 0,12 m
Y	2,56 m	26	ca 0,09 m
Z	6,16 m	60	ca 0,10 m

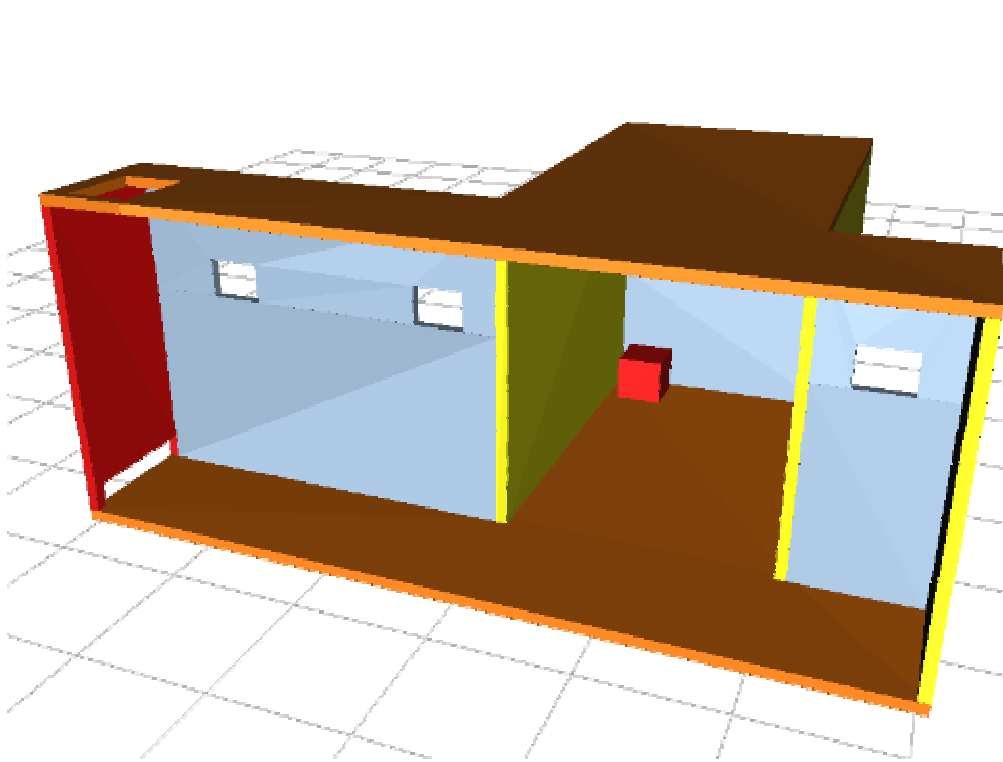


Figur 15-1: Geometrin som den simuleras med strålning.



Figur 15-2: Geometrin i röktransportsimuleringen, vy över korridoren.





Figur 15-3: Geometrin i röktransportsimuleringen, vy in i hytten.

### Termiska egenskaper för väggar och tak

Väggar och tak är byggda i kompositmaterial vilket är brännbart och relativt isolerande. Materialets brandegenskaper samt skadekriterier studerades och redovisas i APPENDIX A om skadekriterier. Konstruktionen består av flera lager med olika termiska egenskaper som värmeledning samt förmåga att konservera energi, värmekapacitet.

Vid simulering utnyttjar SOFIE en databas där de mest använda byggmaterialen med respektive termiska egenskaper finns. I denna databas lades ett nytt material LAMINAT till som motsvarar de gemensamma egenskaperna av alla de olika lagren vilket redovisas i Tabell 15-3 nedan. Beräkningarna av termiska egenskaper, ett så kallat kpc –värde, redovisas i APPENDIX G.

Tabell 15-3: Värmeledningsdata för laminatmaterialiet.

Storhet	Symbol	Enhet	Värde
Värmeledning	K	W / (m·°K)	0,48
Densitet	$\rho$	kg / m <sup>3</sup>	c:a 334
Specifik värmekapacitet	$c_p$	J / (kg·°K)	854

Emissivitet en för insidan av väggarna antogs vara 0,9. Det konvektiva värmeledningstalet för väggarna, som avgör hur stora värmeförlusterna till omgivningen blir, sattes till 10 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>. Värdet är en funktion av omgivningens temperatur, men en föränderlig kopplad funktion för detta saknas i SOFIE. I stället valdes ett anpassat värde som utgår ifrån förväntade temperaturer vid brand.

## Ventilation

I fall 1 där, strålning på konstruktion analyseras, finns det bara en tilluftöppning. I det andra fallet finns därutöver tilluftöppningar från tre närliggande hytter, från ett förråd samt frånluft i taket och under toalettdörren. Dessa utrymmen, hytter, toaletten och förrådet simuleras inte men öppningar till korridoren används alltså i ventilations syfte. Luftomsättningen i frånluftöppningen i korridoren antas vara summan av alla övriga luftomsättningar.

Vidare placerades en öppning till det fria en så kallad ”pressure boundary” längst med golvet i kortändan på korridoren i fall 2. En orimlig tryckuppbyggnad i utrymmen på grund av tryck som branden genererar undviks på det här viset medan evakuering av brandgaser i frånluftventilationen påverkas inte förrän brandgaslagret har sjunkit till öppningens nivå. Därmed var det möjligt att undersöka brandgasernas utveckling över tiden i korridoren. Detta händer om frånluftventilationen inte klarar av att evakuera brandgaserna. Tabellen nedan visar öppningarnas storlek och luftomsättning där tilluft till brandrummet gäller både fall 1 och 2. Öppningens area i kombination med luftomsättningen ger lufthastigheten genom öppningen.

Tabell 15-4. Data om ventilationsöppningar 2 med respektive luftomsättningar.

Ventilationsöppning	Area	Luftoms.	Lufthast. i öppningen
Tilluft i brandrummet	$0,3\text{m} \cdot 0,3\text{m} = 0,09 \text{ m}^2$	+180 m <sup>3</sup> /h	0,56m/s
Tilluft från andra hytter	$0,3\text{m} \cdot 0,4\text{m} = 0,12 \text{ m}^2$	+180 m <sup>3</sup> /h	0,42 m/s
Tilluft från förråd	$0,1\text{m} \cdot 0,5\text{m} = 0,05 \text{ m}^2$	+80 m <sup>3</sup> /h	0,44m/s
Frånluft från toalett	$0,1\text{m} \cdot 0,5\text{m} = 0,05 \text{ m}^2$	-80 m <sup>3</sup> /h	0,44m/s
Frånluft i korridor	$0,6\text{m} \cdot 0,5\text{m} = 0,30 \text{ m}^2$	-560 m <sup>3</sup> /h	0,52m/s

## Lösningmodell

Självklart har en submodell som hanterar förbränningsfenomenet i de gaser som uppstår nyttjats eftersom det är brand som har simulerats. Förbränningsmodellen som har använts i båda fallen är av typen ”Eddy breakup” med turbulensmodell ”High Reynolds number k-ε model”. Förbränning och flamspridning på solida objekt är områden för vilka modeller är under framtagande i dagsläget och några försök till flamspridning inom brandrummet har inte genomförts, det fenomenet hanteras genom val av en med tiden ökande effektutveckling.

Till förbränningsmodellen knöts i det första fallet, en strålningsmodell för simulering av värmeutbyte genom värmestrålning som kallas DTRM, Discrete Transfer Radiation Model. I strålningsmodellen användes  $2 \cdot 16 = 32$  strålar, vilket innebär att varje yta ”ser” strålningsbidrag i 32 olika riktningar. Strålningsmodellen kräver mycket tid och processorarbete. Eftersom huvudsyftet med fall 2 var att studera brandgasspridning och ventilation så användes en enklare förbränningsmodell utan submodellen strålning. Den mer komplicerade geometrin hade inneburit en orimlig tid för simuleringen, i storleksordningen veckor till månader, om strålningsmodellen nyttjades. Vidare har även följande beräkningsmodeller i båda fallen använts:

- Sotmodell av typen ”prescribed source”
- Värmeöverföringsmodell

- En modell för gravitationskorrektur (Buoyancy correction).

Att strålningsmodellen inte användes vid simuleringen innebär att inga värmeförluster kunde ske från de varma gaser som bildas vid förbränningen, om inte de träffar på ett solitt objekt som en vägg. Därmed överskattades gastemperaturerna. För att kompensera för detta har förbränningsvärmets för bränslet skrivits ned med 30 % vilket antas ungefärligen motsvara strålningsförlusterna. Reduktionen är av vikt då strömningen till stor del induceras av termiken i rummet. Viss korrigerings av temperaturerna kunde dock ske i efterhand då simulering med och utan strålning kunde jämföras och justeras.

Tabell 15-5. Använd beräkningsmodell i de två olika fallen

Scenariodel	Benämning	Beräkningsmodell
Hytt strålning	Fall 1	förbränning + strålning med 32 strålar
Hytt brandgasspridning	Fall 2	Förbränning

### Branden

Brandens effekt är egentligen en mycket känslig fråga då den tillför störst osäkerhet till analysen. Det var inte möjligt att med någorlunda noggrannhet verifiera förväntad utvecklad brandeffekt utan provning, vilket tyvärr är alldeles för dyrt att genomföra endast som underlag till CFD-modelleringen. Därför har en aningen starkare brand valts än vad som påstås vara mest sannolikt i den statistiska analysen, men ändå relativt troligt. Detta motsvarar då ett aningen mer konservativt antagande, enligt fastställd osäkerhetspolicy. Branden bestämdes till en  $\alpha^2$ -brand med  $\alpha$ -värdet på  $0.0117 \text{ kW/s}^2$  och är placerad i ett hörn i hytten. Detta svarar mot en s.k. moderate brand och som växer upp till en maximal brandeffekten effekten på 500kW. Det ansågs att max brandeffekten begränsas av ventilationsegenskaperna i rummet och motsvarande maximala effekt uppnås efter 207 sekunder. SOFIE önskar också information om bränsletyp, sotfraktion och specifik värmekapacitet. Bränslet antas vara PMMA, plexiglas, med en sotfraktion som ligger mellan plast- och trämaterial samt specifik värmekapacitet för trämaterial. Bränsletypen påverkar endast resultatet i egenskap av densitet på bränslet samt beroende på en relativt hög molekylvikt, vilket får anses vara i likhet med laminatmaterialet på Visby, samt att sotfraktionen påverkar strålningen från förbränningsgaserna. Sotfraktionen och den specifika värmekapaciteten har anpassats till det material som antas brinna och därför har värdet på sotfraktionen viktas mellan plast- och trämaterial, 10% respektive 90%, d.v.s.  $0,1 \text{ polyuretan (c:a } 0,2\text{g/g)} + 0,9 \text{ trä (c:a } 0,015\text{g/g)}$  som blir  $0,1 \cdot 0,200 + 0,9 \cdot 0,015 = 0,0335 \text{ g/g}$  (gram sot per gram bränsle).

### Script

Simuleringarna genomförs genom att så kallade skriptfiler styr koden, dels själva simuleringen samt även den transienta branden. Scripten redovisas i APPENDIX N.

### 15.3.3. SIMULERING

#### Konvergens

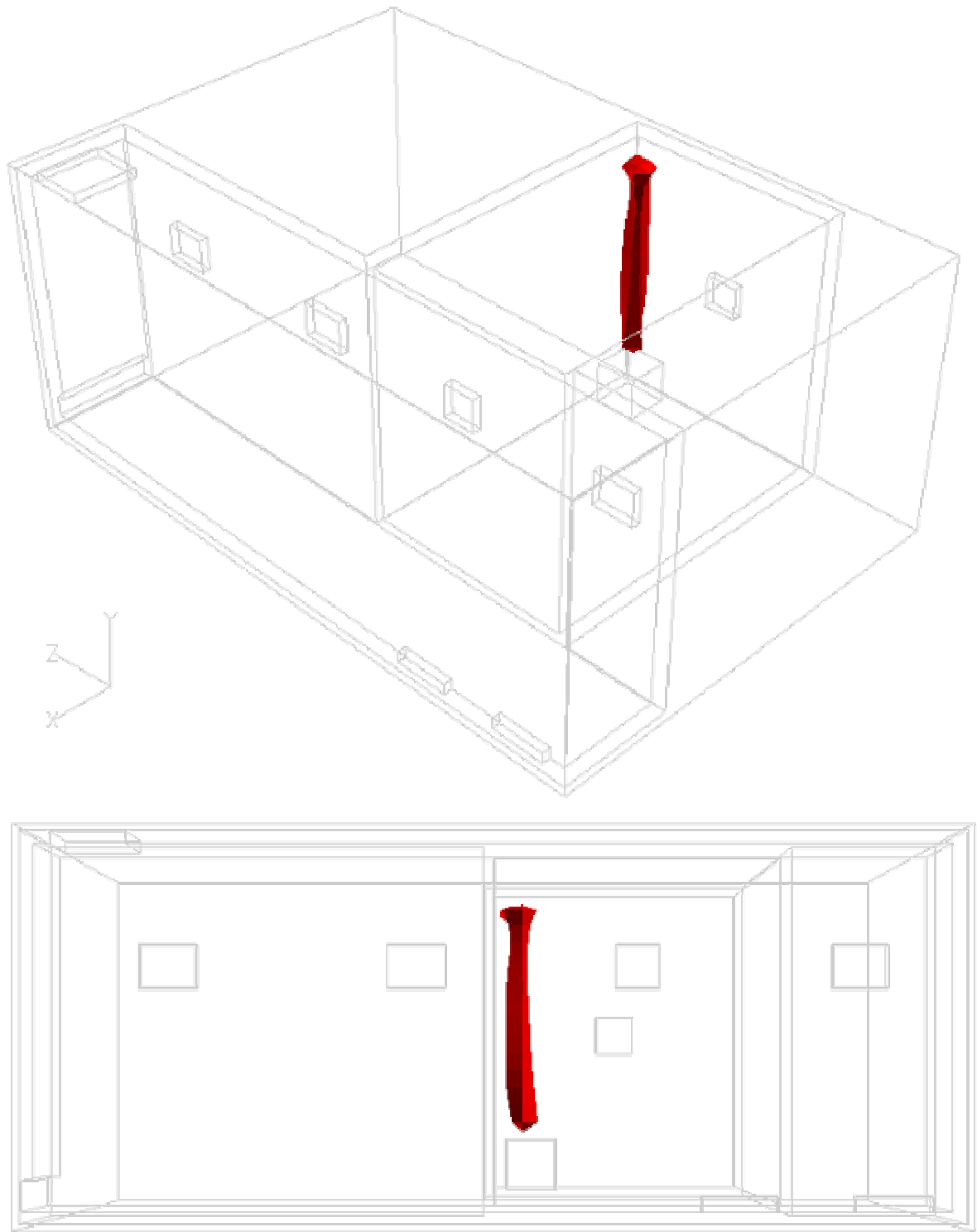
När en datormodell itererar kopplade differentialekvationer skall felet i ekvationslösningarna gå mot noll, d.v.s. konvergera. Exakt noll kommer dock felet aldrig att bli, varför en rimlig gräns för konvergens måste nyttjas. Acceptabel konvergens är när felet är så pass litet att det kan försummas utan att lösningen

förväntas påverkas nämnvärt. Normalt används i SOFIE ett kriterium där det normerade (över alla celler medelvärdesbildade) massflödesfelet inte överstiger en tusendel. För att inte förlänga simuleringstiden orimligt mycket har ett aningen större fel, två promille accepterats i analysen. Fortsättningsvis bör även fel i andra parametrar än massan understiga promillegränsen, vilket också har nyttjats som ett tecken på acceptabel konvergens. Massflödesfelet är dock den viktigaste parametern att kontrollera då flöden av energi och hastigheter är kopplade till densamma. Att dessa kriterier är uppfyllda garanterar inte en konvergerad lösning, då lokala avvikelser kan förekomma, men det är dock en accepterad praktisk metod att undersöka konvergens och om anses normalt vara tillräckligt om inga abnormiteter uppstår vid simuleringen.

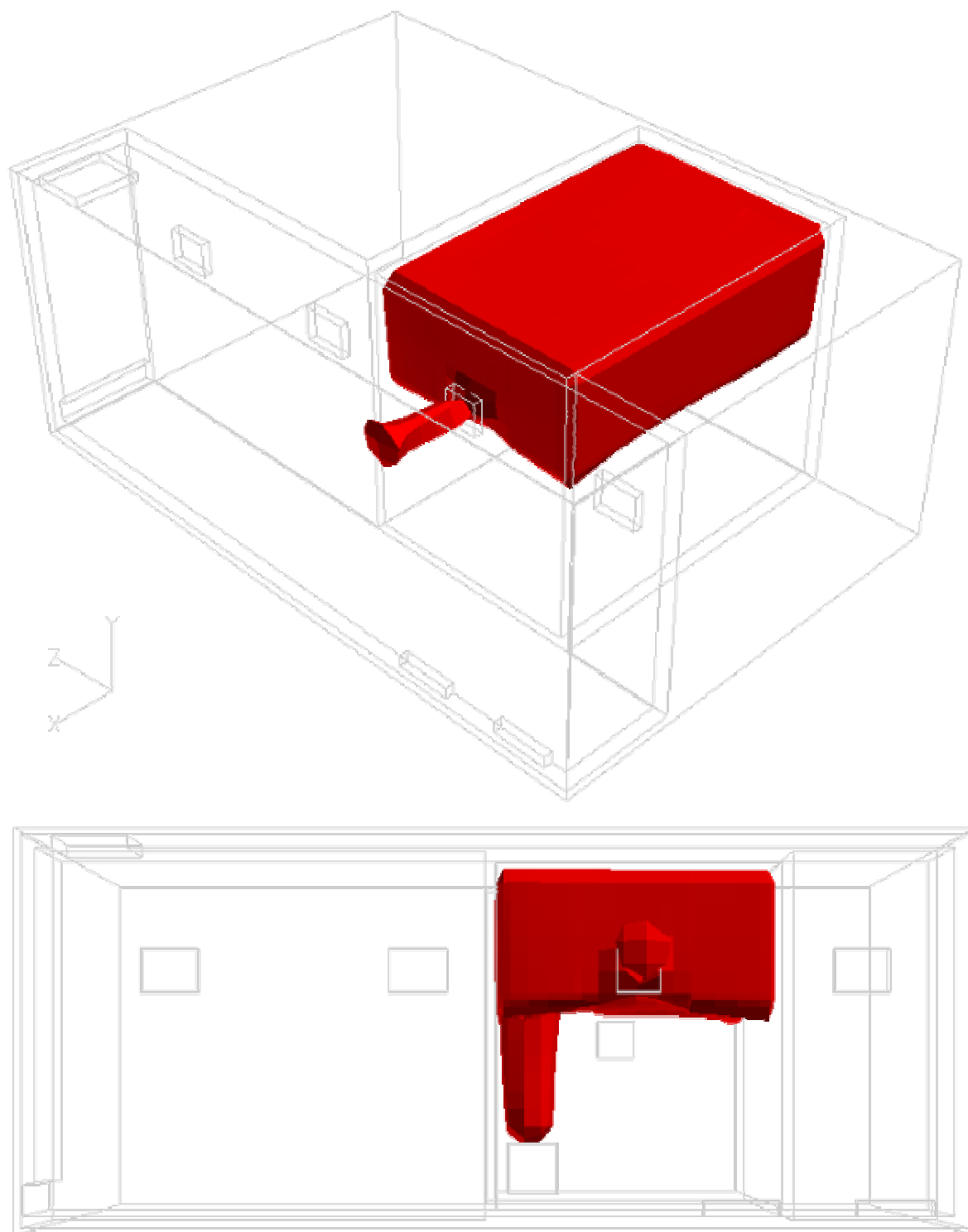
## 15.4. RESULTAT OCH SLUTSATSER

Resultaten från simuleringarna redovisas här som bilder från postprocessorn, FieldView /20/, programmet där resultaten kan visualiseras för analys. Brandgastemperaturerna i fall 2, utan strålningsmodell, överstiger motsvarande temperaturer i fall 1, med strålningsmodell, med ungefärligen 50 % (absoluta temperaturer). Därför har temperaturerna i fall 2 justerats så att resultaten är mer jämförbara.

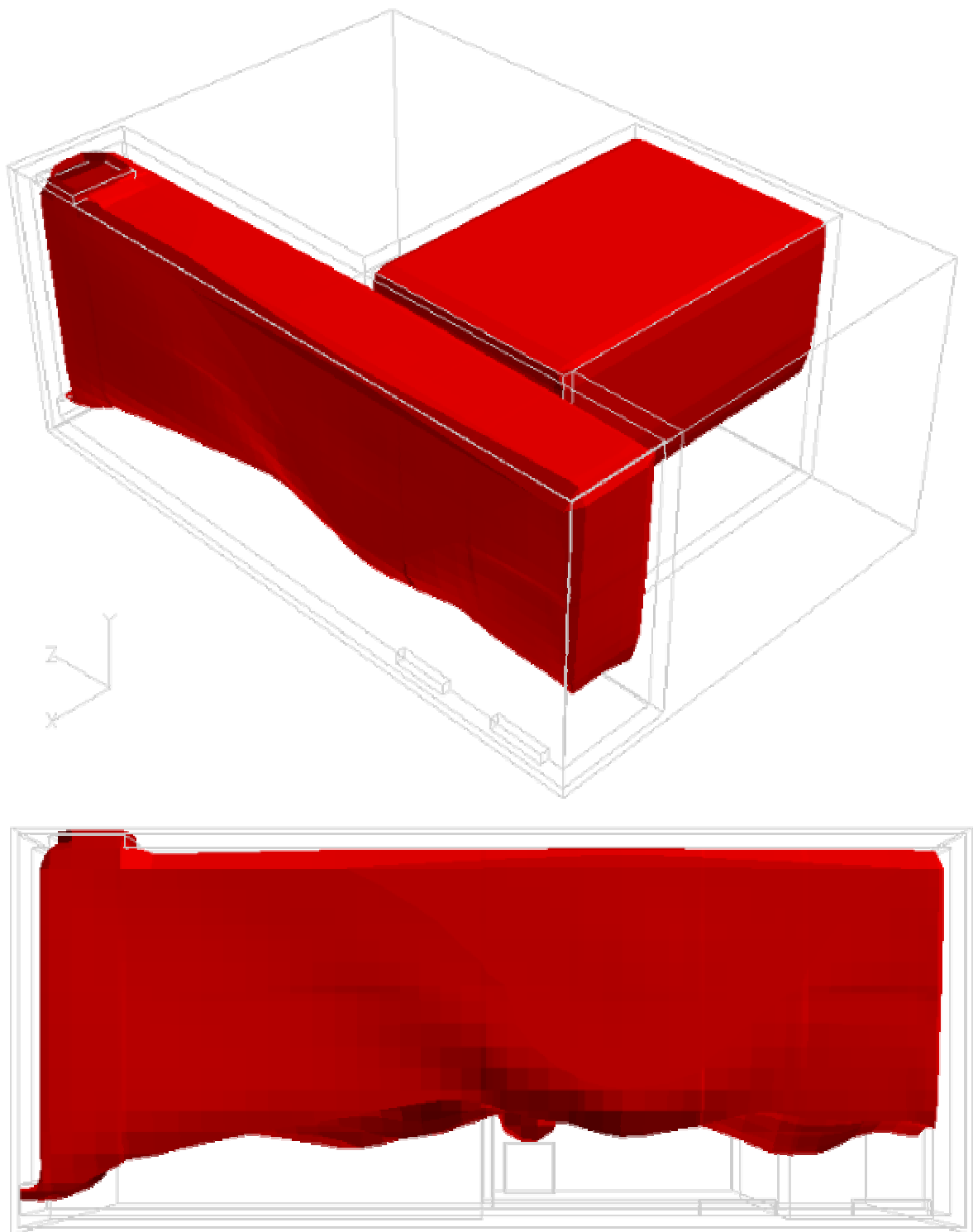
Efter ungefärligen 30 sekunder efter brandens utbrott uppgår brandgasernas temperatur till närmare 80 °C närmast brandplymen, se Figur 15-4. Brandgastemperaturen 80 °C nyttjas som skadekriterium för mänsklig påverkan, se kapitel 6.2.2. Efter ytterligare 15 sekunder har de varma gaserna fyllt hela hytten och börjar, av brandens termik och ventilationen, tryckas ut genom överluftningen i dörren, se Figur 15-5. Brandgaserna fyller sedan korridoren mycket snabbt, då ventilationskapaciteten inte räcker till för att evakuera dessa. Vid tiden 60 sekunder har en miljö skapats där kritiska förhållanden för människa kraftigt överstigs, se Figur 15-6. Rökgassimuleringen, fall 2, visar också att efter en dryg minut har brandgastemperaturerna i frånluften till ventilationssystemet uppnått 200 °C. Då ventilationskanalerna är byggda av aluminiumplåt kan denna temperatur innebära problem, lite beroende på exakt i vilken hytt som branden uppstår.



Figur 15-4: Justerat skadekriterium för människa vid 30 s i två olika vyer.



Figur 15-5: Justerat skadekriterium för människa vid 45 s i två olika vyer.



Figur 15-6: Justerat skadekriterium för människa vid 60 s i två olika vyer.

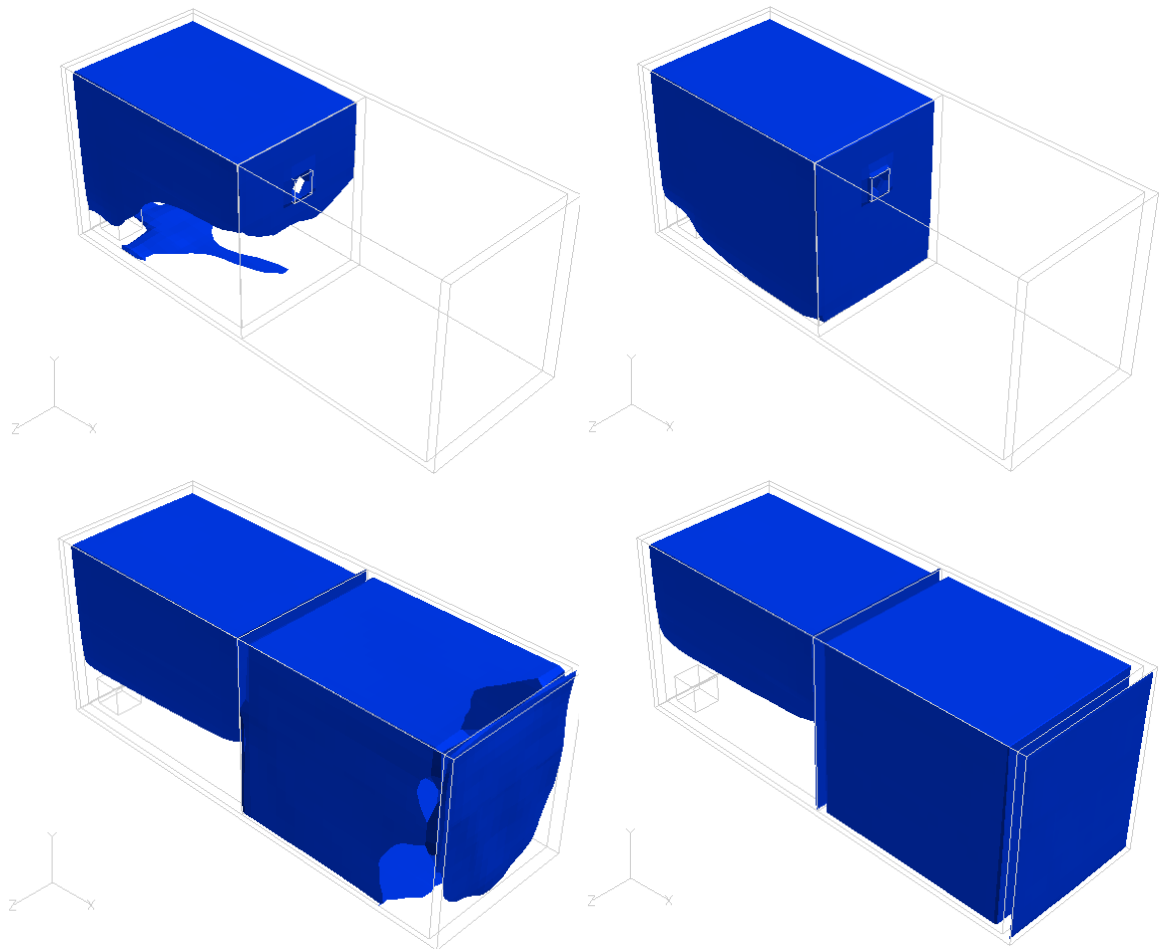
I simuleringen där strålningsmodellen utnyttjats för att undersöka strålningsbelastningen på tak och väggar visas höga värden efter relativt kort tid. Ett referensvärde på strålningsnivå är till exempel  $20 \text{ kW/m}^2$  som anses vara strålningsnivån vid övertändning för inomhusbrand d.v.s. då allt brännbart i

brandrummet antänds. I Figur 15-7, Figur 15-8 och Figur 15-9 redovisas ytor där nivån på infallande strålning har uppnått 10, 20 respektive 30 kW/m<sup>2</sup> för olika tider. Att påverkad yta med aktuell strålning blir större utanför rummet kan förklaras med att i hytten är branden ventilationsbegränsad medan utanför rummet finns det mer syre till förbränningen. I analysen är det skador som uppstår i konstruktionsmaterial i hytt som undersöks. Ändå kan slutsats dras om att skador i konstruktionen uppstår då branden inte är ventilationskontrollerad som in i hytten.

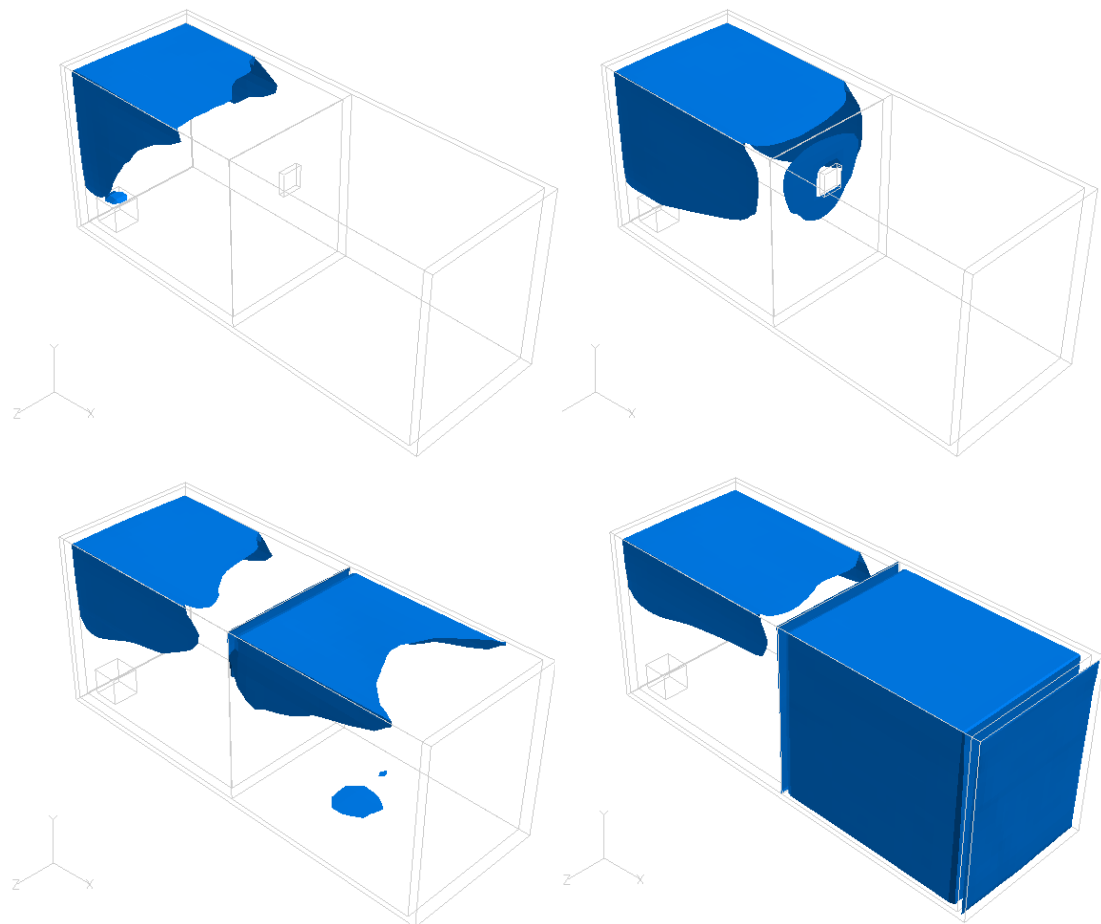
Med stigande värde på strålning minskar arean på den påverkade ytan men belastningen är i överlag stor. Analysen av brandpåverkat laminatmaterial i visar att vid till exempel konstant 10 kW/m<sup>2</sup> i c:a 190 sekunder uppnås skadlig energi nivå enligt ”critical heat load” konceptet se APPENDIX A. Denna tid blir kortare för 20 kW/m<sup>2</sup> respektive 30 kW/m<sup>2</sup>, nämligen ca 130 respektive 120 sekunder. Andelen vägg och tak material som utsätts för skadlig energinivå, strålningsnivå gånger tid, är mycket stor. Storleken av skadligt brandpåverkad yta efter en viss area är kanske inte så väsentlig då även en mindre yta som behöver renoveras (bytas ut) innebär stora kostnader. Renovering av en del av konstruktionen innebär arbete med stora ytor då de olika lagren av kolfiber i kolfiberskiktet skall överlappas på ett speciellt sätt för att inte förlora i hållfasthet.

Konklusionerna av detta är att inom tidshorisonten 2 minuter kommer svåra skador på väggar och golvmaterial ske. Detta står att jämföra med ca 1 minut för aktivering av släcksystemet, om detta fungerar som tänkt. Däremot är skyddsmaterialen i korridoren mycket tåliga och väggar och tak förväntas inte ta skada av brand om denna hanteras inom rimlig tid. Slutsatsen är att vid brand samt misslyckad snabb släckning i hytt kommer stora och mycket kostsamma skador på laminatmaterial uppstå samt att mycket svåra utrymningsförhållanden i korridoren är att vänta om släckning inte sker.

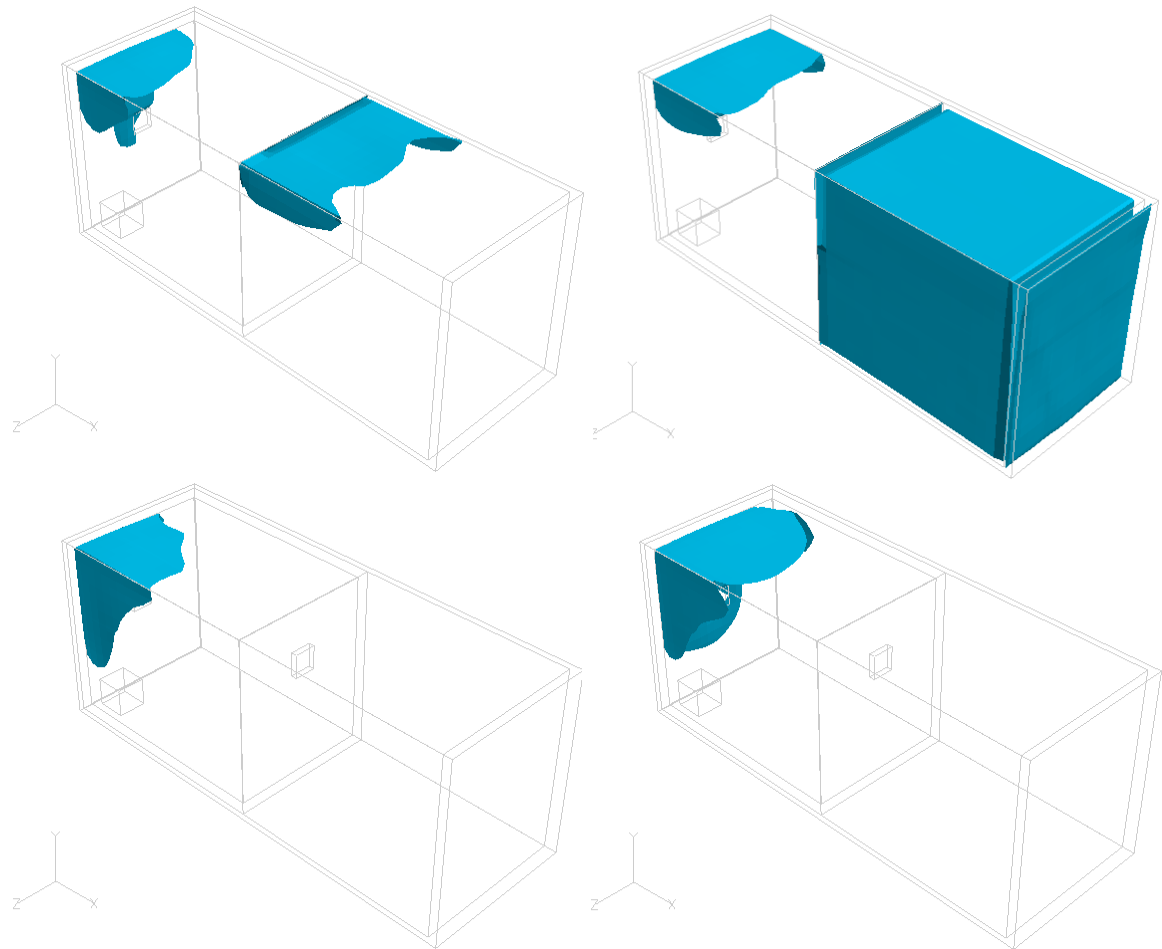




Figur 15-7: Strålningsnivå på  $10 \text{ kW/m}^2$  på väggar och tak efter 60, 120, 180 resp. 240 sekunder



Figur 15-8: Strålningsnivå på  $20 \text{ kW/m}^2$  på väggar och tak efter 60, 120, 180 resp. 240 sekunder



Figur 15-9: Strålningsnivå på  $30 \text{ kW/m}^2$  på väggar och tak efter 60, 120, 180 resp. 240 sekunder



# 16. VARFÖR RISKHANTERING?

## 16.1. ALLMÄNT

Kravställningen för riskhanteringsprogrammets examensarbeten föreskriver att ett managementperspektiv på riskhantering behandlas, inom ramen för examensarbetet med avseende på eventuell beställare. Detta är således inte något som beställaren, FMV, har initierat eller efterfrågat, men det kan likväl vara av intresse för vidare riskhanteringsarbete inom FMV eller försvarsmakten i stort.

## 16.2. VAD ÄR RISK?

För gemene man är risk oftast samma sak som sannolikhet. I riskforskning används ett vidare begrepp. Många olika definitioner kan nyttjas i olika sammanhang. Här presenteras dock en tekniskt, vetenskapligt förankrad definition enligt Kaplan /29/. Utifrån Kaplans tekniska förklaring kan risk definieras som svaret på tre olika typer av frågor:

- Vad kan hända? (S)
- Hur troligt är det att det händer? (L)
- Vilka är konsekvenserna av händelsen? (X)

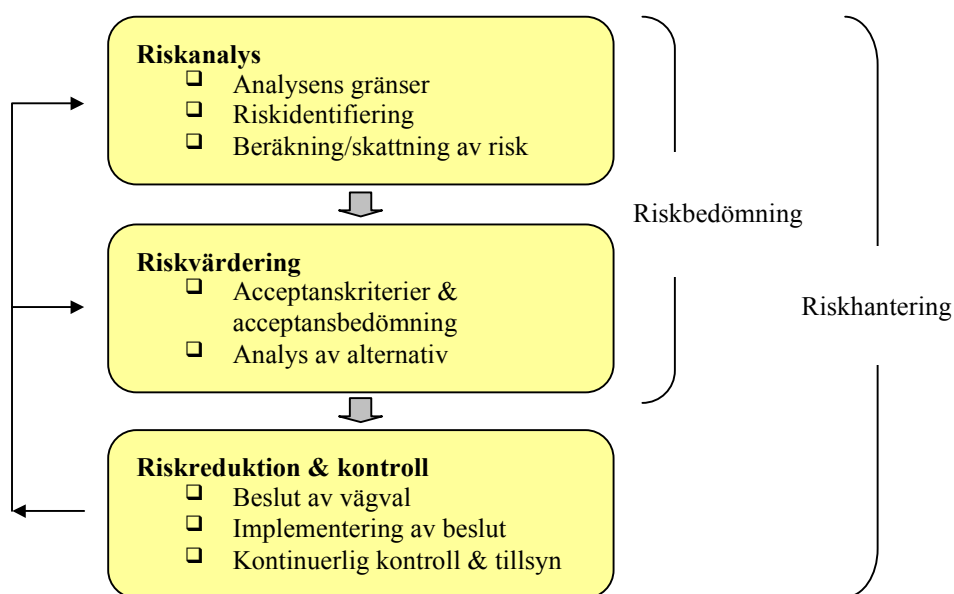
Från vilket Kaplan uttrycker risk som en funktion av dessa tre frågor, d.v.s. trippeln  $R = \{ \langle S_i, L_i, X_i \rangle \}_c$  där  $i$  står för respektive scenario som summeras och  $c$  för complete, d.v.s. att en helhetssyn på alla scenarier är viktig för att besvara frågan om risk. Risk kräver därmed, enligt honom, ett helhetsperspektiv över alla scenarier viktat med respektive sannolikhet för att de skall inträffa samt den konsekvens som uppstår i respektive fall. Helhetssynen som Kaplan förespråkar motsvaras i detta projekt av den riskinventering som genomfördes i ett första skede och utsträckte sig över alla brandriskerna.

Risk kan alltså uttryckas i många olika enheter, allt från monetära enheter till människoliv. Genomgående för denna analysen har varit att risk har uttryckts i förväntad skada, här formulerat som sannolikheter för att en specifik enhet/komponent skall skadas. Detta har varit möjligt i de riskscenarier som har identifierats, då i princip bara komponentskada har varit av intresse.

## 16.3. VAD ÄR RISKHANTERINGSPROCESSEN?

Alla människor hanterar risker i omgivningen dagligen, omedvetet eller medvetet. Vi hanterar risker när vi transporterar oss, brukar stimulantia, väljer kost, etc. Våra val kan kallas riskhantering, om än aningen förenklat. Risk management eller riskhantering är, i dess ordnade bemärkelse, ett systematiskt sätt att skydda en verksamhets resurser och tillgångar mot skador så att verksamhetens mål kan uppnås med ett minimum av störningar. Riskhanteringsprocessen beskriver hur detta systematiska riskhanteringsarbete går till. Litteraturen uppvisar många olika varianter, men ett system som har fått stort genomslag i Sverige är det standardiserade synsätt från IEC, International Electronic Commission, /26/. Detta uttrycker sambanden i riskhanteringen enligt Figur 16-1.

Riskhanteringen delas grovt in i de tre stegen riskanalys, riskvärdering samt riskreduktion/kontroll. De två första kan också gemensamt kallas riskbedömning. Det är också viktigt att notera de pilar som visar på återkopplingen till ytterligare granskning, nya analyser efter åtgärder etc. Riskhanteringsarbetet är inte på något sätt statiskt utan ett mycket dynamiskt system, som om det fungerar väl, hela tiden skall vara igång, utvärderas och återkopplas. ”Om riskhanteringsprocessen är kontinuerligt pågående bör analysen utformas på ett sådant sätt att den kan uppdateras genom systemets, händelsens eller aktivitetens livscykel. Vilka metoder man beslutar sig för att använda beror till exempel på vilken fas systemet befinner sig i, målet med studien, hur allvarlig risksituationen är etc.” /37/



Figur 16-1: Riskhanteringsprocessen enligt International Electronic Commission, IEC /26/.

Situationen att gå över gatan är ett gott exempel på en riskhanteringssituation som många av oss möter dagligen. Även denna enkla variant kan beskrivas med mönstret som presenteras i Figur 16-1, även om det mesta sker på ett icke medvetet plan, det finns en erfarenhetskomponent med i bilden. Till en början analyser fotgängaren möjliga utfall, och ett står klart, man kan bli påkörd. Därför görs en skattning av risken att korsa gatan vid ett visst tillfälle. Denna risk värderas sedan mot kriterierna och de flesta människor skulle ogilla att bli påkörda av en bil, varför de inte springer ut om risken framstår som oacceptabel. Då återstår att analysera alternativ, att vänta tills bilen har passerat och sedan gå är en valmöjlighet. Beslutet att vänta tills bilen har åkt förbi tas och genomförs. Samtidigt som fotgängaren korsar gatan ser denne sig omkring sig för att verkligen försäkra sig om att analysen var korrekt, att rätt beslut har tagits och att inte förutsättningarna har ändrats, d.v.s. en återkoppling med kontroll och tillsyn av systemet görs.

## 16.4. RISKHANTERING INOM FÖRSVARSMAKTEN

### 16.4.1. UTVECKLING

1994-1995 genomförde Försvarsmaktens Högkvarter, HKV, en utredning kring risker och riskhantering inom försvarsmakten på regeringens uppdrag. Samtidigt utfördes en övergripande utredning om samhällets risker /46/. I den andan med säkerhet och riskhantering på tapeten, insåg försvarsmakten värdet av systematiskt riskhanteringsarbete och ÖB tog beslut om att införa riskhanteringsarbete för försvarsmaktens system.

### 16.4.2. SYSTEMSÄKERHET

Riskhanteringen inom försvarsmakten utgår alltså från Högkvarteret, HKV, vilka bland annat har gett ut Försvarsmaktens Handbok för Systemsäkerhet, H SystSäk /22/. Denna skrift är en handbok för de som skall bedriva systematiskt systemsäkerhetsarbete i försvarsmaktens, FMs, regi. I de inledande raderna står att läsa ”Ledningschef skall bedriva och leda verksamhet som syftar till att minimera riskerna hos ett system så att det inte orsakar person-, egendoms-, eller miljökada (systemsäkerhet)” vilket definierar systemsäkerhet som inom riskforskningskretsar kallas riskhanteringsarbete. Handboken utgår från följande definition;

”*Systemsäkerhetsverksamhet* är det totala arbete som bedrivs för att ett visst system under studier, utveckling, anskaffning/upphandling, (också vid direktanskaffning respektive renovering och modifiering), produktion, drift (inklusive teknisk anpassning), vidmakthållande och avveckling, i syfte att identifiera och kvantifiera risker, eliminera dessa eller reducera dem till en tolerabel nivå.” Detta tycks vara precis samma sak som ovan har kallats riskhantering, endast namnet skiljer dem åt. Definitionen uttrycker dock inte explicit organisationens betydelse för riskbilden. Det är lätt att få uppfattningen, inte minst från namnet, att systemsäkerhet bara handlar om att skapa säkra tekniska system, organisationen utelämnas. Att den organisatoriska apparaten är nog så viktigt för systemets säkerhet visar inte minst denna rapport på. Dock uttrycker definitionen på system ”Med *system* förstås en kombination av förnödenheter, anläggningar, personal samt instruktioner, reglementen med mera för utbildning, användning och underhåll i såväl krig som fred.” att även organisatoriska hänsyn är en del av arbetet.

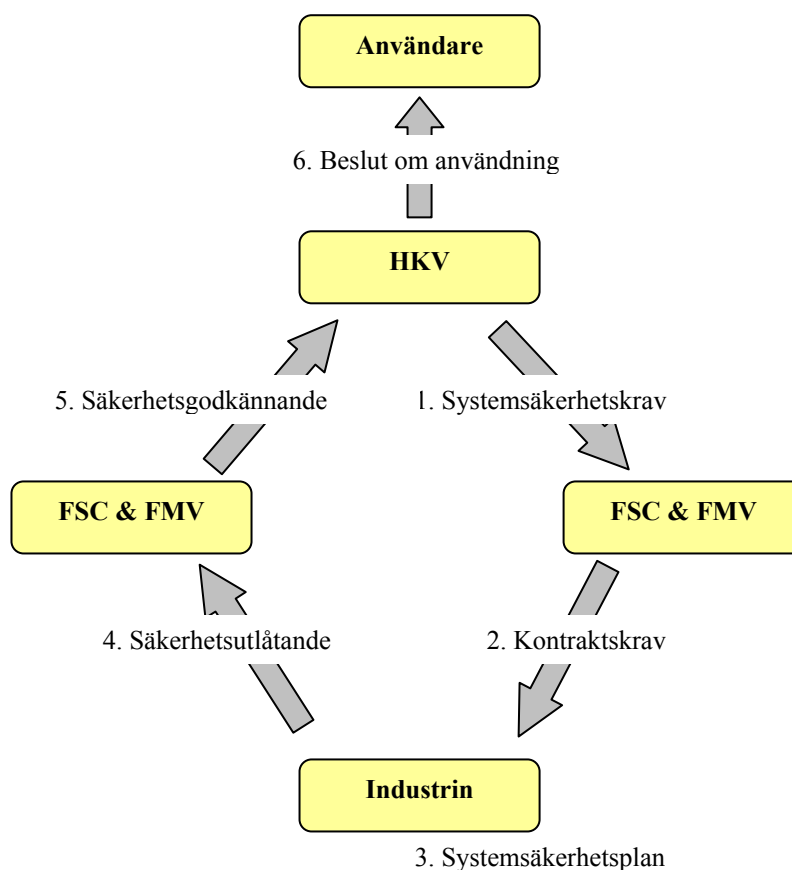
Arbetet med systemsäkerhet delas upp i två huvudsakliga aktiviteter:

1. *Aktiviteter för krav och beslut*  
Systemsäkerhetsarbete för att lägga grund till kravställning eller beslut.
2. *Rapporterings och uppföljningssystem*  
System för att kontrollera och följa upp riskutveckling för en verksamhet eller ett objekt.

Dessa två aktiviteter tycks skilja sig markant åt. Att skapa underlag för krav eller beslut innebär oftast att riskerna med ett system skall analyseras från scratch och att systemsäkerheten evalueras inför godkännande, se Figur 16-2. Rapportering och uppföljningsverksamheten däremot innebär snarare statistisk verifikation av tidigare analyser, eller kontrollsystem och planeringssystem för kontinuerliga förbättringar. Båda är viktiga och en del i helhetsarbetet med systemsäkerhet.

### 16.4.3. BRANDRISKANALYSENS ROLL I RISKHANTERINGSARBETET

Hur och var inordnas denna riskanalys över brandrisker i systemverksamheten kring Visby? Uppenbart är att Visby inte är ett färdigt system varför rapporterings och uppföljningssystemen inte är direkt applicerbara. Därför kan slutsatsen dras att detta handlar om aktiviteter för krav och beslut. H SystSäk beskriver dessa med liknande Figur 16-2.



Figur 16-2: Aktiviteter för krav och beslut enligt H SystSäk. I figuren motsvarar HKV =Högkvarteret, FSC = Försvarets Sjukvårdscentrum och FMV = Försvarets materielverk.

Det tycks uppenbart att punkt ett och två i Figur 16-2 beskriver ett skeende vid starten av ett projekt, långt tidigare än dagsläget i projektet Ytstridsfartyg 2000. I och att med FMV är beställare av projektet, inte Kockums, får antas att detta är ett led i säkerhetsgodkännandet av Visby. H SystSäk beskriver också att en kravverifiering genomförs så att de systemsäkerhetskrav som har ställts på systemets uppfylls. Även i detta perspektiv kan brandriskanalysen som har genomförts nyttjas. Huruvida detta är sant och om rapporten skall ingå som referensmaterial vid säkerhetsgodkännandet eller kravverifiering har inte framgått i projektspecifikationen. Oavsett hur rapporten kommer att nyttjas så är det uppenbart att detta kan vara en del i systemsäkerhetsarbetet med Visby i stort. Brandriskutvärdering på HMS Visby täcker in en relativt stor del kring brandsäkerhetsproblematiken. I analogi med IECs framställning av riskhanteringsarbetet har allt från riskinventeringsarbete till vägval



och alternativ omfattats av utredningen. Analysresultaten är naturligtvis upp till beställande part, FMV, att nu granska och ta ställning till.

Enligt H SystSäk skall finnas formulerade systemsäkerhetskrav. Dessa skall uttrycka de övergripande målen inom respektive delverksamhet, t.ex. brandsäkerhet. Visbyprojektet startade dock innan Försvarmaktens nya reviderade syn på systemsäkerhet kom i bruk 1996, varför det är möjligt att vissa av dessa mål och riktlinjer inte finns formulerade. Ur det perspektivet formulerades vissa övergripande mål att jobba utifrån i detta projekt, se kapitel 6. FMV bör nu ta ställning till dessa inriktningar eftersom de har formulerats av författarna av arbetet snarare än ledningschef inom FM. Förhoppningsvis har för FM relevanta skyddsmål ställts upp varför projektets bas är väl grundat. Om så inte är fallet kan rapportens värde ifrågasättas, då den utvärderar mot irrelevanta mål. Författarna är dock relativt säkra på skyddsmålen relevans, trots att dokumentation för detta inte har presenteras.

## **16.5. BESKRIVNING AV LEDNINGSSYSTEMET FÖR RISKHANTERING/SYSTEMSÄKERHET INOM FÖRSVARSMAKTEN ENLIGT H SYSTSÄK**

### **16.5.1. ANSVAR OCH UTGÅNGSPUNKT**

Systemsäkerhetsarbetet utgår från HKV och därmed har ÖB det övergripande ansvaret för att säkerställa att system tas i bruk är tillräckligt säkra. De grundläggande utgångspunkterna till detta säkerhetstänkande finns i svenska författningar, bland annat, Arbetsmiljölagen, Produktansvarslagen, Miljöbalken, Sevesolagstiftningen etc. beroende på vilket säkerhetsområde det handlar om.

### **16.5.2. TIDSHORISONT**

Enligt H SystSäk skall systemsäkerhetsarbetet fortgå under hela ett systems livslängd. Naturligtvis innebär detta olika krav, i olika skeden av ett systems livslängd. I Visbyprojektets nuvarande skede, när fartyget nästan skall tas i bruk, handlar systemsäkerheten främst om att verifiera att de detaljerade systemlösningar som valts också uppfyller uppställda mål. Det är först i detta skedet som detaljerade analyser kan utföras på de tekniska delarna, eftersom de först nu står klara att utvärdera.

### **16.5.3. KRAV PÅ SYSTEMSÄKERHETEN, SKYDDSMÅL, ACCEPTANSKRITERIER**

Alla typer av riskanalyser, oavsett nivå eller detaljeringsgrad, kräver att det finns någon typ av kriterier att utvärdera resultaten mot. Detta är konceptet skyddsmål (enligt kapitel 6), acceptanskriterier eller liknande. Det är brukligt att kriterierna på ett eller annat sätt är friställda från analysen, så att denna inte anpassas efter kriterierna. Detta är även fallet inom försvarmakten. Kriterierna för systemsäkerheten skall presenteras redan av ledningschef när kravspecifikationen ställs för hela systemet. Alltså borde alla säkerhetskrav ha ställts på Visby redan då specifikationen överlämnades till Kockums. I och med att Visbyprojektet föregick utvecklingen av systemsäkerhet har detta inte gjorts. Graden av detaljering kring dessa bedömningsgrunder framgår dock inte av H SystSäk. Vidare skall också krav på typ av aktivitet ställas redan vid överlämnandet av kravspecifikationen, behoven av utvärdering av systemets säkerhet skall definieras.

#### **16.5.4. OLIKA FORMER AV SÄKERHET**

Systemsäkerhetsarbetet är, enligt H SystSäk, ett integrerat system av olika former av säkerhetsarbete. För att exemplifiera detta, kan nämnas att ammunitionssäkerheten kan vara avgörande på ett fartyg eftersom brister, t.ex. detonation av ammunition, allvarligt kan påverka systemets totala säkerhet, att fartyget överhuvudtaget flyter. Detta kan te sig som en självklarhet, men är i praktiken svårt att hantera, då de en övergripande syn på allt säkerhetsarbete krävs. Detta projekt har begränsats till brandriskhantering, men det är uppenbart att en vidare syn på bland annat brandpåverkan på ammunition, minor och torpeder hade varit önskvärd. Den övergripande styrningen har, av naturliga orsaker då projektet utgör ett fristående examensarbete, saknats, varför vissa perspektiv kan ha förbisetts.

#### **16.5.5. ARBETSGÅNGEN FÖR SYSTEMSÄKERHETSARBETET**

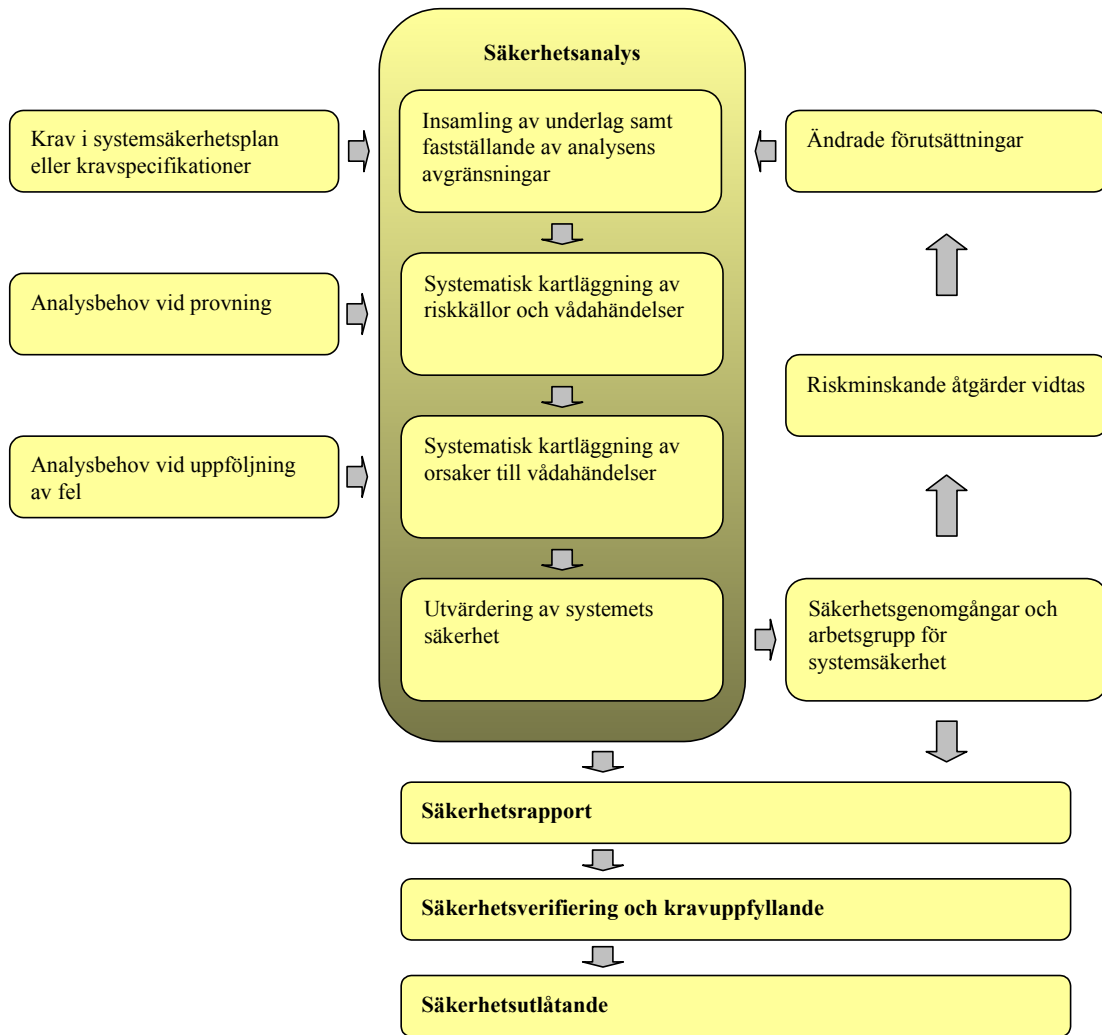
Systemsäkerhetsarbetet uppdelas, i olika aktiviteter beroende på om det gäller:

1. Utveckling av system, inklusive modifiering av befintligt sådant
2. Anskaffning av färdigt system
3. Översyn av befintligt system

Naturligtvis är analyskraven annorlunda för dessa, men huvudinstrumentet för utvärdering av säkerheten är detsamma. Detta verktyg, säkerhetsanalysen, eller som IEC uttrycker det, riskbedömningen sätts i sammanhang enligt Figur 16-3. Återigen känns systemets från IEC igen, det är en generell metodik. Handboken uttrycker hur olika delanalyser tillsammans bidrar till att utvärdera systemets hela säkerhet, med följande citat; ”Inom ramen för denna generella modell kan säkerhetsanalyser se tämligen olika ut beroende på:

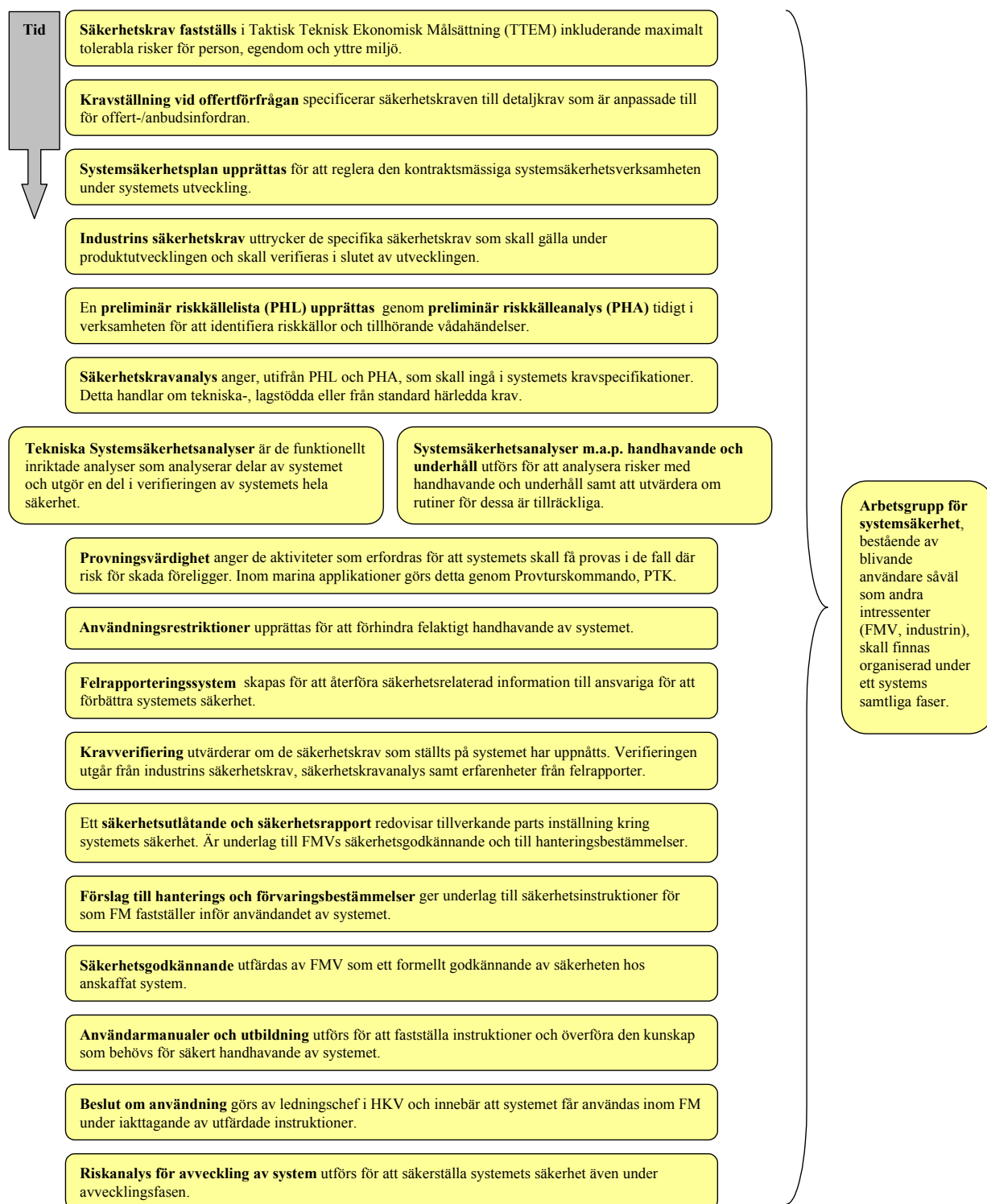
- Val av analysmetod, varvid valet huvudsakligen styrs av systemets konstruktion och funktion samt analysens syfte, det vill säga om utvärderingen görs kvalitativ eller kvantitativ.
- Hur detaljerat det tekniska underlaget är vid analysstidpunkten.
- Vilken nivå (underenheter, komponenter, programvarublock osv) i systemet analysen skall gå ned till.”

Det är värt att notera att säkerhetsanalysen i H SystSäk påträffas i två former, en för att utvärdera tekniska system och dess funktionsmässiga brister och en för att utvärdera de organisatoriska riskerna sammankopplade med systemen. Den senare är minst lika viktig då, vilket har nämnt tidigare, många olyckor och systems felfunktioner beror på mänskligt felhandlande.



Figur 16-3: Schematisk bild av säkerhetsanalysen enligt H SystSäk.

Riskanalysarbetet inom försvarsmakten kan ibland vara komplicerat eftersom det kan handla om mycket stora och svåröverskådliga system som skall användas av många olika personer i olika syften. Inte minst är Visby ett exempel på ett relativt komplicerat system med många olika aspekter på systemsäkerheten, varav brandsäkerheten bara är en liten bit. Verksamheten är också komplicerad av den anledningen att det inte är FM som själva bygger fartyget, det gör Kockums. Därmed fordras också ett system för att ställa krav på säljande part, när det gäller systemsäkerhetsarbete. FM vill att tillverkare av system under utvecklings- och testfaserna skall ingå i systemsäkerhetsarbetet. I Figur 16-4 visas ett exempel på hur systemsäkerhetsverksamheten kan te sig inom ett FM-projekt. Det är bara ett exempel av den enkla anledningen att verksamheten skiljer sig mycket åt mellan olika system i olika tidpunkter.



Figur 16-4: Exempel på arbetsgång under utvecklingsprojekt, tolkning av H SystSäk /22/.

### 16.5.6. ARBETSGRUPP FÖR SYSTEMSÄKERHET

Vilket också är tydligt i Figur 16-4 är att arbetsgruppen för systemsäkerhet har ett mycket viktigt övergripande jobb i systemsäkerhetsarbetet. Gruppen skall sköta den övergripande styrning som är så viktig när det handlar om komplicerade stora system. Bland annat består detta i uppföljning av industrins kontrakterade

systemsäkerhetsverksamhet, att sammanställa information från olika säkerhetsanalyser, att stödja systemsäkerhetsverksamheter med mera. Teamet sätts samman av blivande användare från FM, av personal från anskaffande enhet FMV samt från industrin som framställer systemet, allt för att få en bra bredd på synsätt, behov och krav.

#### **16.5.7. SYSTEMSÄKERHETSPLAN**

En systemsäkerhetsplan upprättas vid offert, vilket kan ses i Figur 16-4. Detta är ett sätt för beställarna av system, oftast FMV, att ställa krav på vilka systemsäkerhetsaktiviteter som skall utföras under utveckling och tillverkning. Det ger också arbetsgruppen för systemsäkerhet en möjlighet att planera verksamheten så att dubbelarbete inte utförs.

### **16.6. SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER FÖR RISKHANTERINGEN PÅ HMS VISBY OCH FÖRSVARSMAKTEN**

Under detta projekts genomförande har vissa observationer kring riskhanteringsarbetet inom FMV och försvarsmakten gjorts, om än från utomstående betraktare. Tyvärr har insynen i den verksamheten varit begränsad varför det är möjligt att dessa observationer inte gör verksamheten rätta. Inte desto mindre är det viktigt att uttrycka dessa, då det kan vara av nytta för vidare utveckling av funktionen.

Eftersom Visby föregick systemverksamheten har inte systemsäkerhetsarbete utförts i början på projektet. Detta är tyvärr ett problem, eftersom många systemsvårigheter, kan bli mycket kostsamma sent i projektet, men är en ringa kostnad och de upptäcks och hanteras i god tid. Systemsäkerhetsarbete inom alla områden måste helt enkelt vara en naturlig och tidig del i vid projekteringen av ett system. Experterna inom respektive område måste kopplas in tidigt, och övergripande riskidentifieringsmetodik bör användas för att hantera riskerna på projekteringsstadiet.

Statistik från liknande system som Visby, fartyg i storleken korvetter, saknas helt. Statistik och felrapportering måste helt enkelt utföras av FM inom de verksamheter som bedrivs. Det är ju en mycket tydlig del systemsäkerhetsarbetet (riskhanteringsarbetet). Denna återkoppling är en viktig del i systemsäkerhetsarbetet, precis som H SystSäk påpekar. I försvarsmakten, som för övrigt är bra på att ha uppsikt över, måste det helt enkelt finnas system för rapportering av incidenter, och felrapportering. Detta måste införlivas i befintliga system för informationsflöden etc. Varför inte ställa krav på att en noggrann incidentrapport ingår i fartygsloggen. Den förs förmodligen ändå digitalt varför det inte torde vara ett praktiskt problem att införa den, bara organisatoriskt. Denna information får inte heller bara bli hyllvärmande sådan. Det är av stor vikt för systemsäkerheten att utvärdering och hantering av incidenter och felstatistik görs.

Systematiskt underhåll och kontroll av de aktiva systemen har observerats vara mycket viktiga för brandsäkerheten ombord. Därför måste någon form av ledningssystem för detta skapas. Det står utanför målen för denna rapport att göra detta. Det är inte desto mindre viktigt att detta fungerar, då brandsäkerheten på Visby

till stor del står och faller med fungerande tekniska aktiva system. Dessa måste vara funktionella när brand uppstår annars kan svåra konsekvenser från brand förväntas.

System för kontroll och tillsyn över den tekniska systemreliabiliteten är bra men de behöver också kompletteras med system för att minimera mänskligt felhandlande, det som brukar kallas "den mänskliga faktorn". Sådana problem, som oftast härstammar ur bristande kommunikation mellan parter, är vanliga orsaker till fel på aktiva system. Många exempel står att finna, till exempel då målaren som skulle måla taket skyddade sprinklerhuvudena med aluminiumfolie så att dessa inte bli övermålad, och inte plockade bort denna. När brand utbröt reagerade inte sprinklerna som de skulle, då den varma gasen inte nådde huvudena. Konsekvenserna blev naturligtvis svåra. Ytterligare exempel kan ges, t.ex. då ett höghus renoverar just sprinkleranläggning stängs systemet av i hela skyskrapan trots att bara en våningssektion renoveras åt gången när systemet går att hantera sektionsvis. När brand utbryter under renoveringen finns inget aktivt system att hindra brandspridning i hela byggnaden. Dessa är bara några exempel på hur organisatoriska missar visar på hur organisations och kommunikations problem kan ställa ett aktivt system helt ur spel. H SystSäk föreskriver att analyser över organisation och utbildning görs, för att utvärdera riskerna med handhavandet, och personalens kunnande om systemens funktion. Detta är av största vikt.

Det är också centralt att skapa system som är anpassade till mänsklig perception så att interaktionen mellan system och människa inte skapar problemen i sig. Detta är en hel vetenskap och kan inte förevisas här. Det är inte desto mindre viktigt att alla miljöer där mänsklig påverkan på systemet nyttjas, utformas genomtänkt. Problem uppstår ofta i miljöer där många olika system och varningar skapas och kopplas samman. Till exempel kan vi tänka oss problem i SLC vid händelse av brand. Hur är dessa larm kopplade, till vem? Vilka signaler ger de, och hur är prioriteringsordningen? Eftersom det i vissa fall finns krav på direkt mänskligt handlande i brandsituationen så krävs snabba och korrekta beslut. Likaså om det finns möjligheter till manuell styrning av system är det viktigt att dessa styrs på rätt sätt. Ett förslag är att framförallt ventilationssystemets inverkan på brand utvärderas noggrannare än vad som har gjorts i denna rapport, och utifrån resultaten från en sådan analys skapas en checklista som automatiskt dyker upp för den operatör som får larmet. Ett sådant system kan specialkomponeras för bränder på olika ställen och olika typer av ingripanden

H SystSäk uppfattas tyvärr av personal som ett mycket jobbigt dokument och inte som en hjälp att skapa stabila, säkra, system. Detta är viktigt att ändra på. Kanske måste både inställning till skriften och framförallt att bokens själv förändras för att en god grund för systemsäkerhetsarbete skall finnas. Det är av största vikt att personal inom alla arbetsområden blir medvetna om systemtänkandet innan det kommer att fungera. Man kan knappast tvinga personer att tänka på ett sätt. I övrigt förefaller H SystSäk vara ett mycket genomtänkt system för riskhantering. Den täcker in mycket stora delar av sådant som är viktigt i riskhanteringsprocessen. Handboken som sådan är tyvärr onödigt komplicerad och byråkratisk, svårläst. Kokbokslayouten som ofta kännetecknar just handböcker saknas helt, till förmån för ändlösa listor och svåra förkortningar. Detta kan innebära ett stort problem då det ytterligare sänker incitamenten att nyttja handboken som det är tänkt, tröskeln höjs.

# 17. SLUTSATSER

## 17.1. BRANDRISKANALYS

De slutsatser kring brandriskerna på HMS Visby som presenteras nedan är baserade på subjektiva skattningar om systems reliabilitet varför analysresultaten skall nyttjas med viss försiktighet. Det är inga absoluta sanningar utan ger ledning om konsekvenserna av brand.

### 17.1.1. BRAND I HYTT

När det gäller brand i hytt, så är hytten i sig ganska väl brandskyddad. Analysen visar att brandskyddet när det gäller personskydd är avhängt att rökdetektorn och larmfunktionen fungerar som de skall. Detta beror på att släcksystemets begränsande och släckande effekt ligger betydligt mycket senare tidsmässigt och påverkar därmed inte personsäkerheten nämnvärt. I övrigt ger släcksystemet ett bra skydd mot brand och brandspridning i och kring hytterna. Dock bör påpekas att man inte undgår termiska skador på strukturen vid händelse av brand. Lokala skador kommer att uppstå även om släcksystemet fungerar som det skall och därmed är en brand alltid att uppfatta som ett reellt hot. Den statistiska analysen som har gjorts understryker ovan påståenden att lokal brandskada är att vänta, oavsett släcksystemets funktion. Dessutom syns det tydligt hur viktigt släcksystemet är för att förhindra mycket extensiva brandskador.

CFD simuleringen i hytten visar att branden påverkas mycket av ventilationen. Vid en brand som inte släcks av släcksystemet kommer mycket snabbt en övertändningssituation nås i det trånga utrymmet. Då syrebrist inträder driver ventilationsflödet tillsammans med brandens expansion ut oförbrända gaser via överluftningen till korridoren utanför. Där finns syre och en förbränning är att vänta där istället. Detta innebär mycket lokala gastemperaturer på upp mot 1000 C°. Sådana temperaturer är naturligtvis inte acceptabla ur ett personsäkerhetsperspektiv, de är dock relativt lokala. Beroende på i vilken hytt brand inträffar kan dessa varma gaser påverka ventilationstrummorna i frånluften som är av aluminium och inte klarar högre temperaturer än ca. 200 C°. Uppstår brand en bit ifrån utsugen kommer brandgaserna, åtminstone till en början, att kylas av mot väggar och tak så att de inte påverkar trummorna. Detta syns tydligt genom simuleringen då dessa temperaturer uppkommer först efter ca 5 minuters brand. Då förbränningen till stor del uppstår utanför brandrummet efter övertändning skulle det vid icke fungerande släckning kunna vara effektivt att arrangera ventilationen sådan att respektive hytt kan stängas av medan fortsatt rökevakuering sker i korridoren. Därmed minskas flödet av oförbrända gaser till korridoren och därmed också temperaturen där.

Vidare visar analysen också att normalflödet på ventilationssystemet inte är tillräckligt för att evakuera brandgaser i den omfattningen att korridoren förblir rökfri. Stora mängder varma rökgaser, med temperaturer väl överstigande 80°C, kommer att finnas där, om inte släcksystemet fungerar. Inne i brandrummet markerar analysen att för människor farliga konditioner snabbt uppstår, efter ungefär 30-40 sekunder. Redan efter 30 sekunder har kritiska förhållanden uppnåtts på de övre slafarna i hytten och efter ca 50 sekunder är hela hytten vid en kritisk nivå. Detta visar på hur snabbt

släcksystemet behöver vara för att hindra skador, om utrymning av hytten inte har skett. En överslagsmässig beräkning av detektionen visar att sprinklern sannolikt bör utlösa efter approximativt 40 (43) sekunder, förutsatt att sprinklerhuvudet placeras utan hinder såsom rör eller liknande. Återigen ger detta underlag för att uttrycka att släcksystemet inte är en fråga om personskydd, i första hand. Däremot har det en begränsande funktion för att förhindra de oacceptabla situationerna i korridoren utanför.

Slutsatserna är att brandskyddet i hytt med avseende både på personsäkerhet och systemet i stort på det hela taget är gott. Beroendet av flera fungerande aktiva system är dock mycket stort varför en genomtänkt, fungerande kontroll och underhållsorganisation är av största vikt.

### **17.1.2. BRAND I ELAPPARATRUM 3**

En brand i elapparatur 3 kan ha svåra konsekvenser om den får utvecklas under lång tid då många viktiga komponenter för akterskeppets strömförsörjning finns där. Däremot är brandutvecklingen förmodligen långsam, varför det tar tid innan mer än lokala termiska skador uppstår. Lokala skador är dock att vänta oavsett om släcksystem finns eller inte. Med någon typ av snabb släckning är de förväntade systemskadorna, som till exempel skulle kunna innebära bortfall av ström, inte speciellt stora. Att detektion sker mycket snabbt är alltså av högsta vikt. Hur sedan släckning sker, automatiskt eller manuellt är av underordnad betydelse, bara en snabbt insats kan genomföras. Om några specifikt känsliga komponenter finns bör kanske detektorer i dessa, elskåp eller liknande, övervägas. Sker släckning snabbt, förslagsvis med en snabb lätt insatsstyrka, är fartygets operationella funktion fortsatt hög.

### **17.1.3. BRAND I ELAPPARATRUM 5**

Brand i elapparatur 5 är på många sätt lik en brand i elapparatur 3, med en viss skillnad, det är andra system som riskerar att slås ut. I det senare fallet handlar det om strömförsörjnings och styrsystem för bland annat manöverbryggan. Analysen visar tydligt att snabb släckning sänker nettoeffekten på skadenivåerna i stor utsträckning. Det blir här ännu mer tydligt att sannolikheten för att en komponent skall skadas och att ett system skall slås ut när släckning sker är låg, i storleksordningen några procent, för de flesta komponenter. Då är skadorna begränsade i stort sett till känsliga komponenter i den omedelbara närheten till branden, men inte heller då är det säkert att skada på dessa sker. Det beror snarare på brandens effektutveckling. Sammanfattningsvis förefaller riskbilden vara acceptabel om snabb släckning sker. Det ter sig inte troligt att flera system slås ut av brand, om just släckning sker inom någorlunda snabb tidsrymd. Även här bör övervägas att skydda eventuella hotspots, extra viktiga delar av systemet, med separat detektion så att denna blir optimalt snabb när så behövs, och snabb insats kan göras.

### **17.1.4. BRAND PÅ LASTDÄCK**

Brand på lastdäck är komplicerat på Visby. Det är tydligt även här att direkt påverkan på struktur och styrsystem bara är att förvänta relativt lokalt. Däremot kan de lokala skadorna bli relativt omfattande om inte släcksystemet fungerar eller sätts igång omedelbart, och beroende på brandens läge kan detta ge mer eller mindre svåra systemsäkerhetskonskvenser. Att aktivering av släcksystemet inte är automatisk kan leda till problem, då tidskomponenten är avgörande för säkerheten. Oftast inväntas en verifiering av att verklig brand har uppstått innan systemet utlöses. Därmed bör en



organisation för snabb verifiering av brand införs, varvid systemet kan utlösas. Allra helst skall detta kunna göras av personal som finns på plats på lastdäcket, på flera ställen så att inte brandens placering kan hindra aktivering av släcksystemet.

Sannolikheten för förekomst av pölbrand på lastdäck blir förmodligen aningen mindre i och med att det finns dräneringssystem i utrymmet. Dräneringen är på inget sätt heltäckande varför en brand ändå kan uppstå, däremot kan det minska sannolikheten för brands uppkomst, lite beroende på var utsläpp sker. Av brandanalysen står fortsatt att önska att utvärdera funktionen av minor och torpeder vid brand, vilket bara har genomförts väldigt översiktligt. Den kortfattade utvärdering av torped som har genomförts visar att en torped snabbt blir obrukbar vid brand om inte det specifika skumsprinklersystemet fungerar. Däremot har inte risken för detonation kunnat uppskattas. Helhetsintrycket av lastdäckets brandsläckning är gott men mer finns att önska. Systemet är emellertid mycket beroende på flera aktiva komponenter och korrekt mänskligt handlande i en stressad situation, vilket naturligtvis minskar den totala reliabiliteten. En övervägning som kan göras är att införa någon typ av invallning eller liknande för att förhindra stora brännbara vätskeytor.

#### **17.1.5. BRAND I MASKINRUM**

Analysen visar här att skador på vägg och styrsystem och liknande är helt och hållet avhängt reliabiliteten för släcksystemet. Oavsett vilka sannolikheter som har antagits i denna rapport, så är ett starkt, nästan hundra procentigt, beroende visat. Det vill säga att om släcksystemet används i tid och fungerar så är skadorna minimala. På samma sätt som på lastdäcket är rumsskyddet i maskinrummet inte automatiskt utlöst. Snabb aktivering eller inte kan utgöra skillnaden mellan relativt stora skador och obetydliga sådana. Därför är det också här av största vikt att organisationen medger snabb aktivering av släcksystemet. Kanske är tekniska hjälpmedel såsom tittlucka eller kameraövervakning för maskinrumsoperatören att överväga. Fortsättningsvis har flera goda förebyggande åtgärder vidtagits, såsom dubbelsidiga bränslerör, kapsling och automatiskt punktskydd av de varma delarna av turbinerna. Detta borgar för en relativt låg frekvens för brands uppkomst, men maskinrumsbrand är statistiskt den klart största brandorsaken vid fartygsbränder, varför problematiken inte kan överskyllas. Speciellt i maskinrummen verkar också förslitningsskador vara en stor orsak till brands uppkomst, vilket åter pekar på vikten av en mycket väl fungerande underhållsorganisation.

#### **17.1.6. BRAND I STRIDSLEDNINGSCENTRAL**

I stridsledningscentralen är problemet med brand egentligen en fråga om att skydda den mycket känsliga utrustning som finns där. Förväntade bränder är långsamma och personsäkerhet är inte ett emotsett bekymmer. Framförallt är detta ett problem när fartyget ligger vid kaj och personal inte finns i SLCn. Vid bruk kan personal med handbrandsläckare snabbt kan göra en insats och förhindra brandens vidare utveckling. Därför har utredningen snarare betraktat brand i SLC när fartyget inte är bemannat. Den genomförda analysen visar på hur ett släcksystems snabba funktion kan minska de termiska skadorna till mycket begränsade sådana. Utan ett släcksystem finns det en betydligt större risk för systemskada, i storleksordningen 35-100 % beroende på placering i förhållande till brandhärden. Dessutom är det troligt att kostsamma icketermiska skador uppstår vid brand. De icketermiska konsekvenserna av brand kan till viss del mildras av nyttjandet av ett släcksystem.

Eftersom utrustningen i stridsledningen är mycket dyrbar är egentligen en separat kostnad/nytta-analys kring nyttjandet av ett släcksystem för rumsskydd befogad. Detta genom att man nästan kan förutsätta stor förstörelse för en utvecklad rumsbrand, som inte hanteras av ett släcksystem. En sådan ekonomisk analys blir helt och hållet avhängt det förväntade värdet av skadan, vilket i sin tur kommer an på en frekvensbedömning av brand i SLC när fartyget ligger vid kaj eller i docka. Svårigheten med detta är att ingen relevant statistik finns tillgänglig från flottan i dagsläget. Därför har denna utredning inte genomförts, men nyttan av den kan inte överbetonas om statistiska observationer kan uppskattas. Hur mycket fartyget kommer att brukas jämfört med att ligga still, samt sannolikheten för brands uppkomst när fartyget ligger vid kaj måste alltså bedömas. Det är tydligt att brandproblematiken i SLCn i huvudsak är en ekonomisk fråga, då direkt operationell störning inte är att förvänta eftersom personal då finns på plats.

Slutsatserna från detta blir att systemsäkerheten är god med den typ av brandskydd som finns idag, handbrandsläckare och snabba personella insatser. Däremot kan en brand när fartyget ligger vid kaj bli mycket kostsam, och orsaka tidsödande reparationer, vilket kan utgöra ett problem i sig ur ett systemsäkerhetsperspektiv, då fartyget blir obrukbart för en tid.

#### **17.1.7. BRAND PÅ MANÖVERBRYGGA**

Manöverbryggan dras egentligen med precis samma problematik som stridsledningscentralen, nämligen att dyrbar och mycket viktigt utrustning finns där. Det är i huvudsak denna som ställer krav på brandskydd. Även om samma problem finns visar analysen att de termiska skadorna utan släcksystem är betydligt värre än i SLC. Förmodligen beror detta på ventilationsförhållandena och att en varmare omgivning och snabbare övertändning uppnås i relativt fler fall. På samma sätt efterfrågas en bedömning av den tidsmässiga uppdelningen mellan bruk av fartyget och kaj samt sannolikheten för brands uppkomst.

Även för MB summerar detta till att säkerheten när det gäller operationella och personkonsekvenser och är fullt acceptabel. De eventuella kostsamma och tidsödande reparationer som kan vara konsekvensen av en brand vid kaj, kan dock motivera att åtminstone en vidare bedömning av behovet av släcksystem görs.

#### **17.1.8. FÖRSLAG TILL VIDARE ANALYS**

Ventilationens inverkan på bränderna är tydlig. Därför vore det bra om en vidare analys inom detta område kan göras så att det för varje utrymme finns en färdig plan för att styra ventilationen optimalt. Ventilationen skall styras så att brandgas-spridningen minimeras men att systemets integritet bibehålls. Det är kanske inte alltid för det bästa att stänga av ventilationen så tidigt som möjligt.

Som har nämnts ovan, bör en viss ekonomisk bedömning, kostnad/nytta analys av släcksystem i SLC och MB göras eftersom det är stora ekonomiska värden som skulle påverkas vid brand.

## **17.2. MANUELL BRANDSLÄCKNING**

Om inte annat, visar huvudanalysen i denna rapport, på vikten av snabb släckning vid brand. Detta kan te sig som en självklarhet, men konstaterandet bör bara leda till att

släckningsorganisationen anpassas för just snabb släckning. Därmed bör snabbhet prioriteras vid dimensioneringen av utrustning. System med stor extremt stor kapacitet är sekundära, även om de bör finnas ombord. Därför är det tydligt att huvuddelen av träningen inför brandsläckning skall ligga på snabba effektiva insatser, såsom handbrandsläckning.

Vattensläckning är mycket effektivare desto mindre droppstorlek som nyttjas. På fartyget är utrymmen generellt sett trånga, varför kastlängd i de flesta fall är en underordnad parameter. Temperaturerna vid en brand kan förväntas vara höga, då väggarna är isolerande. Därför kan slutsatsen dras att manuell brandbekämpning bör optimeras kring lätta insatser med stor kapacitet av släckning, inte kastlängd. Detta pekar på ett lätt bärbart system med finfördelat vatten, t.ex. ett högtryckssystem eller skärsläckarsystem, alternativt kan en väldimensionerad pulverinsats övervägas.

Rent taktiskt är det också klokt att inte utsätta personer för brand. Då de trånga utrymmena kräver att brandmännen kommer nära in på branden, är det viktigt att rätt släcktaktik används för att inte släckande personal skall skadas. Nyttjas en släckteknik där vattenbegjutning på heta ytor sker i ett utrymme med mycket höga temperaturer på väggar och omgivning kommer väldiga mängder vattenånga att alstras, vilket i och för sig har en god släckande effekt, men också kan ge svåra brännskador på den som befinner sig i rummet. PTK Visby tränar dock besättningen i brandgaskylning, vilket är effektivt men också ganska svårt. De trånga miljöerna gör helt enkelt det svårt att både släcka och samtidigt befinna sig nära branden även om besättningen är utrustade med fogfighters eller liknande. Sådan utrustning är helt enkelt inte dimensionerad för kastlängder på bara någon meter och kommer därför att innebära vattenbegjutning på heta väggar och tak. Detta indikerar hur effektiva metoder där släckning kan ske utan att direkt konfrontera branden kan vara. Ett system som har prövats i sammanhanget är just skärsläckaren, som i vår mening skulle vara ett optimalt verktyg för släckning ombord på HMS Visby. Vissa praktiska arrangemang återstår dock att lösa innan den kan appliceras. Dimspik kan, precis som nämns i MarinNytt /51/, vara ett mycket effektivt sätt att släcka brand utan att konfrontera den. Dock visar snabba tester att dimspik inte utan stora problem, om alls, kan penetrera skivor av laminatmaterialet. Slutsatsen är att ett system för att borra sig genom materialet bör nyttjas, annars går spiken sönder.

### **17.3. ORGANISATORISKA OBSERVATIONER**

Att ingen relevant statistik stått att finna för brand och brandincidenter på svenska örlogsfartyg har varit ett problem i detta projekt. Det är också tydligt med det förväntade systemsäkerhetsarbete som H SystSäk /22/ föreskriver att uppföljning skall göras på alla system, inte minst för att underlätta fortsatt systemsäkerhetsarbete, och liknande riskanalyser. Därmed är det av största vikt att FM snarast organiserar ett system för incident och olycksrapportering om sådant inte redan är i bruk.

Brandskyddet på HMS Visby är mycket beroende av aktiva installationer. Detta kan i sig vara ett säkerhetsproblem om inte en mycket genomtänkt och kvalitetssäkrad organisation för hantering av underhåll och kontroll samt undvikande av mänskligt felhandlande finns. Systemens funktion är avhängda av att de hanteras korrekt, både i förebyggande situationer men också vid händelse av brand. Detta måste uppmärksammas och inkorporeras i utbildning och kontrollsystem för underhåll.

Brandsäkerheten är, som sägs ovan, inte bara beroende på tekniska system utan också på att människor handlar korrekt. Att förhindra mänskligt felhandlande i stressade situationer är dock inte lätt, men det kan underlättas genom förberedelser. Framförallt genom att i förväg reda ut de alternativa handlingar som ger bästa resultat och på ett väl planerat sätt presentera dessa både vid övning och när situationen uppstår. Resonemanget visar på vikten av att operatörer eller befäl får rätt information och att tekniska system skapas som underlättar beslutsfattandet vid svåra snabba val, som vid brand. Detta är väldigt viktigt då handlingar och beslut som tas inte på något sätt får förhindra funktionen på de aktiva och passiva system som finns på Visby. Exempelvis bör väl planerade checklistor och alternativa handlingsplaner automatisk presenteras på en operatörs skärm när denne tar emot ett brandlarm. Några specifika sådana strategier har dock inte utarbetats inom ramen för detta projekt.

---

# REFERENSER

- /1/ *AC3D – manual*,  
<http://www.comp.lancs.ac.uk/computing/users/andy/ac3d/man/ac3dman.html>,  
01-10-30
- /2/ Andersson M., Bjerke T., Levein M., *Kan rökdykning effektiviseras? - är pulverinsats ett alternativ vid livräddning?*, projektarbete i kursen Arbete-Människa-Teknik för BI, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 1999
- /3/ Andersson P., *Evaluation and Mitigation of Industrial Fire Hazards*, Brandteknik, Report TVBB-1015, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund 2000, ISSN 1102-8246
- /4/ Andersson P., Holmstedt G., Karlsson B., Magnusson S-E, *A Technical Reference Guide to FREIA*, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund 1993
- /5/ Andersson P., Holmstedt G., Karlsson B., Magnusson S-E, *FREIA - An expert system for fires and explosions in the process industry*, Journal of Loss Prevention In The Process Industries Vol. 10 No. 4 pp 265-269. 1997
- /6/ Andersson P., Holmstedt G., Karlsson B., Magnusson S-E, *Users guide to FREIA – A Risk Analysis Tool for Accidental Releases and Fires in Industrial Buildings*, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund 1993
- /7/ Andersson P., Van Hees P., *Performance of Cables Subject to Thermal Radiation* Brandforskprojekt 612-991, SP Report 2000:24, Borås 2000
- /8/ *Arbetsmiljölagen* SFS 1997:1160
- /9/ Arvidson M., Hertzberg T., *Släcksystem med vattendimma – en kunskaps-sammanställning*, Brandforskprojekt 509-991, SP rapport 2001:26, Borås 2001
- /10/ Becker P., *Metod för riskbaserad dimensionering genom beräkning* Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2000
- /11/ Bengtsson L. G. *Inomhusbrand* Räddningsverket, Karlstad 2001 ISBN 91-7253-103-7
- /12/ Boverket, BBR 1998:38 *Boverkets byggregler*
- /13/ Brandskyddslaget, LTH-Brandteknik *Brandskydd i teori och praktik* ISBN 91-630-2875-1, Stockholm, Lund, 1994
- /14/ Bull, J. P. and Lawrence, J. C., *Thermal Conditions to Produce Skin Burns*, Fire and Materials, Vol. 3 No. 2, pp 100-105, 1979

- /15/ Carlsén T., Winkler H., *Skärsläckaren som röjnings- och släckverktyg för fartyg av kolfiberkomposit* Brandteknik Rapport 5069, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2000
- /16/ Carlsson J., *Fire Modelling Using CFD – An introduction for Fire Safety Engineers*, Report 5025, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund 1999
- /17/ Coaker, *Rate of Heat Release Testing for Vinyl Wire and Cable materials with Reduced Flammability and Smoke - Full-Scale Cable Tray Test and Small-Scale Test*, Fire Safety Journal 19, 1992
- /18/ *Detact T2*, <http://www.bfrl.nist.gov/> 00-08-30
- /19/ Eker J., Vlachos S., *HSLAB – a program for one-dimensional heat flow problems* FOA rapport C 20827-2.4 ISSN 0347-3694
- /20/ *FieldView homepage* <http://www.ilight.com/homepage.htm> 01-11-25
- /21/ Försvarets forskningsanstalt (FOA), *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor – Metoder för bedömning av risker*, rapportnr FOA-D-95-00099-4.9-SE, Stockholm, 1995
- /22/ Försvarmakten, *H SystSäk – Handbok för Systemsäkerhet*, M7740-784851, 1996
- /23/ Frantzich H., *Uncertainty and Risk Analysis in Fire Safety Engineering*, Report TVBB-1016, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund ISSN 1102-8246
- /24/ Holmstedt G., Persson H., Ryderman A., *Hydraulvätskor*, SP-RAPP 1983:29 ISSN 0280-2503, Borås 1983
- /25/ Holmstedt G., *Kompendium i Släckmedel och Släckverkan*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund
- /26/ International Electronic Commission, IEC, *International Standard Dependability management – Part 3: application guide – section 9: Risk analysis of technological systems*
- /27/ Isaksson S., *Påverkan av rök på elektronik* BRANDFORSK projekt, SP Rapport 2000:19
- /28/ Isaksson S., Simonsson M., Holmstedt G. *Gasformiga alternativ till halon som släckmedel*, Brandforskprojekt 629-961, SP Rapport 1997:10, Borås 1997
- /29/ Kaplan S., *The words of Risk Analysis*, Risk Analysis vol 17, No 4 1997, Society of Risk Analysis

- 
- /30/ Karlsson B., Quintiere G. *Enclosure Fire Dynamics – a student handbook*, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund, Lund 1999
- /31/ Kockums AB, *Visby Class corvette - The true stealth vessel*, <http://www.kockums.se/SurfaceVessels/visby.html>
- /32/ Körner S., Wahlgren L. *Statistiska metoder* Studentlitteratur Lund 1998 ISBN 91-44-00838-4
- /33/ Lundin J., *Model Uncertainty in Fire Safety Engineering*, Brandteknik, Rapport 1020, ISSN 1402-3504, Lund 1999
- /34/ Mangs J., Keski-Rahonen O. *Full scale fire experiments on electric cabinets II* VTT Building Technology Espoo 1996 ISBN 951-38-4927-9
- /35/ Minitab <http://www.minitab.com/>, 01-09-20
- /36/ National Institute of Standard and Technology, <http://www.bfrl.nist.gov/>, 01-09-20
- /37/ Nilsson J., *Introduktion till riskanalysmetoder*, kurslitteratur till kursen Riskanalysmetoder som ingår i civ. ing. programmet Riskhantering, Lund 2001
- /38/ Palisade decision tools, *@RISK 3.5e*, *PrecisionTree 9.4.1*, datorverktyg <http://www.palisade.com/html/risk.html>, 01-12-11 <http://www.palisade.com/html/ptree.html>, 01-12-11
- /39/ Paté-Cornell M.E., *Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment*, Reliability Engineering and System Safety, Vol 54, 1996
- /40/ *Produktansvarslag* SFS 1992:18
- /41/ Sandström M., Osterman J. *VBA-programmering I EXCEL 97*, Docendo Läromedel AB, Stockholm 1998 ISBN 91-7882-444-3
- /42/ SIS, Swedish Standards Institute, *Kablar - Provning av egenskaper vid brand*, SS 4241475
- /43/ Sjöfartsverket, Utdrag från SOS-registret per maj 2001
- /44/ Society of Fire Protection Engineers *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* 1995 ISBN 0-87765-354-2, 2<sup>nd</sup> Edition
- /45/ SOFIE – manualen
- /46/ SOU 1995:19, *Ett säkrare samhälle*, Statens offentliga utredningar, Försvarsdepartamentet, Stockholm, 434s, 1995

- /47/ SP, *Värme och rökutveckling enligt ISO 5660*, Resultat från försök i konkalorimeter med laminatmaterial, referens P004828, Borås 2000
- /48/ Statens Räddningsverk *Fartygsbrandsläckning* SRV, Karlstad, 1994
- /49/ Statens Räddningsverk *Räddningstaktik – påverkan och utformning* SRV, Karlstad, 1994
- /50/ Stroup D., Evans D., Use of Computer Fire Models for Analyzing Thermal Detector Spacing, *Fire Safety Journal*, 14 1988 pp 33-45
- /51/ Svensson S., *Brand ombord*, MarinNytt Försvarsmaktens forum för marinen, s.18-21 nr 3, 2001
- /52/ Särdaqvist S. *Demand for Extinguishing Media in Manual Fire Fighting*, Brandteknik, Report TVBB-1021, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund 2000, ISSN 1102-8246



# FÖRTECKNING ÖVER APPENDIX

<b>APPENDIX A. SKADEKRITERIER.....</b>	<b>115</b>
A.1. ALLMÄNT .....	115
A.2. TERMISKA SKADOR PÅ MÄNNISKOR .....	115
A.3. TERMISKA SKADOR PÅ ELEKTRISKT KABLAGE .....	117
A.4. TERMISKA SKADOR PÅ LAMINATMATERIAL .....	119
<b>APPENDIX B. DIMENSIONERANDE BRÄNDER PÅ LASTDÄCK OCH I MASKINRUM 127</b>	
B.1. LASTDÄCK .....	127
B.2. MASKINRUM .....	128
B.3. SAMMANFATTNING .....	129
<b>APPENDIX C. MONTE CARLO- OCH REGRESSIONSANALYS.....</b>	<b>131</b>
C.1. ALLMÄNT .....	131
C.2. GENOMFÖRANDE .....	131
<b>APPENDIX D. TORPEDANALYS .....</b>	<b>139</b>
D.1. ALLMÄNT .....	139
D.2. GROV ANALYS AV TORPEDSKADA.....	139
D.3. SLUTSATSER .....	141
<b>APPENDIX E. ÖVERSLAGSBERÄKNING HANDBRANDSLÄCKARE. 143</b>	
E.1. ALLMÄNT .....	143
E.2. ÖVERSLAGSMÄSSIG BERÄKNING HANDBRANDSLÄCKARNAS KAPACITET ....	143
E.3. SLUTSATSER .....	145
<b>APPENDIX F. DETEKTORAKTIVERING.....</b>	<b>147</b>
F.1. ALLMÄNT .....	147
F.2. SLÄCKSYSTEM OCH AKTIVERING .....	147
F.3. FREIA OCH DETEKTORAKTIVERING .....	147
F.4. CFD OCH DETEKTORAKTIVERING .....	149
<b>APPENDIX G. BERÄKNING AV <math>K_pC</math>.....</b>	<b>151</b>
G.1. ALLMÄNT .....	151
G.2. BERÄKNINGSGÅNGEN .....	151
<b>APPENDIX H. TABELLER ÖVER SKADOR PÅ KOMPONENTER.....</b>	<b>155</b>
<b>APPENDIX I. STATISTIK.....</b>	<b>161</b>
<b>APPENDIX J. RISKMATRIS FRÅN GROVANALYS .....</b>	<b>163</b>
<b>APPENDIX K. HÄNDELSETRÄD .....</b>	<b>165</b>
<b>APPENDIX L. PLACERING AV KOMPONENTER VID SIMULERING</b>	<b>177</b>
<b>APPENDIX M. DIMSPIKSFÖRSÖK.....</b>	<b>181</b>

M.1.	ALLMÄNT .....	181
M.2.	FÖRSÖK.....	181
M.3.	SLUTSATSER DIMSPIKSFÖRSÖK .....	184
<b>APPENDIX N. SCRIPTFILER.....</b>		<b>185</b>
N.1.	ALLMÄNT .....	185
N.2.	TRANSIENT BRAND.....	185
N.3.	HYTT MED STRÅLNINGSMODELL .....	185
N.4.	HYTT OCH KORRIDOR.....	189
<b>APPENDIX O. MAKROPROGRAM FÖR FREIA UTDATA.....</b>		<b>195</b>
O.1.	ALLMÄNT .....	195
O.2.	HANTERING AV UTDATA FRÅN FREIA.....	195
O.3.	PROGRAMKOD TILL HANTERINGSPROGRAM FÖR UTDATAFILER.....	196

# APPENDIX A. SKADEKRITERIER

## A.1. ALLMÄNT

En av konsekvenserna som studeras i arbetet är skador p.g.a. värmepåverkan. Mänsklig hud, laminatmaterialet och vissa kablar är känsliga för brand och har utvärderats som skadeparametrar vid brandsimuleringarna. Utredning av kriterierna har genomförts enligt nedan.

För att få en uppfattning om när termiska skador uppstår vid brand ges följande översiktliga information. I The SFPE handbook of Fire Protection Engineering, /43/ tabell 3-4.2 finnes det att elektriska kablar har en kritiskt strålningsvärde på mellan 15-25 kW/m<sup>2</sup> beroende på tillverkningsmaterial. Vidare i handbokens tabell 5-12.3 finner vi följande, se Tabell A-1, orienterande värden för värmestrålningens intensitet och verkan.

Tabell A-1: Olika strålningsnivåers skadekonsekvenser

Strålningsnivå [kW/m <sup>2</sup> ]	Skador på utrustning och/eller människor
37,5	Skador på processutrustning och maskiner
25,0	Minsta effekt att antända trä utan pilotlåga
12,5	Minsta effekt att antända trä med pilotlåga
4,0	Smärta vid exponering under ca 20 s
1,6	Ingen smärta vid långvarig exponering

Dessa ovan nämnda konkretiserade kriterier kan nu användas för att utvärdera och eventuellt klassificera konsekvenserna av en brand ombord.

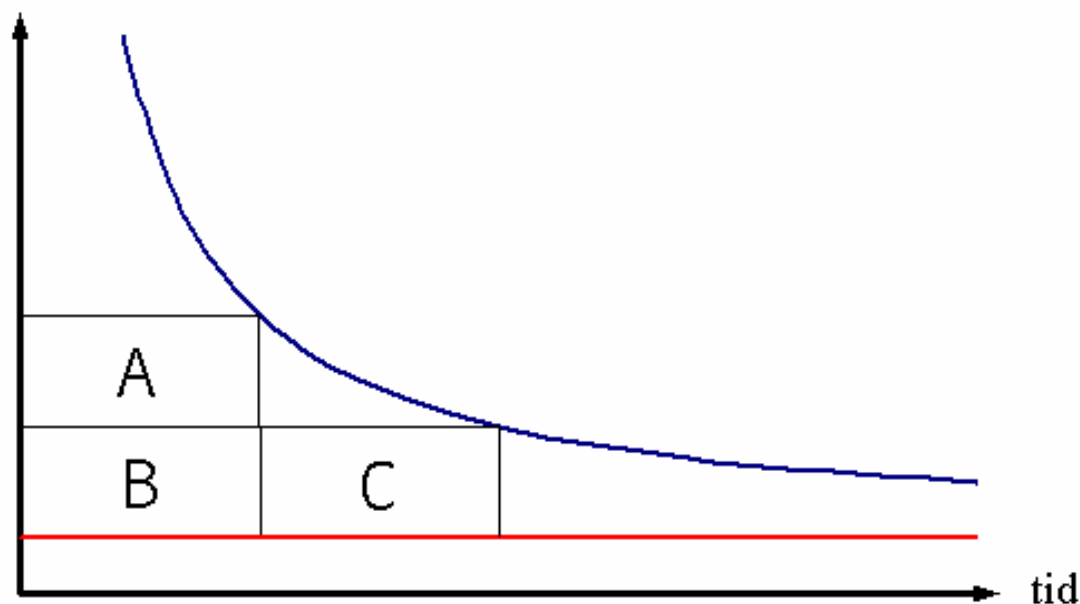
## A.2. TERMISKA SKADOR PÅ MÄNNISKOR

Litteraturen uppvisar olika kriterier för termiska skador på människor. Nedan följer en redovisning av några fall och en jämförelse via en dosmodell som kallas ”critical heat load concept”, /3/.

Konceptet ”critical heat load” förutsätter att det finns en strålningsgräns, så kallad kritisk gräns, som mänsklig hud kan utsättas i oändligt lång tid utan att skadas. Utöver denna nivå finns det en skadlig energimängd som beror på strålningsnivå och tid. Samma skadliga energinivå kan uppnås vid olika strålningsnivåer, som ligger över den kritiska, vid olika tider. I Figur A-1 skulle detta innebära att de båda rektanglarna har ungefärligen lika stor yta d.v.s. det är samma mängd skadlig energi. Det matematiska sambandet beskrivs i ekvationen nedan. Modellen är en grov förenkling av verkligheten men användbar. Programmet FREIA /6/ utnyttjar denna modell för beräkning av skador på komponenter och därmed används i analysen trots dess begränsningar.

$$(q_1'' - q_{cr}'') \cdot t_1 = (q_2'' - q_{cr}'') \cdot t_2 = E_{cr}$$

## infallande effekt



Figur A-1: Konceptet critical heat load

Boverkets byggregler anger som en gräns för strålningspåverkan på mänsklig hud en maximal strålningsenergi på  $60 \text{ kJ/m}^2$  utöver energin från en strålning på  $1 \text{ kW/m}^2$ . Energimängden  $60 \text{ kJ/m}^2$  kan till exempel fås från  $30 \text{ kW/m}^2$  i 2 sekunder eller  $10 \text{ kW/m}^2$  i 6 sekunder. Men eftersom den första  $1 \text{ kW/m}^2$  inte får ingå i den samlade effekten bortses från denna och 30 respektive  $10 \text{ kW/m}^2$  blir istället 31 respektive 11.

$$q''_{cr} = \frac{(q''_1 \cdot t_1 - q''_2 \cdot t_2)}{(t_1 - t_2)} \Rightarrow \frac{(31 \cdot 2 - 11 \cdot 6)}{(2 - 6)} = 1 \text{ kW/m}^2$$

Att tröskelnivån och den kritiska gränsen sammanfaller är självklart då bara energierna över tröskelnivån får räknas med. Enligt modellen skulle en person kunna vistas i  $1 \text{ kW/m}^2$  oändlig tid utan att få brännskador, vilket inte är helt otroligt.  $1 \text{ kW/m}^2$  brukar normalt jämföras med värmestrålningen från solen en varm sommardag och enligt Tabell A-1 kan  $1,6 \text{ kW/m}^2$  klaras långvarigt. Den kortvariga strålningsintensiteten på  $10 \text{ kW/m}^2$  får enligt konceptet vara i ca 7 s. Brandskydd i teori och praktik /13/ föreslår en maximal strålningsintensitet på  $2,5 \text{ kW/m}^2$ . Detta skulle innebära en exponeringstid på 40 sekunder, vilket får anses vara en ganska rimlig tid för exponering i en normal brand. Människan drar sig troligen snabbt undan en brand om det är möjligt.

BBR /12/ anger också en lufttemperatur på maximalt  $80^\circ\text{C}$  för konvektivt överförd värme. Om man enkelt översätter detta till en strålning från en svartkroppsstrålare utan förluster, synfaktorer etc. så får man  $0,88 \text{ kW/m}^2$ , en ganska beskedlig effekt, återigen i närheten av  $1 \text{ kW/m}^2$ .

$$q'' = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1,0 \cdot (80 + 273,15)^4 = 0,88 \text{ kW/m}^2$$

FOA /21/ presenterar en annan angreppssätt. De ställer upp antalet skadade som funktion av  $t \cdot q^{4/3}$ . Nivån är en andra gradens brännskada. Utgående från 50-procents percentilen från denna framställning kan man räkna fram att en kritisk effektnivå blir knappt  $9 \text{ kW/m}^2$ . Detta skiljer sig aningen från de andra kriterierna och bedöms vara en alldeles för hög siffra. I denna strålningsnivå kan man bara hålla en hand i någon sekund innan smärta uppstår, knappast kan långtidskriteriet vara så högt. Handboken är dock skriven till en helt annan användning varför en annan tanke kan finnas bakom, kanske kläder eller en avståndsfaktor.

Problemet med alla dessa regler är att nivån för vilken gränserna är satta är okänd. Vad innebär egentligen dessa kriterier, en lätt solbränna på huden eller en 6 gradens brännskada? Istället kan man utgå ifrån försök som har utförts på hudliknande material. I en artikel av Bull, J. P. and Lawrence i Fire and Materials /14/ beskrivs tid till olika skador som funktion av infallande effekt. Två nivåer som beskrivs är, tröskelvärde för brännskada och fullhudsskada. De innebär, översatt till ”critical heat load concept”, att den kritiska långtidsexponeringen motsvarar  $0,75\text{-}1,5 \text{ kW/m}^2$ , vilket får anses vara i enlighet med de ovan nämnda regelverkens nivåer som alla ligger kring 1. Därmed kan man alltså anta att de ovan nämnda kriterierna motsvarar en lättare brännskada, men inget allvarligt.

#### **A.2.1. SLUTSATSER**

Utifrån resonemanget och jämförelserna ovan kan man dra slutsatserna att regelverkens kriterier verkar ligga ganska vettigt till. De motsvarar också en lagom skadenivå, precis innan brännskadorna övergår till att vara skador av allvarligare karaktär. Följaktligen anses det finnas tillräckligt goda grunder att använda ovan kriterier för termiska skador på mänsklig hud. Fortsättningsvis antas de då vara  $1 \text{ kW/m}^2$  som kritiskt långtidsgräns och  $60 \text{ kJ/m}^2$  som kritisk dos.

### **A.3. TERMISKA SKADOR PÅ ELEKTRISKT KABLAGE**

Ett mera konkret sätt att utvärdera funktionalitet på system och apparatur i ett brandrum är att undersöka de elektriska kablarnas sätt att fungera vid en termisk belastning, som en brand. Det bör dock nämnas att dessa uppskattningar är grova verktyg och ger egentligen bara en osäker uppskattning om beteendet vid brand.

I enlighet med policy för osäkerhetshantering inom detta projekt, kommer konservativa antaganden att göras då kunskapsbasen i den samlade vetenskapsvärlden för bättre, mer noggranna, estimeringar är bristfällig.

Termiska skador på elektriska kablar är ett område som är mycket sparsamt undersökt. Det finns visserligen många tester och standarder inom området, men de är empiriska ”pass or fail” tester som inte ger någon information för prediktion av kablarnas funktion vid brand. Testerna tillser istället att kablarna inte i någon större utsträckning själva kan sprida brand eller i någon större utsträckning medverka till att öka brandbelastningen i brandrummet. ”Standarden behandlar inte kablars funktion under brand” uttrycker den svenska standarden /42/.

På SP, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, har några försök på kablars skador vid termisk påverkan utförts /7/. Dessa försök fastställer tid till felfunktion,

kortslutning eller avbruten signalöverföring, som funktion av infallande effekt, allt under normal driftspänning (jämför med termiska skador på mänsklig hud ovan). För att nyttja denna information bör den jämföras med andra typer av kablar för att fastställa om de på SP testade kablarna var representativa. I Figur A-2 visas en jämförelse för kablar testade på SP enligt ovan rapport samt testresultat från Coaker med flera /17/. Testerna från SP täcker i stort sett hela spektrumet av de andra 10 kablarna från Coakers försök. I brist på mer specifik data för de kablar som finns ombord på Visby används därmed data från Andersson och Hees (SP) som skadekriterium för kablar. De två ytterligheterna, som i försöken vid SP kallades kabel 24 och 22, används och således genomförs samtidigt en enkel känslighetsanalys. Kablarna kallas i denna rapport, typ I och typ II, varvid typ I motsvarar en relativt lättskadad kabel och typ II en mycket tålig sådan. Detta innebär att kriteriet fastställs till;

$$q''_{cr,24} = 10,7 \text{ kW/m}^2 \quad E_{cr,24} = 3200 \text{ kJ/m}^2$$

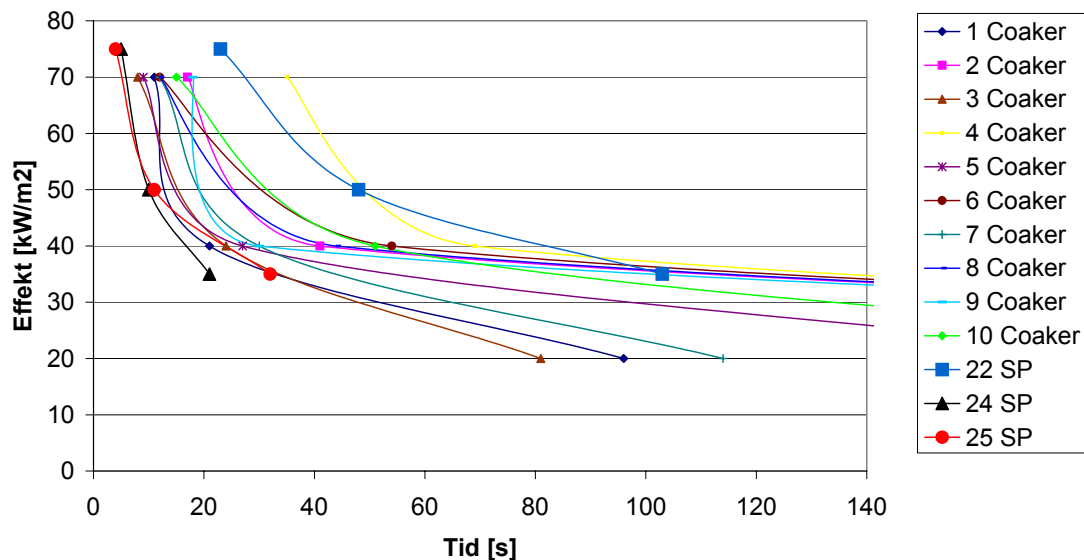
$$q''_{cr,22} = 18,0 \text{ kW/m}^2 \quad E_{cr,22} = 13200 \text{ kJ/m}^2$$

Noteras bör att denna jämförelse förutsätter att det finns en korrelation mellan felfunktion på kabeln och att densamma brinner, d.v.s. att kabeln ganska snart kortsluts då den börjat brinna. Detta verkar vara ett rimligt antagande. Dessutom sträcker sig jämförelsen bara över det material som var tillgängligt via Coakers kabeltester, vilket inte på något sätt täcker in alla tänkbara kabelmaterial, men de vanligaste och med olika typer av flamskyddsmedel. Den bedömningsgrund som testerna från SP baseras på är kortslutning som felfunktion. För den senare, kabel 22, har också modellen påtvingats, genom att nyttja bara två punkter av data för framtagandet av kritiska värden ovan. Detta är inte vetenskapligt korrekt för att beskriva just kabel 22s funktion, men det duger dock bra som kriterium på en kabeltyp som tål mycket.

De försök som gjorts på SP kring detta är inte på något sätt uttömmande och författarna säger själva att utförligare tester behövs, framförallt på de lägre exponeringsnivåerna. Just den kritiska långtidseffekten är svår att bedöma eftersom det kräver just långtidstester, vilket man oftast inte efterfrågar. Det beror också till viss del på hur kablarna är monterade och ev. värmetransport vidare i materialet under kablarna. Slutligen sägs ”However, it seems that no damage occurs at thermal radiation levels below 18 kW/m<sup>2</sup> for the Ekk cable or below 25 kW/m<sup>2</sup> for the F22 cable” /7/. Detta var dock bara ett en subjektiv bedömning av kablarnas ungefärliga kapacitet utifrån författarnas uppfattning, men den ger en indikation på att vårt härad är korrekt.

Även om dessa kriterier kan tyckas vara mycket höga, d.v.s. mycket tåliga kablar, är modellen applicerbar och lämplig trots detta. Dessutom anger /43/ i tabell 3-4.2 kritiskt långtidsgrens för kablar till storleksordningen 15-25 kW/m<sup>2</sup>, vilket är ungefärligen i beskrivet intervall. Genom att de bränder som har nyttjats till stor del är någorlunda snabba minskar problemet ytterligare. Detta innebär i alla fall att bränderna som inte släcks eller begränsas bara under verkligt korta tider ger låga exponeringsnivåer och det är bara där eventuella problem med modellen uppstår. De bränder som släcks eller begränsas ger sällan exponeringsnivåer ens i närheten av

skadekriterierna, utanför brandhärden. Sammanfattningsvis innebär detta att den integral, som finns i svansen på modellen, ute till höger, är i många fall är försumbar för normala bränder, då den är förhållandevis liten. Det vill säga att kurvans utseende vid riktigt låga nivåer spelar mindre roll då ingen sådan exponering förväntas.



Figur A-2: Jämförelse av tid till antändning mellan Coakers försök och försök gjorda på SP.

## A.4. TERMISKA SKADOR PÅ LAMINATMATERIAL

En av konsekvenserna som studeras i arbetet är skador på konstruktionen p.g.a. värmepåverkan. Laminatmaterialet är känsligt för brand och har utvärderats som en skadeparameter vid brandsimuleringarna. För att grundlägga skadekriteriet har försöks och simuleringar av värmepåverkan på materialet genomförts, vilka beskrivs nedan.

### A.4.1. FÖRSÖK MED LAMINATMATERIAL

Laminatmaterialet är känsligt för brand och dess hållfasthet förloras när temperaturen mellan kolfiberskiktet och kärnmaterialet når 90°C [15]. Det är vidhäftningen mellan kolfiber och kärnmaterialet samt mellan alla olika kolfiber skikten som ger laminatmaterialet dess hållfasthetsegenskaper. Kärnmaterialet börjar deformeras – smälta - vid denna temperatur och vidhäftningen till kolfiberskiktet samt mellan olika kolfiberskikt tappas, därmed förloras också i princip alla positiva hållfasthetsegenskaper.

Värmeledning i material kan kalkyleras med hjälp av fysikaliska samband, differentialekvationer, som beskriver värmeledningsförlopp, där värmeledningskoefficient, värmekapacitet, densitet och dimensioner krävs som indata. Det går bra att räkna med olika skikt av material också men för att minska osäkerheten är det lämpligast att göra försök med provkroppar av det aktuella materialet i konkalorimeter.

I konkalorimeter utsätts en provbit av materialet för jämn och konstant värmestrålning av en viss nivå och med hjälp av termoelement placerade i materialet läses av temperaturen. Termoelementen bör placeras mellan olika skikt för att få reda på hur olika delar av materialet leder värmen. Temperaturen registreras i en datafil och kan studeras och jämföras med data från simuleringar av värmeledning i datorprogrammet HSLAB /19/.

Försök med många olika strålningsnivåer är både kostsamt och tidskrävande. Därför är det lämpligt att göra försök med några strålningsnivåer och i datorprogrammet sedan simulera fram värden för andra relevanta strålningsnivåer genom att behålla materialvariablerna konstanta i datorsimuleringen. Resultatet av detta blir dels värden på hur konstruktionen tar upp värmen vid brand i ett rum och dels som värden på skadekriterienivåer i form av tid tills temperaturen mellan kolfiberskiktet och kärnmaterialet blir 90°C vid olika strålningsnivåer.

Vid simulering av brand i ett utrymme i datorprogrammet FREIA krävs  $\kappa$  - värmeledningstal, densitet samt värmekapacitet - för det sammansatta materialet för beräkning av energiförluster i form av ledning genom och uppvärmning av konstruktionen (väggar och tak). Ett sådant värde på  $\kappa$  som motsvarar alla skikt har beräknats och redovisas i APPENDIX G. Materialet består av 5mm kolfiberskikt samt 60mm kärnmaterial – Divinylcell ®.

Det har gjorts försök på laminatmaterialet tidigare /15/ men utan något brandskydd på materialet. I den här analysen är det viktigt att veta hur materialet påverkas av branden i det tillstånd som det finns vid användning på fartyget d.v.s. med brandskydd på. Brandskyddet varierar och är av tre olika slag brandskyddsfärg Hensotherm 2KS, glasull skivor och isoleringsskivor av ett hårt material i kombination med en aluminium plåt ytterst. Isoleringsegenskaper har bakats in i det gemensamma  $\kappa$ -värdet som nämns ovan.

Sammanlagt gjordes det åtta försök där strålningsnivån varierades mellan 25 kW/m<sup>2</sup> och 50kW/m<sup>2</sup>. I de fyra första testades laminatmaterialet med eller utan brandskyddsfärg på. I de övriga testades bara själva isoleringsmaterialet d.v.s. glasullsmaterialet eller hårdisoleringsmaterialet. I verkligheten läggs det en aluminium plåt på den hårda isoleringen men detta har inte gjorts under försöken. Aluminium kan tänkas reflektera en del av strålningen men leder värmen mycket bra. Huruvida detta påverkar försöksresultaten är inte möjligt att kvantifiera.



Tabell A-2: Sammanställning av testat material.

Material	Brandskydd	Strålningsnivå	Termoelementplacering
Laminat	Nej	25 kW/m <sup>2</sup>	Ytan Mellan kolfiber och kärnmaterialet 3,5 mm in i kärnmaterialet
Laminat	Ja	25 kW/m <sup>2</sup>	Ytan Under brandskyddsfärgen Mellan kolfiber och kärnmaterialet 3,5 mm in i kärnmaterialet
Laminat	Nej	50 kW/m <sup>2</sup>	Ytan Mellan kolfiber och kärnan 3,5 mm in i kärnmaterialet
Laminat	Ja	50 kW/m <sup>2</sup>	Ytan Under brandskyddsfärgen Mellan kolfiber och kärnmaterialet 3,5 mm in i kärnmaterialet
Glasull	----	50 kW/m <sup>2</sup>	Ytan Baksidan
Glasull	----	50 kW/m <sup>2</sup>	Ytan Baksidan
Hårdisole ring	----	50 kW/m <sup>2</sup>	Ytan Baksidan
Hårdisole ring	----	25 kW/m <sup>2</sup>	Ytan Baksidan

#### A.4.2. VÄRMETRANSPORTSIMULERING I HSLAB

Som det nämns ovan är simulering av värmeledning i materialet med programmet HSLAB ett bra sätt att angripa problemet. Programmet använder en modell för endimensionell värmeledning. Detta betyder att värmevågen bara propagerar åt ett håll men i verkligheten är det mera komplicerat, då självklart ledning sker i alla tre dimensioner. Den endimensionella ekvationen är som följer:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right), \text{ där}$$

$\rho$  = densiteten [kg / m<sup>3</sup>]

$c$  = specifika värmekapaciteten [J / kg °C]

$\lambda(T)$  = värmeledningstalet [W / m °C]

Programmet kräver också indata, se Tabell A-3, för varje skikt som tjocklek, densitet, specifik värmekapacitet i form av konstanter medan värmeledningstalet kan anges även som funktion av medeltemperaturen i materialet. Dessutom anges randvillkoren för de yttersta ytorna, t.ex. en starttemperatur samt konstant infallande strålning. Randvillkoren kan anges som temperatur på ytan, infallande värmeeffekt, infallande

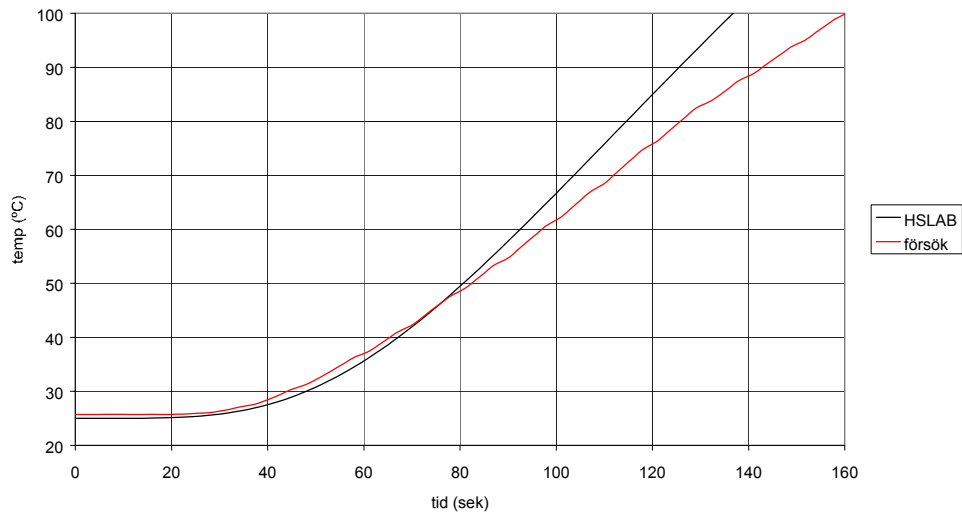
värmestrålning, eller som gasmassa som angränsar ytan då värmetransporten anges ske genom konvektion från till exempel varma brandgaser.

Tabell A-3: Indata till simuleringarna i datorprogrammet HSLAB

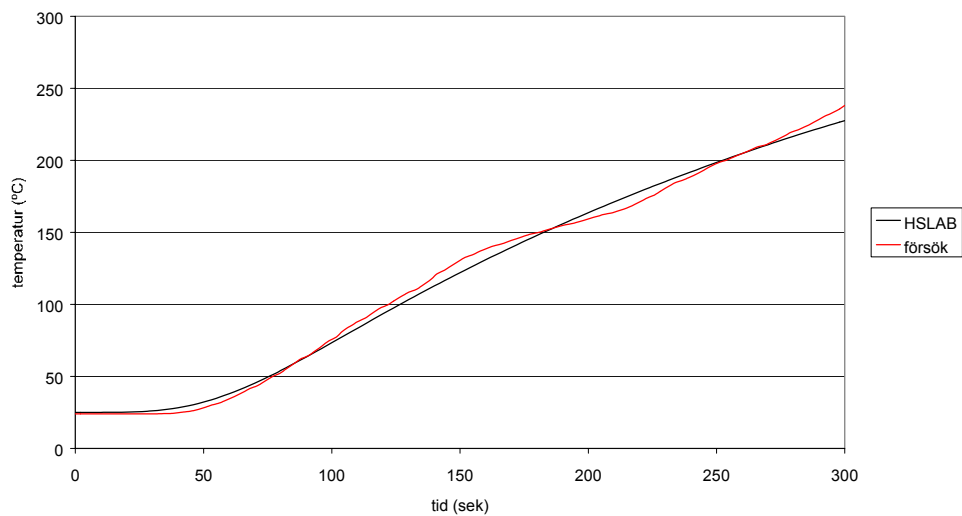
brandskyddsfärg	densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	25		
	värmekapacitet [J/kg K]	1000		
	värmeledningstal [W/m K]	T [°C]	λ	
		20	1,00	
		200	0,70	
		400	0,10	
	500	0,04		
tjocklek [m]	0,010			
skikt tjocklek [m]	0,001			
kolfiberskikt	densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	1260		
	värmekapacitet [J/kg K]	900		
	värmeledningstal [W/m K]	T [°C]	λ	
		25	0,04	
		100	0,06	
		200	0,08	
		300	0,12	
600	0,30			
tjocklek [m]	0,005			
skikt tjocklek [m]	0,0005			
kolfiberskikt (vid HSLAB beräkning utan brandskydd)	densitet [kg/m <sup>3</sup> ]			
	värmekapacitet [J/kg K]			
	värmeledningstal [W/m K]	T [°C]	λ	
		25	0,02	
		100	0,025	
		200	0,06	
		300	0,10	
600	0,15			
tjocklek [m]	0,005			
skikt tjocklek [m]	0,0005			
kärnmaterial (Divinylcell ®)	densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	180		
	värmekapacitet [J/kg K]	800		
	värmeledningstal [W/m K]	0,036		
	tjocklek [m]	0,060		
	skikt tjocklek [m]	0,001		
glasull (mjuk isolering)	densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	124		
	värmekapacitet [J/kg K]	0,0073		
	värmeledningstal [W/m K]	0,038		
	tjocklek [m]	0,030		
	skikt tjocklek [m]	0,001		
hårdisolering	densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	322		
	värmekapacitet [J/kg K]	750		
	värmeledningstal [W/m K]	0,030		
	tjocklek [m]	0,020		
	skikt tjocklek [m]	0,001		

För varje försök simulerades motsvarande situation i HSLAB. För att få fram tid till skada som förekommer i materialet studerades temperaturen mellan kolskiktet och kärnmaterial. I försöken med brandskyddsfärg och 25 kW/m<sup>2</sup> resp. 50 kW/m<sup>2</sup> anpassades värmeledningstalet som funktion av temperaturen så att temperaturkurvan i simuleringen passar den från försöken. Efter två testsimuleringar togs ett fingerat värmeledningstal i HSLAB fram som anpassade temperaturkurvan relativt väl för båda strålningsnivåerna se Figur A-3 och Figur A-4 nedan. Den simulerade kurvan passar bäst för den högre strålningsnivån på 50kW/m<sup>2</sup> och lite sämre för den lägre nivån på 25kW/m<sup>2</sup> men resultaten är konservativa d.v.s. ligger på den säkra sidan. Det

anses att strålningsnivåer större än  $50\text{kW/m}^2$  är orimliga. Förutom det anpassade, simulerade, värmeledningstalet har de övriga indata parametrarna till HSLAB de värden enligt den information som fanns om materialegenskaperna.

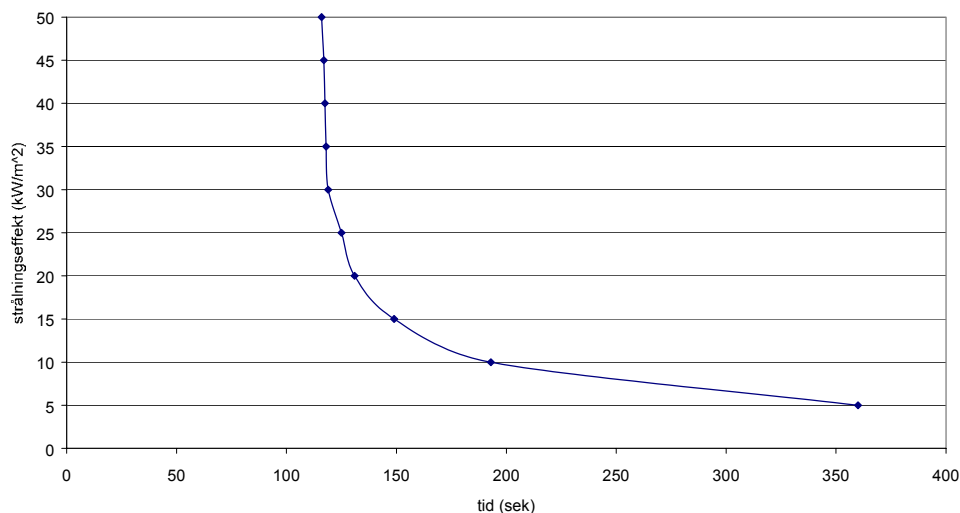


Figur A-3 Temperaturkurvor mellan kolskiktet och kärnmaterialet från HSLAB resp. försök vid  $25\text{kW/m}^2$  strålningsintensitet



Figur A-4 Temperaturkurvor mellan kolskiktet och kärnmaterialet från HSLAB resp. försök vid  $50\text{kW/m}^2$  strålningsintensitet

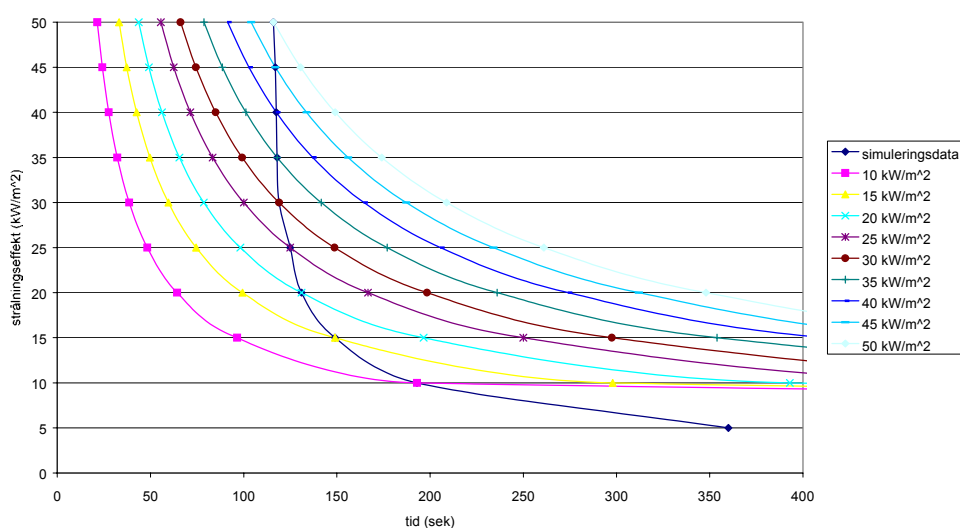
Figur A-5, nedan, visar resultaten från simuleringar där det anges tiden tills temperaturen är  $90^\circ\text{C}$  mellan kolfiberskiktet och kärnmaterialet under en viss infallande värmestrålning.



Figur A-5 Tid till temperatur på 90°C mellan kolskiktet och kärnmaterialet vid olika strålningsnivåer

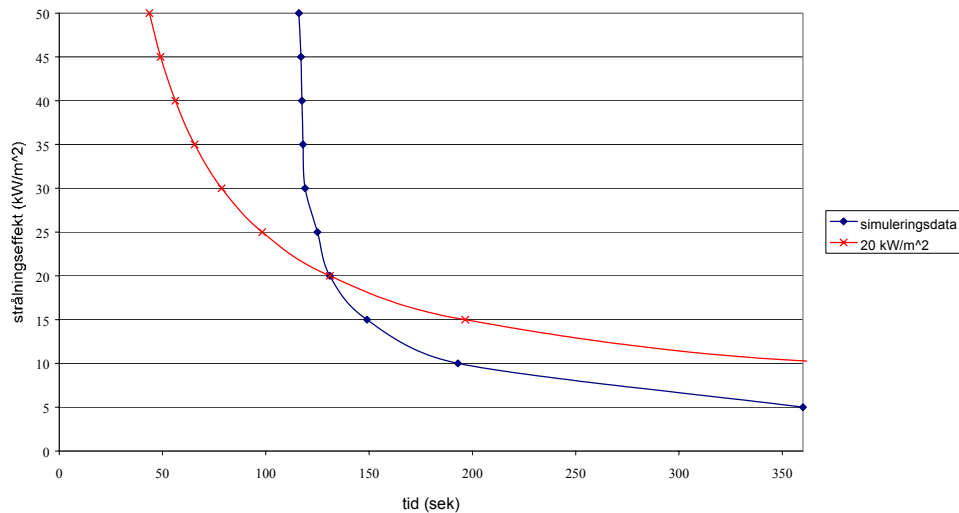
För beräkning av skador på komponenter vid brand i programmet FREIA användes en modell som kallas för ”critical load concept”, se ovan, där en komponent, utsatt för brand, går sönder vid en viss upptagen värmeenergi. Beroende på strålningen tar det olika lång tid för komponenten att ta skada. Det finns dessutom en viss kritisk strålningsnivå där tiden till skada är oändlig.

I FREIA beräknas skadan enligt en exponentiell kurva av typen  $y = x^{-a}$  med asymptot på den kritiska strålningsnivån då tiden går mot oändligheten och som passerar en punkt med given strålning och tid till skada. Datapunkterna från simuleringarna kunde ej alla anpassas till en exponentiell kurva, då modellen är en grov förenkling av förloppet - verkligheten. Däremot kunde en kurva anpassas enligt den ovannämnda modellen genom nyttjandet av varje datapunkt bland de simulerade i HSLAB, vilket innebar att nio kurvor togs fram. Den kritiska långtidsstrålningen, asymptoten, ansågs genom att utvärdera testdata, vara 5kW/m<sup>2</sup> vilket visas i diagrammet nedan.



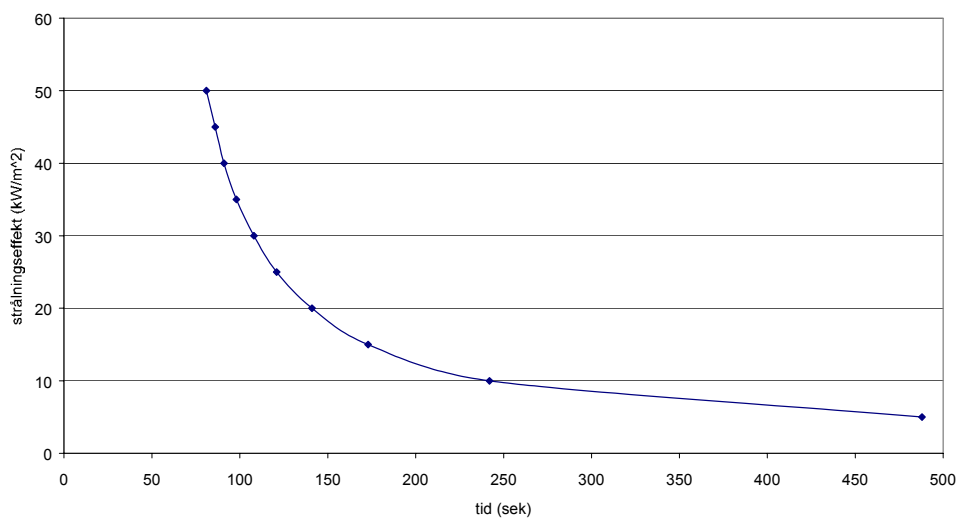
Figur A-6 Skadekriteriekurvan framtagen vid simuleringar i HSLAB samt de enligt ”critical load concept” anpassade kurvor för varje strålningsnivå

Valet av vilken skadekriteriekurva skulle utnyttjades i simuleringarna med datorprogrammet FREIA gjordes med tanke på vilken kurva passar bäst det intervall av strålning som ansågs vara mest trolig vid brand. Det troliga strålningsintervallet ligger i storleksordningen  $20 \text{ kW/m}^2$  vilket är ungefärlig strålningsnivå vid övertändning /30/ och därmed väljs det kurvan som anpassats till punkten  $20 \text{ kW/m}^2$ .



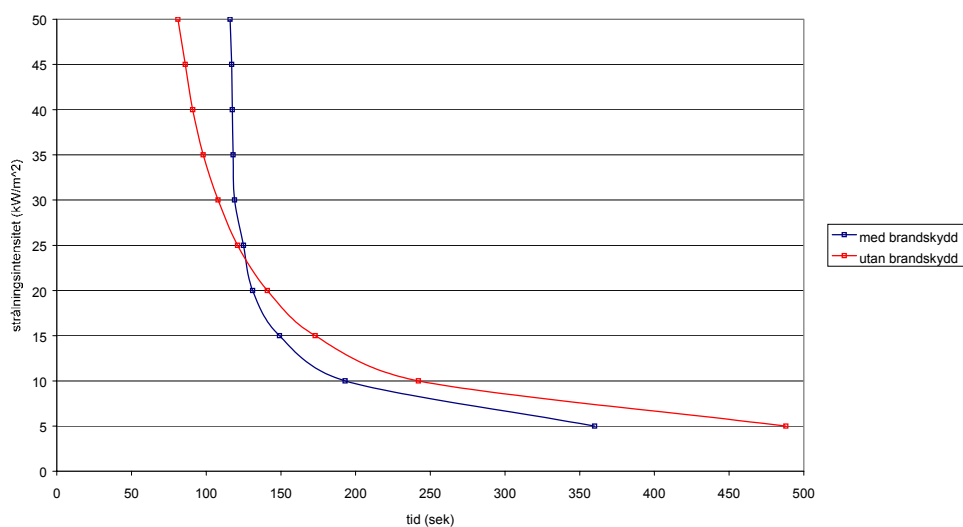
Figur A-7 Skillnaden mellan den framtagna skadekriteriekurvan samt den anpassade enligt "critical heat load concept"

Samma resonemang utnyttjades för analys av fallet då konstruktionen inte är skyddat med brandskyddsfärg följer nedan. Då det inte förekommer några ytor av laminatmaterialet som inte är brandskyddade är analysen av detta fall mest användbar för att jämföra och se hur skadekriteriekurvan skulle bli om inte brandskydd fanns, se Figur A-8. Djupare analys av hur konsekvens bilden skulle bli i det här fallet gjordes inte då som det nämns ovan inte finns ytor utan brandskydd.



Figur A-8 Tid till temperatur på  $90^\circ\text{C}$  mellan kolskiktet och kärnmaterialet vid olika strålningsnivåer utan brandskyddsfärg

Jämförelse av skadekriteriekurvor med respektive utan brandskydd visar att utan brandskydd är det lägre tolerans mot brand i materialet för strålningsnivå över  $23\text{kW/m}^2$ , se Figur A-9 nedan. För värden under  $23\text{kW/m}^2$  är det tvärtom vilket är orimligt men detta förklaras som svaghet av modellen som tillämpas. Förmodligen kan detta förklaras genom att randvillkoren ändras drastiskt vid förändrade instrålningseffekter vilket inte kan hanteras av enkla endimensionella värmeledningsprogram såsom HSLAB. Återstrålning och förångning av brandskyddsfärg är svårsimulerade effekter. I diagrammen ovan där resultat från försök och HSLAB jämför kan det observeras att det råder bättre överensstämmelse mellan kurvorna för  $50\text{kW/m}^2$  fallet än vad de gör för  $25\text{kW/m}^2$ . I det hela är osäkerheten stor i den framtagna skadekriteriekurvan som utnyttjas vid simuleringar i FREIA.



Figur A-9 Jämförelse av tid till temperatur på  $90^{\circ}\text{C}$  mellan kolskiktet och kärnmaterialet vid olika strålningsnivåer med resp. utan brandskyddsfärg

# APPENDIX B.

## DIMENSIONERANDE BRÄNDER PÅ LASTDÄCK OCH I MASKINRUM

### B.1. LASTDÄCK

I det här utrymmet finns det hydraulsystem till hydrofon där spill av olja p.g.a. sprickor i ledningssystemet anses vara sannolikt. I utrymmet är det tänkt att helikopter eventuellt kommer att finnas vilket är också en riskkälla i form av olje- eller bränslespill samt antändning. Hydrofonden är visserligen fylld med alkoholbaserad vätska som håller hydrofonden på rätt djup under havsytan. Men spill av denna vätska anses vara mindre sannolikt jämfört med olje- eller bränslespill från hydraulsystem eller helikopter. Därmed har i analysen valts två olika oljebaserade vätskor d.v.s. tung och transformator olja men ingen alkoholbaserad sådan. Detta val anses dessutom ligga på säkra sidan då brand i olja ger högre effektutveckling jämfört med brand alkoholbaserade vätskor.

Det finns en gräns för en uppkommens sprickas längd där denna inte längre kan hållas stabil. På grund av stora tryckkrafter går ledningen då av helt. Vid ett sådant fall bildas det en vätskepöl som är betydligt svårare att antända, då vätskorna har höga flampunkter. Men om det redan pågår en spraybrand kan det finnas tillräckligt med värmeenergi för att antända pölen. En sådan situation är möjlig även i ett fall där spraystrålen träffar något hinder. Effektutvecklingen blir även här konstant, sånär som på en snabb uppvärmningsfas, och effekten beror helt och hållet på pölens utbredning.

Eventuell antändning av oljepöl leder till en snabbväxande brand som stabiliseras på en viss effektnivå. Att effekten stabiliseras till en viss nivå beror på strålningsenergin från flamman och energiförluster från vätskan som styr förångningen. Beräkningarna görs enligt följande formel /30/:

$$\dot{q}' = \chi \cdot \Delta H_C \cdot \dot{m} \cdot A \quad \text{där}$$

$\chi$  förbränningseffektiviteten oftast antas vara 0,7

$\Delta H_C$  förbränningsenergin för vätskan [kJ/kg]

$A$  pölens area [m<sup>2</sup>]

$\dot{m}$  massavbrinning av vätska per tidsenhet och area [kg/s·m<sup>2</sup>] som är beroende på diameters storlek och räknas enligt följande:

$$\dot{m} = \dot{m}_{\text{inf}} \cdot (1 - e^{-k \cdot \beta \cdot D}) \quad \text{där}$$

$\dot{m}_{\text{inf}}$  den maximala massavbrinning per tids- och area enhet för det specifika ämnet

$k\beta$  är en ämnesspecifik parameter som bestämmer hur snabbt den maximala avbrinningshastigheten uppnås

$D$  pölens diameter. Om pölformen är annan än cirkulär kan diametern för motsvarande cirkulär yta räknas enligt  $D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$

Vätskepölens area är det svårt att uppskatta med tanke på mängden vätska, golvet lutning eller dräneringssystem i utrymmet samt hinder längs golvet. Pölens storlek avgör hur stor den maximala effektutvecklingen blir vid brand och påverkar därmed konsekvens bilden mycket. Dräneringssystem på lastdäck betyder i alla fall att pölens storlek kommer att begränsas. För att uppskatta hur mycket konsekvenserna påverkas vid olika storlekar på pölarean har tre olika diametrar studerats nämligen på ett, två och tre meter. I kombination med 2 olika vätskor blir det sex olika fall. För varje fall sedan utvecklas analysen med tre släckningsalternativ samt två ventilationsalternativ. Sammanlagt blir det alltså  $2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2 = 36$  fall som visas i händelseträdet i APPENDIX K. Tabell B-1 nedan visar ingångsvariabler för beräkning av maximal effekt samt resultatet enligt ovan förevisade ekvationer.

Tabell B-1 Resultat med maximaleffekt för tre olika diametrar och två olika typer av bränsle, tung (eldnings-) olja samt transformator olja.

typ av olja	$\Delta H_C$ [MJ/kg]	$D$ [m]	$A$ [m <sup>2</sup> ]	$k\beta$ [m <sup>-1</sup> ]	$\dot{m}_{inf}$ [kg/(s·m <sup>2</sup> )]	$\dot{m}$ [kg/(s·m <sup>2</sup> )]	$q'$ [kW]
tung (crude oil)	42,6	1	0,79	2,8	0,022-0,045	0.031	1053
tung (crude oil)	42,6	2	3,14	2,8	0,022-0,045	0.033	4467
tung (crude oil)	42,6	3	7,07	2,8	0,022-0,045	0.033	10085
transformator	46,4	1	0,79	0,7*	0,039*	0.020	715
transformator	46,4	2	3,14	0,7*	0,039*	0.029	4283
transformator	46,4	3	7,07	0,7*	0,039*	0.034	11225

Dessa maximala effektnivåer har sedan kompletterats med ett antagande om utvecklingen till dess att den maximala effekten är uppnådd, för att fullständiga de första sekunderna på branden. Antagandet uttrycker att branden växer  $\alpha^2$ -utseende under 30 sekunder upp till maximal effekt och är därefter konstant. Detta betyder att  $\alpha$ -värdet bestäms av den maximala effekten och den fasta tiden, 30 sekunder.

## B.2. MASKINRUM

Bränderna i maskinrummet antas vara spraybränder som uppstår vid spricka i hydraul- eller bränsle systemet. Då dessa system arbetar under stort tryck kommer vätskan, vid spricka i ledning, ut i finfördelade droppar som vid kontakt med het yta kan antända och därmed uppstår en s.k. spraybrand. De bränder som valts baseras på forskning som gjorts av SP i Borås /24/. I SP rapporten som redovisas effektutvecklingskurvor från försök med två olika munstycken, kallade TG 0,4 och TG 0,7 samt olika tryck i systemet som ger olika droppstorlekar samt olika trycknivå i systemet. Utifrån dessa kurvor har brandens uppväxt uppskattats i form av motsvarande  $\alpha$ -värde genom att avläsa maximal effektutveckling samt tiden tills detta uppnås. Resultatet visar att bränderna uppnår maximal effektutveckling nästan momentant. I Tabell B-2 nedan redovisas dessa värden.



Tabell B-2: Resultat från försök med hydraulvätskor vid SP /24/

Munstycke (typ)	Tryck [MPa]	RHR [MW]	Tid [sek]	Alfa [kW/s]
TG 0.7	25	2,25	12	15,6
TG 0.7	15	1,8	12	12,5
TG 0.7	10	1,5	12	10,4
TG 0.7	5	0,8	12	5,6
TG 0.4	25*	1,4	10	14,0
TG 0.4	15*	1,1	10	11,0
TG 0.4	10*	1	10	10,0
TG 0.4	5*	0,5	10	5,0

Dessutom täckte dessa bränder in ett intervall av effektutvecklingar, varav tre utvaldes för att representera möjligheterna, nämligen de maximala effekterna 2,25 MW, 1,4 MW samt 0,5 MW. I och med att maskinrummet är relativt litet och att jämförelsevis kraftiga bränder valdes, antogs att bränderna inte bara håller en maximal effekt, utan att strukturen och annat material bidrar till en ytterligare brandspridning, till dess att övertändning uppstår eller släckning sker. Därmed adderades ytterligare en brandutveckling efter det att den maximala effekten uppnåts. Detta antogs vara en snabb sådan, eftersom tändkällan var så pass stark (0,5-2,25 MW i en riktad spray) och hastigheten sattes till en linjär funktion, som på ca 100 s motsvarar ungefärligen ultrafast  $\alpha$ - $t^2$ . Det visade sig dock att detta hade mindre betydelse, eftersom övertändning ändå uppstod relativt snabbt då släckning inte nyttjades (vid övertändning nyttjas i FREIA att all materialstruktur i rummet pyrolyserar och effektutvecklingen styrs av syrenivån snarare än begränsningar i bränsle).

### B.3. SAMMANFATTNING

På lastdäckscenariot har således 6 olika poolbränder använts, utifrån två olika bränslen, två oljor. Vid maskinrumsscenariot användes tre olika storlekar på tänkt spraybrand utifrån tänkbara oljor. Dessutom kompletterades dessa med en fortsatt brandutveckling efter att den maximala hade uppnåts, då brand i ett sådant utrymme inte kan tänkas lämna annan struktur opåverkad.



---

# APPENDIX C.

## MONTE CARLO- OCH REGRESSIONS- ANALYS

### C.1. ALLMÄNT

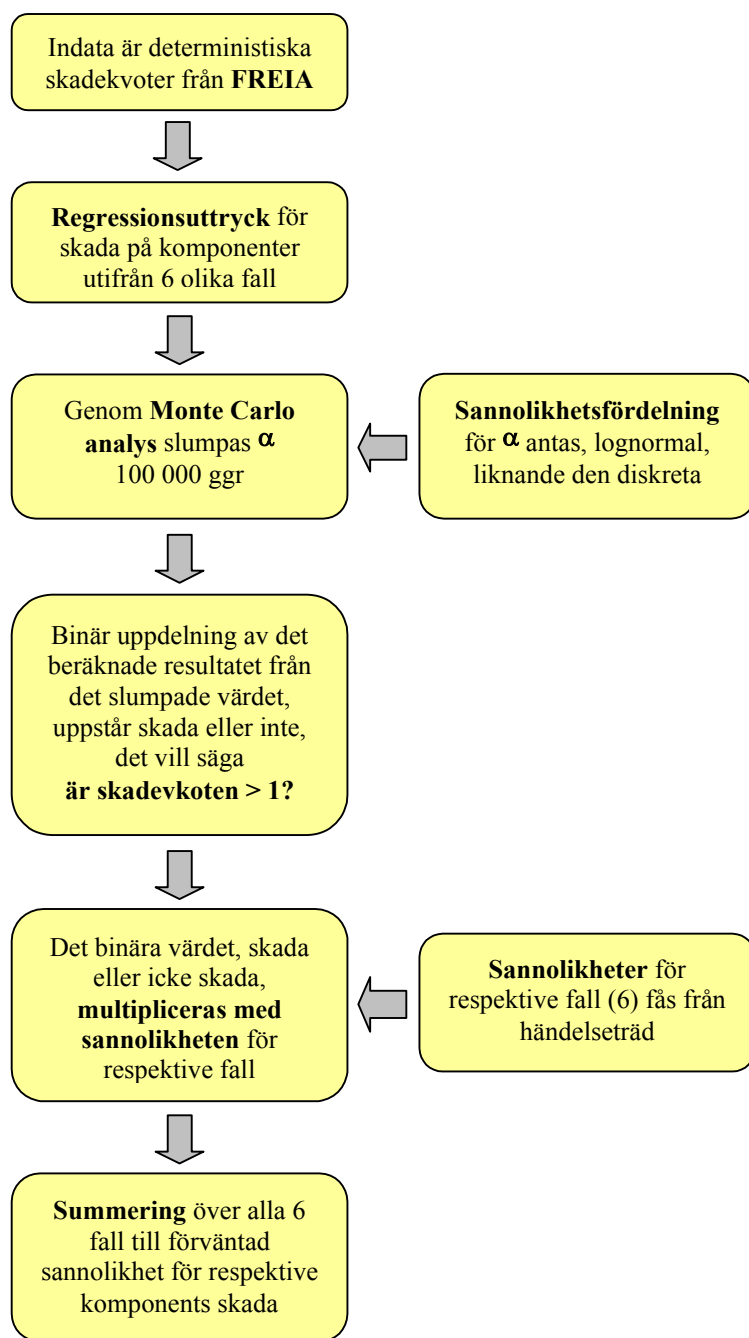
Monte Carlo-analys har genomförts med avsikten att visa på spridning i indata och att verifiera användandet av en förenklad metodik. I detta appendix beskrivs tillvägagångssättet för denna delanalys. I Figur C-1 visas en schematisk struktur över beräkningsgången.

### C.2. GENOMFÖRANDE

I Monte Carlo-analysen genereras slumpmässigt värden för de olika variablerna med respektive fördelning och med hjälp av ett matematiskt uttryck beräknas resultatet som en statistisk fördelning. Ju större antal iterationer används desto bättre resultat ger metoden. Det matematiska uttrycket härleds empiriskt med hjälp av statistisk regression från försöksresultat eller som i det här fallet från simuleringsresultat.

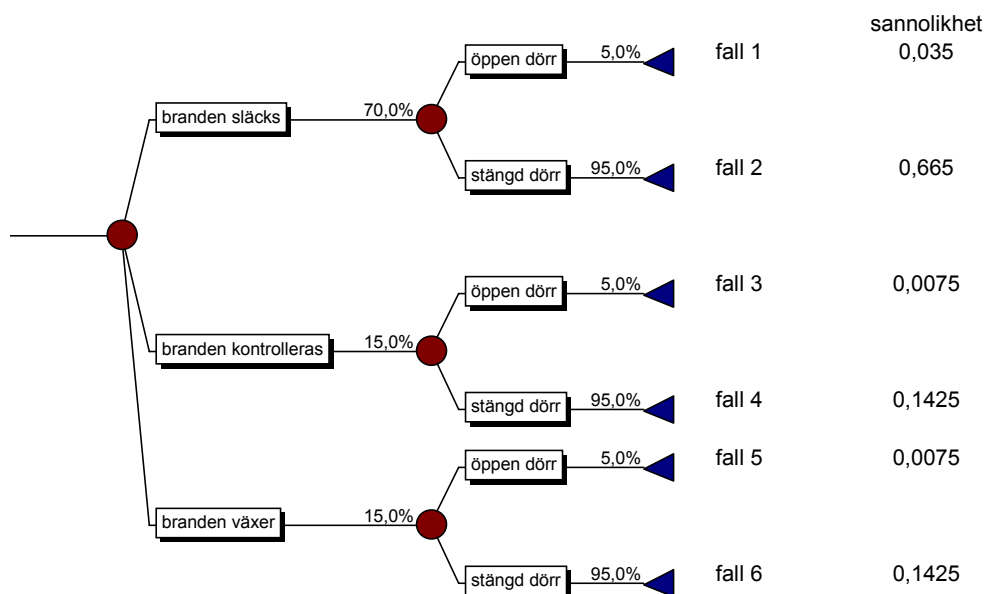
Resultatet från simuleringarna gavs i form av en skadekvot. Ett värde på ett eller högre betyder att komponenten skadas. De tre variabler som analyserats är brandens storlek, släckningspåverkan på branden och ventilationen. Brandens storlek definieras av et s.k.  $\alpha$ -värde och har en kontinuerlig logaritmisk normal fördelning med det förväntade värdet på  $0,015024 \text{ kW/s}^2$  och en varians på  $0,038377 \text{ kW/s}^2$ . Denna har valts sådan för att efterlikna den diskreta fördelningen så mycket som möjligt samt att inte sprida  $\alpha$ -värdet utanför det område för vilket regressionsanalysen gäller. Att skapa regressionsuttryck från simulerings- eller försöksresultat med variabler inom vissa intervall kallas det för ”meta” -modell. Modellen gäller således bara inom den rymd som variablerna inom de intervall från vilka regressionsuttrycken härletts spänner upp.

Släckningspåverkan har delats i tre fall: släckning, kontroll av branden och ingen påverkan med respektive sannolikhets fördelningar 70%, 15% och 15%. Det ena alternativet utesluter de två återstående d.v.s. det handlar om en trinomial variabel. Ventilationen som betyder helt enkelt om dörren är öppen eller stängt kan ta två för varandra uteslutande värden d.v.s. en binomial variabel och sannolikhetsfördelning för stängd respektive.



Figur C-1: Arbetsgången för Monte Carlo-analys.

Då bara brandens storlek är en kontinuerlig variabel kan regressionsuttryck tas fram med avseende på bara denna. Detta innebar att sex olika uttryck för varje komponent krävs då sex olika kombinationer av släcknings- och ventilationsalternativ kan fås (se händelseträdet nedan) som i Figur C-2 nedan benämns för ”fall”. I figuren redovisas även sannolikheten för varje enskild kombination.



Figur C-2: Exempel på händelsetråd och diskreta fördelningar för händelser, samt sannolikheterna för respektive typfall.

I hyttscenariot analyserades sju olika komponenter vilket innebär att sammanlagt 42 olika uttryck behövdes för att genomföra Monte Carlo-analysen. Dessa har tagits fram med statistisk regressionsanalys i datorprogrammet Minitab /35/ och resultatet i tabellform för varje enskild komponent redovisas nedan i Tabell C-1 till Tabell C-7. I tabellerna visas även det s.k.  $R^2$  som är korrelationskoefficienten i kvadrat eller determinationskoefficienten /32/. Determinationskoefficienten anger hur stor del av beroende variabeln (skada på komponent) som förklaras av sambandet med den oberoende variabeln ( $\alpha$ -värdet).

Tabell C-1: Regressionsuttryck och determinationskoefficient för komponent 1 (K1)

Komponent K1	regressionsuttrycket	$R^2$
fall 1	$3,11 - 0,835 \cdot \log(\text{alfa})$	97,4%
fall 2	$3,11 - 0,835 \cdot \log(\text{alfa})$	97,4%
fall 3 <sup>1</sup>	$6,52 + 0,000813 \cdot \log(\text{alfa})$	84,5%
fall 4	$6,52 - 0,000137 \cdot \log(\text{alfa})$	98,3%
fall 5 <sup>2</sup>	$6,52 + 0,000813 \cdot \log(\text{alfa})$	84,5%
fall 6	$10^{(0,814)}$	-----%

<sup>1,2</sup> Här har extra spridning nyttjats i och med osäkerheten i regressionsuttrycket. De i regressionsuttrycket ingående konstanterna har ersatt med normalfördelade variabler med från regressionsanalysen given spridning.

Tabell C-2: Regressionsuttryck och determinationskoefficient för komponent 2 (K2)

Komponent K2	regressionsuttrycket	R <sup>2</sup>
fall 1	-0,000247+0,447·alfa	99,3%
fall 2	0,0592+6,000·alfa	98,7%
fall 3	0,0109+17,4·alfa	99,1%
fall 4	14,6+3,71·log(alfa)	94,6%
fall 5	16,2+4,45·log(alfa)	99,1%
fall 6	14,6+3,70·log(alfa)	93,6%

Tabell C-3: Regressionsuttryck och determinationskoefficient för komponent 3 (K3)

Komponent K3	regressionsuttrycket	R <sup>2</sup>
fall 1	3,11-0,835·log(alfa)	97,4%
fall 2	3,11-0,835·log(alfa)	97,4%
fall 3	6,52	-----%
fall 4	6,52	-----%
fall 5	6,52	-----%
fall 6	6,52	-----%

Tabell C-4: Regressionsuttryck och determinationskoefficient för komponent 4 (K4)

Komponent K4	regressionsuttrycket	R <sup>2</sup>
fall 1	-0,000318+0,463·alfa	99,4%
fall 2	0,0592+6,000*alfa	98,7%
fall 3	0,0109+17,4·alfa	99,1%
fall 4	14,6+3,71·log(alfa)	94,6%
fall 5	16,2+4,45·log(alfa)	99,1%
fall 6	14,6+3,70·log(alfa)	93,6%

Tabell C-5: Regressionsuttryck och determinationskoefficient för komponent 5 (K5)

Komponent K5	regressionsuttrycket	R <sup>2</sup>
fall 1	106-28,4·log(alfa)	97,4%
fall 2	106-28,4·log(alfa)	97,4%
fall 3	222-0,00309·log(alfa)	98,3%
fall 4	222-0,00229·log(alfa)	99,0%
fall 5	222-0,00309·log(alfa)	98,3%
fall 6	222-0,00229·log(alfa)	99,0%

Tabell C-6: Regressionsuttryck och determinationskoefficient för komponent 6 (K6)

Komponent K6	regressionsuttrycket	R <sup>2</sup>
fall 1	$10^{(-0,101+6,56*\text{alfa})}$	98,4%
fall 2	$6,94+193\cdot\text{alfa}$	96,7%
fall 3	$5,92+618\cdot\text{alfa}$	97,8%
fall 4	$488+123\cdot\log(\text{alfa})$	94,6%
fall 5	$540+147\cdot\log(\text{alfa})$	99,1%
fall 6	$488+122\cdot\log(\text{alfa})$	93,6%

Tabell C-7: Regressionsuttryck och determinationskoefficient för komponent 7 (K7)

Komponent K7	regressionsuttrycket	R <sup>2</sup>
fall 1	$10^{(-0,101+6,56*\text{alfa})}$	98,4%
fall 2	$6,94+192\cdot\text{alfa}$	97,8%
fall 3	$5,92+618\cdot\text{alfa}$	97,8%
fall 4	$488+123\cdot\log(\text{alfa})$	94,6%
fall 5	$540+147\cdot\log(\text{alfa})$	99,1%
fall 6	$488+122\cdot\log(\text{alfa})$	93,6%

I två fall där är R<sup>2</sup> avsevärt mindre än den önskvärda nivån på 95%. I de två fall där värdet ligger på 84,5% har regressionsuttryckets konstanter slumpats med osäkerhet utifrån respektive fördelning som programmet Minitab /35/ anger. Det finns ytterligare 8 fall där R<sup>2</sup> är strax under 95% men anses ligga inom ett acceptabelt intervall med tanke på osäkerheterna i t.ex. antaganden. Med andra ord slumpas konstanterna som N (6,52189;0,00061) och N (0,000813;0,000246) för K1 i fall 3 och fall 5 (det är samma uttryck). I och med detta nyttjas dessa värden med den extra osäkerhet som de representerar, vilket torde ytterligare öka spridningen på fördelningen. Då syftet med själva Monte Carlo-analysen är att undersöka spridningen från indata och skillnaden mellan en diskret och kontinuerlig framställning av branden anses detta vara acceptabelt. I de andra fallen där värdet på R<sup>2</sup> ligger strax under 95% anses vara av mindre betydelse för slutresultatet d.v.s. att regressionsuttrycken i dessa fall används i analysen. Noterbart är att nästan alla dessa regressionsuttryck som visar ett lågt R<sup>2</sup> värde i princip ligger konstant långt över 1, ibland på hundratalet. Eftersom sambandet med  $\alpha$  är positivt, skadan ökar med större brand, kan vi räkna ut att i de känsligaste fallen krävs att  $\alpha$ -värdena ner mot 0,0002 för att skadekvoten ett skall närmas. Med en snabbtitt på fördelningen som nyttjas ses att detta bara uppstår i extremt få fall, varför regressionsuttrycken kan användas som de är. Det vill säga eventuell spridning inom det området har ingen som helst påverkan på slutresultatet som ändå bara tar hänsyn till skada eller icke skada, d.v.s. om talet är över ett eller inte.

Monte Carlo-analysen genomfördes i datorprogrammet @Risk /38/, med "latin hypercube sampling" och 100 000 iterationer. Det förväntade skadevärdet enligt de olika fallen beräknas och ges värdet ett om värdet är större eller lika med ett. Om värdet ligger mellan noll och ett antas det att ingen skada uppstår d.v.s. att parametern tilldelas värdet noll. Med andra ord diskretiseras den kontinuerliga skalan till en binär fördelning, skada/icke skada, vilket kan tolkas som förväntat värde på skada på komponent som visas nedan i tabellen nedan. Detta anger, naturligtvis med analysens

osäkerheter beaktade, ett grovt mått på sannolikheten för att respektive komponent skall skadas.

Tabell C-8: Förväntade värden från respektive regressionsuttryck.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
fall 1	4,6	0,0	4,6	0,0	157,8	1,0	1,0
fall 2	4,6	0,1	4,6	0,1	157,8	9,8	9,8
fall 3	6,5	0,3	6,5	0,3	222,0	15,2	15,2
fall 4	6,5	7,8	6,5	7,8	222,0	263,7	263,7
fall 5	6,5	8,1	6,5	8,1	222,0	272,0	272,0
fall 6	6,5	7,9	6,5	7,9	222,0	265,6	265,6

I Tabell C-8 ses de förväntade värdena från respektive regressionsuttryck. Detta innehåller också de ytterligare osäkra konstanterna i två uttryck. Dessa celler är alla kopplade till slumpvariabeln  $\alpha$  och utifrån respektive iteration görs beräkningen enligt regressionsuttrycken. Varje slumpvalt värde ges sedan etta eller nolla beroende om det överstiger skadenivån ett. Tabell C-9 visar det diskreta utifrån slumpvariabeln förväntade värdet för respektive komponent och fall.

Tabell C-9: Diskretiserat förväntat värde på skada på komponent.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
fall 1	1	0	1	0	1	0	0
fall 2	1	0	1	0	1	1	1
fall 3	1	0	1	0	1	1	1
fall 4	1	1	1	1	1	1	1
fall 5	1	1	1	1	1	1	1
fall 6	1	1	1	1	1	1	1

Denna siffra, från Tabell C-9, multipliceras med sannolikheten för respektive fall se Figur C-2 och summan av dessa värden för respektive komponent ger sannolikheten för att skada p.g.a. brand uppstår. Summan av dessa ger det förväntade värdet på skadan som visas i tabellen nedan.



Tabell C-10: Slutresultat i Monte Carlo-analysen är summeringen över sannolikhetsfördelningarna.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
fall 1	0,035	0,000	0,035	0,000	0,035	0,000	0,000
fall 2	0,665	0,000	0,665	0,000	0,665	0,665	0,665
fall 3	0,008	0,000	0,008	0,000	0,008	0,008	0,008
fall 4	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143
fall 5	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
fall 6	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143
Summa	1,000	0,293	1,000	0,293	1,000	0,965	0,965

Resultatet blir alltså att sannolikheten för att komponenterna K1, K3 och K4 för skada vid brand är lika med ett. Komponent K2 och K4 har en relativt låg sannolikhet att ta skada medan K6 och K7 uppenbarligen ligger sämre till då värdet är väldigt nära ett. Diskussion av resultaten görs i kapitel 8.3.2.



# APPENDIX D.

## TORPEDANALYS

### D.1. ALLMÄNT

Ett av brandscenarierna som analysers i arbetet är brand i vätskepöl i lastutrymmet där bl.a. torpeder och minor förvaras. Någon specifik data på varken torpeder eller minor har inte tillhandahållits varför en noggrann analys inte kunnats genomföras. Nedan följer en översiktlig analys av torpedernas känslighet för brand.

### D.2. GROV ANALYS AV TORPEDSKADA

Bränslet till branden kan vara antingen från hydrauliken till hydrofonkabeln eller vätskan som hydrofonen innehåller för att hållas flytande i havet. Vätskan är av någon slags alkoholbaserad kolväte och i fall av spill är det relativt sannolikt att den antänds och därmed en pölbrand med en diameter upp till flera meter uppstår. Vid läckage i hydrauliksystemet kan oljan sprutas ut och finfördelas som i sin tur är lättantändlig om den kommer i kontakt med tändkälla. I beräkningarna tas inte sannolikheten för att en pölbrand uppstår med. Det antas med andra ord att brand uppstått.

Den strålningseffekt som en pölbrand kan ge kan uppskattas enkelt enligt följande samband:

$$\dot{q}_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \Delta T^4, \text{där}$$

$\varepsilon$  - emissivitetskonstant som ligger mellan 0 och 1

$\sigma$  - är Steffan-Boltzmannkonstant och har värdet  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

$\Delta T$  - är temperaturskillnaden mellan flammen och målobjektet t.ex. en torped

För en  $\Delta T$  på  $1000^\circ\text{K}$  blir strålningsintensiteten c:a  $57 \text{ kW}/\text{m}^2$  med antagandet att all strålning från flammen tas upp av objektet utan några förluster d.v.s. absorptionskoefficienten  $\alpha$  är lika med 1. Det är troligt att om en pölbrand fullständigt omsluter ett objekt och pölen håller en diameter över 2-3m kan den infallande strålningsintensiteten uppgå till  $50\text{-}100 \text{ kW}/\text{m}^2$ . Ett sådant strålningsnivå är mycket konservativ eftersom det antas att all energi når torpeden och att torpeden ligger i flammorna. I analysen undersöks även brandpåverkan vid lägre strålningsnivåer på 25, 50 och  $75 \text{ kW}/\text{m}^2$ . I beräkningarna bortses det från konvektiv värmetransport d.v.s. värmetransport p.g.a. direkt kontakt med flammorna. Motiveringen är att torpeden ligger tillräckligt lågt för att den skall få direkt kontakt med flammorna.

Torpederna antas då ta skada av den strålningsenergi från flammorna. Enligt information från FMV förvaras torpederna i tuber av glasfiberarmerad plast. Tuber antas smälta inom några sekunders lopp och därmed skyddar inte torpeden väsentligt mycket. Torpeden har ett yttre hölje av aluminium där tjockleken inte kan avgöras av de ritningar som FMV gett till förfogan. Tjockleken antas vara c:a 2mm men det görs en känslighetsanalys hur tunnare eller tjockare hölje skulle påverka skyddet mot brand.

Aluminium smälter vid 660°C och energin som tas upp går åt till uppvärmning av plåten och sedan vid en temperatur på 660°C smälta den. Ingen hänsyn tas till att en del av energin skulle tas upp av bränslet och annat som finns i torpeden. Enligt ritningarna finns det även luft mellan yttre aluminiumhöljet och innehållet och detta medför att luften isolerar och därmed skadas höljet innan värmen kan börja tas upp av innehållet. Beräkningen av den energi som smältning av aluminium kräver sker enligt:

$$E_{smält} = (\Delta T \cdot C_p [Al] + \Delta H_s [Al]) \cdot m$$

där

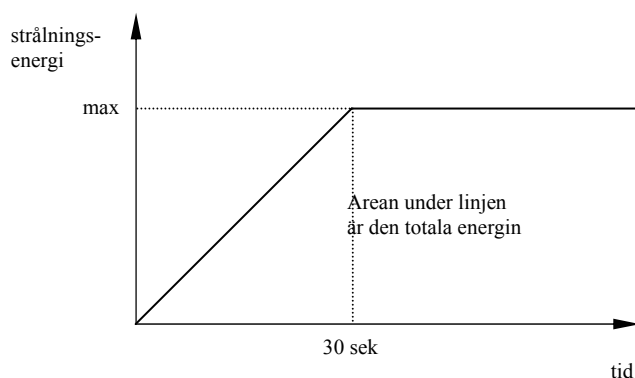
$\Delta T$  = temperaturskillnaden mellan rumstemperatur och den temperatur då aluminium smälter (660°C-20°C)

$C_p[Al]$  = värmekapacitet för aluminium i fast form 923,1 [J/(kg K°)]

$H_s[Al]$  = smältenergin för aluminium 407,41 [J/kg]

$m$  = massan aluminium som räknas på 1m<sup>2</sup> med en viss tjocklek

Strålningsenergin från flaman är proportionell till effektutvecklingen och antas växa till max värdet vid 30sek. Effektutveckling vid pölbränder växer snabbt till maximal nivå och därmed anses det att 30 sekunder är en rimlig tid. Effektutvecklingen och därmed strålningsnivån är konstant efter 30sek och ligger på max värdet. Den ytan som finns under kurvan utgör den totala energi som strålas från flammorna och sedan tas upp av torped (dess hölje) och är funktion av tiden (se figur nedan).



Figur D-1: Energin som åtgår till smältning av aluminiumplåten

Bräkningen görs enligt följande:

$$E_{rad}(t) = \frac{\dot{q}''_{max} \cdot 30s}{2} + \dot{q}''_{max} (t - 30s) = \dot{q}''_{max} \cdot (t - 15)$$

Tiden tills höljet har fått skada (smält) räknas fram genom att ställa upp en ekvation med smältenergin på ena sidan och strålningsenergin på andra sidan d.v.s.:

$$E_{smält} = E_{rad}(t)$$

$$(\Delta T \cdot C_p [Al] + \Delta H_s [Al]) \cdot m = \dot{q}''_{max} \cdot (t - 15)$$

där tiden blir:

$$t = \frac{(\Delta T \cdot C_p [Al] + \Delta H_s [Al]) \cdot m}{\dot{q}''_{\max}} + 15$$

Tabell D-1 Energi och tid tills 1m<sup>2</sup> aluminium plåt med olika tjocklekar smälter beroende på strålningsnivå per kvadrat meter

Tid till smältning vid olika strålningsnivå i sekunder				
tjocklek [mm]	strålning 25 [kW/m <sup>2</sup> ]	strålning 50 [kW/m <sup>2</sup> ]	strålning 75 [kW/m <sup>2</sup> ]	strålning 100 [kW/m <sup>2</sup> ]
1	79	47	36	31
2	143	79	58	47
3	207	111	79	63
4	270	143	100	79
5	334	175	121	95
6	398	207	143	111
7	462	238	164	127
8	526	270	185	143
9	590	302	207	159
10	653	334	228	175

### D.3. SLUTSATSER

I Tabell D-1 kan utläsas att för tjockleken 2 till 3mm, den storleksordning som på torpedens aluminiumhölje uppskattas ha, uppnås smält ytterhölje inom loppet av en minut vid strålningsintensitet på 100kW/m<sup>2</sup>. Om aluminiumhöljet smälter blir torpederna obrukbara samt innehållet, det explosiva ämnet, utsätts för värmepåverkan vilket skulle kunna leda till stora konsekvenser för Visby. Enligt resonemanget ovan är strålningsnivån på 100kW/m<sup>2</sup> rimlig vid pölbränder med diameter på 2-3m.

På lastdäck finns punktskydd för släckning av brand vid torpederna med skum som släckmedel samt dräneringssystem för ledning av vätskor som spills på lastdäck. Punktskyddet skall skydda torpederna genom att kyla och skydda mot strålning medan dränering av spilld brännbar vätska skall förhindra att en pöl med brännbar vätska uppstår. Det senare är inte heltäckande varför det inte är någon garant för att en bränslepöl uppstår. Trots detta får det anses att risk för skada i torpeder inte är speciellt sannolik då en skadlig storlek på diametern inte är trolig om dräneringssystemet fungerar som det skall vid bränslespill. Dessutom finns det en ytterligare redundans i och med punktskyddet som finns.



# APPENDIX E.

## ÖVERSLAGSBERÄKNING

### HANDBRANDSLÄCKARE

#### E.1. ALLMÄNT

Då analysen i övrigt visar på vikten av snabb brandsläckning har en översiktlig analys på handbrandsläckarnas kapacitet gjorts, då dessa är första och förmodligen bästa möjligheten till effektiv brandsläckning.

#### E.2. ÖVERSLAGSMÄSSIG BERÄKNING

##### HANDBRANDSLÄCKARNAS KAPACITET

Handbrandsläckare ombord på HMS Visby innehåller två typer av släckmedel, kolsyra och pulver. I tabellen nedan följer data om handbrandsläckarna.

Tabell E-1 Typ av handbrandsläckare som finns ombord på Visby

Typ av släckare	Kolsyresläckare	Pulversläckare
Mängd släckmedel	5 kg	6 kg
Tömningstid	11 sek	18 sek
Beteckning	K5	PG 6 R
Klassning	89B	43A 233 BC
REMP	10-12	1-4
Massa släckmedel per tidsenhet	0,45 kg/s	0,33 kg/s

REMP värdet är ett index som visar massan släckmedel per massan bränsle som brinner av, som krävs för släckning av en brand /25/.

$$REMP = \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_b}, \text{ där}$$

$\dot{m}_s$  är massan släckmedel per tidsenhet och räknas genom att dividera massan släckmedel med tömningstiden

$\dot{m}_b$  är massan bränsle (metan) som brinner per tidsenhet

Utifrån ovanstående formel kan den maximala massavbrinningen beräknas

$$\dot{m}_b = \frac{\dot{m}_s}{REMP}$$

Nedan följer en enkel analys om storleken på bränder som de ovannämnda släckare kan klara av. Släckarnas släckförmåga jämförs med släckning av motsvarande brand i pöl av olja eller brand i möbler eller dylikt. Säkerhetsmarginalen i beräkningarna

antas vara av faktor två som betyder att bara 50% av släckmedlet når och släcker branden d.v.s:

$$\dot{m}_b = \frac{\dot{m}_s}{REMP} \cdot 50\%$$

Tabellen nedan visar beräknat värde på  $\dot{m}_b$  beroende på släckmediet och det antagna REMP värdet. REMP värdet för kolsyra ligger mellan 10 och 12 medan för pulver mellan 1 och 4 och därmed tas dessa värden med i beräkningen.

Tabell E-2 REMP-värde samt massan släckmedel för respektive släckare och massan bränsle per tidsenhet som släckaren kan släcka vid brand

Brandsläckare	REMP värde	$\dot{m}_s$	$\dot{m}_b$
kolsyresläckare	10	0,45 kg/s	0,023 kg/s
	12	0,45 kg/s	0,019 kg/s
pulversläckare	1	0,33 kg/s	0,167 kg/s
	4	0,33 kg/s	0,042 kg/s

Då REMP värdet är taget för metan räknas det vilken storlek på en metanbrand släckarna klarar av. Men eftersom det är effektutvecklingen, som brandsläckaren klarar av att släcka, som är väsentlig i sammanhanget kan detta räknas om till en på pöl av olja eller mängden trä som brinner ger samma effektutveckling. Då kan handbrandsläckarnas kapacitet jämföras med bränder som kan förekomma ombord på Visby eller bränder som är lättare att koppla till verkligheten som till exempel en brand i en soffå. Effektutvecklingen vid en brand beräknas enligt:

$$\dot{Q} = \chi \cdot \dot{m}_b \cdot \Delta H_C, \text{ där}$$

$\chi$  = förbränningseffektivitet, ofta antas 0,7

$\dot{m}_b$  = massa bränsle per tidsenhet [kg/s]

$\Delta H_C$  = förbränningsenergi [MJ/kg]

Tabellen nedan visar de effektutvecklingar som brandsläckarna skulle klara av samt motsvarande brand i eldningsolja eller bensen.

brandsläckare	$\dot{m}_b$	effektutveckling som släckaren kan släcka	motsvarande area av en pölbrand i eldningsolja bensen	
kolsyresläckare	0,023 kg/s	1,14 [MW]	0,84 m <sup>2</sup>	0,39 m <sup>2</sup>
	0,019 kg/s	0,95 [MW]	0,71 m <sup>2</sup>	0,33 m <sup>2</sup>
pulversläckare	0,167 kg/s	8,33 [MW]	5,84 m <sup>2</sup>	2,46 m <sup>2</sup>
	0,042 kg/s	2,08 [MW]	1,49 m <sup>2</sup>	0,66 m <sup>2</sup>

Tabell E-3: Handbrandsläckarnas släckkapacitet

Kolsyresläckare klarar inte att släcka bränder med effektutveckling över 0,8MW vilket motsvarar pölbrand av olja med en yta under en kvadrat meter eller en



sjukhussäng – hospital bed /30/. Kolsyresläckare är mer lämpligt att använda vid brand i elektronik där pulver skulle innebära skador på elektroniken och stora sanneringskostnader. Pulver är känt för att klara större bränder jämfört med andra släckmedel vilket även denna enkla analys visar. Effektutveckling som släckaren klarar av beror på REMP värdet som antas, se Tabell E-1 och motsvarar en pöl av olja med diameter från två till sex meter eller en vanlig soffa /30/.

### **E.3. SLUTSATSER**

Det antagna säkerhetsmarginalen av faktor två, som betyder att 50% av bränslet hamnar på och bidrar till att släcka branden, kanske är i minsta laget. Det krävs mycket träning och utbildning för att lyckas överföra en så stor andel av släckmedlet på branden. Detta innebär att för dra maximal nytta av handbrandsläckarna ombord på HMS Visby är just träning och utbildning i påföringsteknik som krävs. Dessutom skall personalen ha klart var dessa är placerade för en sådan insats är betydelsefull i initialfasen av branden. Om branden inte släcks inledningsvis överstiger effektutvecklingen en handbrandsläckares kapacitet. Det är dock tydligt att handbrandsläckare ombord på HMS Visby, med rätt kunskap och träning, är ett mycket effektivt redskap för släckning av brand.



# APPENDIX F.

## DETEKTORAKTIVERING

### F.1. ALLMÄNT

Rapporten analyserar bland annat hur aktivering av släcksystem skulle ändra konsekvensbilden i aktuellt fall. Simuleringarna i Freia förutsätter att tiden till släcksystemet aktiveras kan beräknas, vilket har genomförts i detta appendix.

### F.2. SLÄCKSYSTEM OCH AKTIVERING

Släcksystem aktiveras olika snabbt beroende på vilken typ av signatur från branden som detektorn utlöser på, rök, värme, ljud, ljus etc. Detta innebär oftast en viss fördröjning, beroende vilken signatur som väljs, olika stor fördröjning. Tiden till aktivering av detektor- eller sprinklersystem system beror på hur snabbt reaktionsgränsen för systemet nås. Detektionssystemet utlösningssystemet kan vara värmedetektorer eller rökdetektorer. Vid värmedetektorer kan reaktionsgränsen vara en viss temperatur eller en viss temperaturstegring per tid eller en kombination av dessa två. Rökdetektorerna reagerar som benämningen avslöjar på rök d.v.s. sotpartiklar. I sprinklersystem är det sprinklerhuvudet som utlöser systemet och är i de flesta fall uppbyggd i form av glasbulb eller ett stycke bimetall som reagerar när denna värmts upp till en viss temperatur. Vid reaktionstemperaturen spricker bulben eller smälter bimetallen och därmed utlöser systemet.

Reaktionstiden för systemet är beroende av avståndet i höjd och längs taket samt hinder. Rökdetektorer reagerar även om brandgaserna är kalla medan värmedetektorer och sprinkler är beroende av denna temperatur. Hur snabbt anordningen värms upp till gränstemperatur beror dessutom på de varma gasernas strömningshastighet, temperaturen i gasen samt sprinklerhuvudets termiska tröghet s.k. RTI-värdet (Respons Time Index). Gasernas strömningshastighet och temperatur är proportionella mot effektutvecklingen vilket nyttjas i nedan beräkningar.

### F.3. FREIA OCH DETEKTORAKTIVERING

Beräkning av aktiveringstid har utförts med hjälp av datorprogrammet Detact-T2, som bygger på empiriska korrelationer mellan brandeffekt och temperatur och flödes hastighet vid en så kallad takstråle. Till detta knyts teorin om RTI-värdet vilket hanterar termisk tröghet hos detektorn.

Som indata till programmet används:

- takets höjd över branden
- avstånd i horisontell led mellan branden och sprinklerhuvudet eller detektorn
- initial temperatur i rummet
- aktiveringstemperatur för sprinklerhuvud
- RTI-värdet för sprinklerhuvud eller detektor
- och brandens effektutveckling (effektkurva)

RTI värdet beräknas enligt formel nedan för sprinkler fallet.

$$RTI = \frac{-t_{op} \cdot \sqrt{v}}{\ln \left[ 1 - \frac{\Delta T_{oep}}{\Delta T_g} \right]}, \text{ där}$$

$T_{oep}$  = given temperatur för aktivering

$T_g$  = gastemperatur [°C]

$v$  = luftströmshastigheten

$T_o$  = omgivningstemperatur

$t_{op}$  = tid till aktivering

$\Delta T_{oep} = T_{oep} - T_o$

$\Delta T_g = T_g - T_o$

Detact-T2 nyttjar sedan ovanstående teori och en numerisk integration av till detektorn tillförd energi för att beräkna detektionstiden utifrån specificerad  $\alpha t^2$ -brand. I beräkningarna försummas transporttid till detektorn, värmeförluster till taket och strålningsförluster. Dock ger den enkla modellen en uppfattning om tiden till detektion, som i de flesta fall på HMS Visby är mycket små. Utrymmena på Visby är nämligen relativt små.

För rökdetektorfallet antas RTI-värdet vara ett då rökdetektorer anses inte ha någon termisk tröghet alls, det finns ingen kropp som skall värmas upp. Programmet kan dock ej beräkna reaktionstiden med avseende på rökmängden, eftersom sådana korrelationer inte ingår i beräkningsalgoritmen. Detta ersätts med en passande temperatur, att temperaturskillnaden uppskattas till 13°C /44/. Detta kan ifrågasättas då detektionen bör vara beroende av rökproduktionen från bränslet samt förbränningsvärmets. Förhållandet mellan dessa kan undersökas varvid ungefärliga värden i storleksordningen 13°C fås. Därmed får detta anses vara en giltig approximation av vanliga material. Tiden till detektion för en rökdetektor är ändå så pass känslig för ventilationsflöden och liknande att den är i det närmaste omöjlig att bestämma med någon större noggrannhet.

Nedan presenteras en sammanställning av de indata som har nyttjats i Detact-T2 beräkningarna. Utifrån detta underlag har tider för alla takhöjder och startbränder simulerats. Några figurer över bränderna efter detektionssimulering redovisas inte, då alla dessa har samma utseende, se Figur 7-3, och tiderna är en direkt funktion av nedan information, se Tabell F-1.

Tabell F-1: Indata till Detact-T2 beräkningarna

Scenario	RTI	Omgiv.-temp	Aktiverings-temp	Detektor avstånd	Takhöjd
Hytt	25	20°C	57°C	3 m	2,4 m
ELA3	25	20°C	57°C	3 m	2,3 m
ELA5	25	20°C	57°C	3 m	2,5 m
Lastdäck	1	20°C	33 ( $\Delta T=13^\circ\text{C}$ )	3 m	3,5 m
Maskin	1	20°C	33 ( $\Delta T=13^\circ\text{C}$ )	3 m	4,5 m
SLC	25	20°C	57°C	3 m	2,5 m
MB	25	20°C	57°C	3 m	2,5 m

## F.4. CFD OCH DETEKTORAKTIVERING

När det gäller de mer avancerade brandsimuleringar som har genomförts ger de en betydligt mer nyanserad bild av bland annat flöden och temperaturer. Detta går att nyttja för att beräkna detektion av till exempel ett sprinklerhuvud på specifik plats. Det skulle också vara möjligt att utvärdera bästa placeringen av sprinklern, men det är ganska krävande beräkningar. En uppskattning av tid till detektion är vad som efterfrågas i detta fallet. Temperaturförändringen av detektorn definieras enligt följande första ordningen differentialekvation, se /49/ .

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{\sqrt{v}}{RTI} \cdot (T_g - T_d)$$

där

$T_d$  = detektorns temperatur

$T_g$  = gastemperatur [°C]

$v$  = luftströmshastigheten

$t$  = tid

RTI = Response Time Index

I och med att CFD-modelleringen kan ge utdata i form av temperatur och hastighet för en viss punkt för varje tidssteg kan förändringen beräknas, d.v.s. det högra ledet är bestämt för varje tidssteg. Genom att multiplicera förändringen per tidsenhet med tidssteget, en sekund, och sedan addera denna förändring till detektorns temperatur görs en numerisk integrering av differentialekvationen. Naturligtvis blir bestämningen noggrannare desto mindre tidsstegen görs, här nyttjades en sekunds intervaller.

Vidare är aktiveringstemperaturen på detektorn 57°C med ett RTI på 25 m<sup>1/2</sup>s<sup>1/2</sup>, ett relativt lågt värde, d.v.s. en snabb detektor. Sprinklern placerades mitt i rummets tak. Den numeriska integrationen, som naturligtvis genomfördes med datorhjälp, visar att sprinklern förväntas reagera efter ca 40 (43) s. Det är dock viktigt att tänka på att inga som helst hinder för den varma luftströmmen har funnits vid simuleringen. Finns det hinder, rör, kablar, riktade ventilationsflöden etc. så kommer detta att förlänga tiden ganska avsevärt. Speciellt eftersom det handlar om en snabb och känslig detektor, då är branden och dess flöden svaga och påverkas av alla yttre omständigheter.

# APPENDIX G.

## BERÄKNING AV $k_{\rho c}$

### G.1. ALLMÄNT

De olika skikt laminatmaterialet består av, brandskyddsfärg, kolfiberskikt och kärnmateriel, har olika termiska egenskaperna som värmeledningsförmåga, densitet samt värmekapacitet. Vid simulering i programmen FREIA /4/ och SOFIE /45/ kan inte vägg- och takmaterial med flera lager simuleras. Därför behövs det medelvärde på var och en av dessa termiska egenskaper som skulle motsvara ett homogent material d.v.s. ett skikt. Nedan följer beräkningarna till termiska egenskaper för det motsvarande materialet. Även brandskyddsfärgen av typen NOVATHERM 2KS tas med i beräkningarna då väggar och tak är beklädda med denna färg och de termiska egenskaperna påverkas betydligt.

### G.2. BERÄKNINGSGÅNGEN

Själva benämningen  $k_{\rho c}$  avslöjar att det handlar om  $k$  som är värmeledningstalet,  $\rho$  som är densiteten och  $c$  som är värmekapaciteten för materialet. Var och en av dessa variabler räknas nedan. Beräkning av  $k_{\rho c}$  värdet för laminatmaterialet med brandskyddsfärg NOVATHERM 2KS görs därmed i tre steg, varje parameter för sig.

#### G.2.1. BERÄKNING AV ETT MEDELVÄRDE PÅ VÄRMELEDNINGSTALET

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h} + \frac{x_{\text{Novatherm2KS}}}{k_{\text{Novatherm2KS}}} + \frac{x_{\text{kolfiber}}}{k_{\text{kolfiber}}} + \frac{x_{\text{divinyl}}}{x_{\text{divinyl}}} + \frac{x_{\text{kolfiber}}}{x_{\text{kolfiber}}} + \frac{1}{h}}$$

där

$h$  = det konvektiva värmeledningstalet

$x_i$  = tjockleken för skikt  $i$

$k_i$  = värmeledningstalet för skikt  $i$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{15} \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} + \frac{0,010m}{0,04 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}} + \frac{0,005m}{0,3 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}} + \frac{0,060m}{0,036 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}} + \frac{0,005m}{0,3 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}} + \frac{1}{15} \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}} = 0,48 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Antaganden:

Värmeledning för brandskyddsfärgen och kolfibermaterialet varierar med temperaturen. De värden som används i beräkning ovan är tagna för höga temperaturer d.v.s. 500 – 600°C. Det konvektiva värmeledningstalet brukar enligt

erfarenhet ligga mellan 5 och 15 W/°K. Det ligger en osäkerhet i att välja samma värde för båda sidor av materialet då temperaturskillnaden är avsevärt stor då h är beroende av temperaturen.

Valet av värden en relativt stora förenklingar i beräkningen då dessa varierar med temperaturen. Men en enkel känslighetsanalys visar att variablerna inte påverkar resultatet avsevärt mycket i de aktuella variabelintervallen. I känslighetsanalysen varieras en variabel i taget (halveras resp. fördubblas) medan de övriga värden hålls konstant, förutom värmeledningstalet för kärnmaterialet (Divinylcell ®) som är konstant i alla beräkningar. Tabellen nedan visar resultaten av denna känslighetsanalys.

Tabell G-1: Resultaten från känslighetsanalys

Variabel som varieras		K	
h [W/°K]	15	× 0,5 = 7,5	0.4511
		× 1 = 15	0.4800
		× 2 = 30	0.4959
k <sub>Hensotherm2KS</sub> [W/m°K]	0,04	× 0,5 = 0,02	0.4286
		× 1 = 0,04	0.4800
		× 2 = 0,08	0.5106
k <sub>kolfiber</sub> [W/m°K]	0,30	× 0,5 = 0,15	0.4724
		× 1 = 0,30	0.4800
		× 2 = 0,60	0.4839

### G.2.2. MEDELVÄRDE PÅ VÄRMEKAPACITET

Här antogs att de delar av materialet som påverkar värmekapaciteten och densiteten är kolfiberskiktet och kärnmaterialet. Värmekapaciteten beror på massan medan densiteten på volymen av respektive material. Därför viktas dessa medelvärde m.a.p. massan respektive volymen. Brandskyddsfärgens värmekapacitet antas vara liten och därmed inte tas med i beräkningarna.

Massan för respektive delmaterial per 1m<sup>2</sup> material räknas enligt följande:

$$m_{divinyl} = tjockleken \cdot arean \cdot densiteten = 0,060m \cdot 1m^2 \cdot 180 \frac{kg}{m^3} = 10,8kg$$

$$m_{kolfiber} = tjockleken \cdot arean \cdot densiteten = 2 \cdot 0,005m \cdot 1m^2 \cdot 1260 \frac{kg}{m^3} = 12,6kg$$

Nedan följer beräkning av värmekapaciteten respektive densiteten:

$$c = \frac{m_{divinyl} \cdot c_{divinyl} + m_{kolfiber} \cdot c_{kolfiber}}{m_{divinyl} + m_{kolfiber}}$$

$$c = \frac{10,8kg \cdot 800 \frac{J}{kg \cdot ^\circ K} + 12,6kg \cdot 900 \frac{J}{kg \cdot ^\circ K}}{10,8kg + 12,6kg} = 853,8 \frac{J}{kg \cdot ^\circ K}$$



**G.2.3. BERÄKNING AV ETT MEDELVÄRDE PÅ DENSITET**

Densiteten för brandskyddsfärgen tas inte med i beräkningarna då det inte förväntas påverka värdet .

$$\rho = \frac{V_{divinyl} \cdot \rho_{divinyl} + V_{kolfiber} \cdot \rho_{kolfiber}}{V_{divinyl} + V_{kolfiber}}$$

$$\rho = \frac{0,060m \cdot 1m^2 \cdot 180 \frac{kg}{m^3} + 2 \cdot 0,005m \cdot 1m^2 \cdot 1260 \frac{kg}{m^3}}{0,060m \cdot 1m^2 + 2 \cdot 0,005m \cdot 1m^2} = 334,3 \frac{kg}{m^3}$$



# APPENDIX H.

## TABELLER ÖVER SKADOR PÅ KOMPONENTER

Nedan, i Tabell H-1 till Tabell H-7, följer resultat från FREIA simuleringarna redovisade i tabellform. Värdet under är en kvot mellan infallande och skadlig energimängd i aktuell komponent. Därmed om värdet ligger under ett betyder det att den kritiska skadenivån av energi inte uppnåtts d.v.s. komponenten klarar sig utan att skadas totalt. Medan om värdet är lika eller överstiger ett betyder det att komponenten tagit skada.

*Tabell H-1: Skador på komponenter vid hyttbrand där komponenterna K1-K7 representeras av; K1-K4 vägg och K5-K7 hud.*

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
S1	4,4	0,0	4,3	0,0	147,8	1,7	1,6
S2	4,3	0,3	4,3	0,3	147,8	16,1	16,1
S3	6,5	0,8	6,5	0,8	221,6	34,0	34,0
S4	6,5	9,0	6,5	9,0	221,6	301,8	301,8
S5	6,5	9,9	6,5	9,9	221,6	330,8	330,7
S6	6,5	9,0	6,5	9,0	221,6	300,7	300,7
S7	4,6	0,0	4,6	0,0	157,0	1,1	1,1
S8	4,6	0,1	4,6	0,1	157,0	8,7	8,7
S9	6,5	0,3	6,5	0,3	221,6	15,9	15,9
S10	6,5	7,8	6,5	7,8	221,6	263,8	263,8
S11	6,5	8,2	6,5	8,2	221,6	274,0	274,0
S12	6,5	7,9	6,5	7,9	221,6	265,0	265,0
S13	5,1	0,0	5,1	0,0	173,7	0,8	0,8
S14	5,1	0,1	5,1	0,1	173,6	7,1	7,1
S15	6,5	0,0	6,5	0,0	221,6	7,6	7,6
S16	6,5	6,2	6,5	6,2	221,6	211,0	211,0
S17	6,5	4,9	6,5	4,9	221,6	168,3	168,3
S18	6,5	6,4	6,5	6,4	221,6	215,6	215,6
S19	6,1	0,0	6,1	0,0	208,8	0,8	0,8
S20	6,1	0,1	6,1	0,1	208,7	7,8	7,8
S21	6,5	0,0	6,5	0,0	221,6	4,2	4,2
S22	6,5	0,9	6,5	0,9	221,6	35,6	35,6
S23	6,5	0,4	6,5	0,4	221,6	16,8	16,8
S24	6,5	0,9	6,5	0,9	221,6	35,4	35,4

Tabell H-2: Skador på komponenter vid brand i ELA 3 där komponenterna K1-K6 representeras av: K1 & K4 vägg, K2 & K5 kabel typ I och K3 & K6 kabel typ II.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
S1	0.0	0.0	0.0	0.9	0.5	0.1
S2	0.0	0.0	0.0	0.9	0.5	0.1
S3	0.0	0.0	0.0	7.0	3.8	0.9
S4	0.0	0.0	0.0	7.0	3.8	0.9
S5	7.4	4.1	1.0	6.5	3.6	0.9
S6	8.1	4.5	1.1	6.5	3.6	0.9
S7	0.0	0.0	0.0	1.2	0.7	0.2
S8	0.0	0.0	0.0	1.2	0.7	0.2
S9	0.0	0.0	0.0	7.3	4.3	1.0
S10	0.0	0.0	0.0	7.3	4.3	1.0
S11	3.3	1.8	0.4	6.6	3.6	0.9
S12	5.6	3.1	0.8	6.5	3.6	0.9
S13	0.0	0.0	0.0	1.7	1.0	0.2
S14	0.0	0.0	0.0	1.7	1.0	0.2
S15	0.0	0.0	0.0	7.9	4.6	1.0
S16	0.0	0.0	0.0	7.9	4.6	1.0
S17	0.1	0.0	0.0	6.5	3.6	0.9
S18	1.2	0.6	0.1	6.5	3.6	0.9
S19	0.0	0.0	0.0	3.6	2.1	0.5
S20	0.0	0.0	0.0	3.6	2.1	0.5
S21	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S22	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S23	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S24	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9

Tabell H-3: Skador på komponenter vid brand i ELA 5 där komponenterna K1-K6 representeras av: K1 & K4 vägg, K2 & K5 kabel typ I och K3 & K6 kabel typ II

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
S1	0.0	0.0	0.0	1.0	0.6	0.1
S2	0.0	0.0	0.0	1.0	0.6	0.1
S3	0.0	0.0	0.0	7.1	4.1	0.9
S4	0.0	0.0	0.0	7.1	4.1	0.9
S5	7.0	4.1	1.0	6.5	3.8	0.9
S6	7.6	4.5	1.0	6.5	3.8	0.9
S7	0.0	0.0	0.0	0.8	0.4	0.1
S8	0.0	0.0	0.0	0.8	0.4	0.1
S9	0.0	0.0	0.0	7.4	4.3	1.0
S10	0.0	0.0	0.0	7.4	4.3	1.0
S11	2.7	1.5	0.3	6.5	3.8	0.9
S12	4.8	2.9	0.7	6.5	3.8	0.9
S13	0.0	0.0	0.0	1.7	1.0	0.2
S14	0.0	0.0	0.0	1.7	1.0	0.2
S15	0.0	0.0	0.0	7.9	4.6	1.0
S16	0.0	0.0	0.0	7.9	4.6	1.0
S17	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S18	0.3	0.1	0.0	6.5	3.8	0.9
S19	0.0	0.0	0.0	4.0	2.3	0.5
S20	0.0	0.0	0.0	4.0	2.3	0.5
S21	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S22	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S23	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S24	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9

Tabell H-4: Skador på komponenter vid brand i på lastdäck där komponenterna K1-K6 representeras av; K1 & K4 vägg, K2 & K5 kabel typ I och K3 & K6 kabel typ II.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
S1	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	0.1
S2	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	0.1
S3	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S4	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S5	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S6	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S7	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	0.1
S8	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	0.1
S9	0.1	0.0	0.0	6.6	3.8	0.9
S10	0.3	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S11	0.7	0.2	0.0	6.5	3.8	0.9
S12	7.6	4.5	1.0	6.5	3.8	0.9
S13	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	0.1
S14	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	0.1
S15	0.3	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S16	0.7	0.3	0.0	6.5	3.8	0.9
S17	10.3	6.1	1.4	6.5	3.8	0.9
S18	10.5	6.3	1.5	6.5	3.8	0.9
S19	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	0.1
S20	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	0.1
S21	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S22	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S23	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S24	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S25	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	0.1
S26	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	0.1
S27	0.0	0.0	0.0	6.6	3.8	0.9
S28	0.2	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9
S29	0.6	0.2	0.0	6.5	3.8	0.9
S30	7.2	4.3	1.0	6.5	3.8	0.9
S31	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0
S32	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0
S33	0.5	0.1	0.0	6.5	3.8	0.9
S34	5.8	3.4	0.8	6.5	3.8	0.9
S35	10.6	6.3	1.5	6.5	3.8	0.9
S36	10.7	6.3	1.5	6.5	3.8	0.9

Tabell H-5: Skador på komponenter vid brand i maskinrum där komponenterna K1-K6 representeras av; K1 & K4 vägg, K2 & K5 kabel typ I och K3 & K6 kabel typ II.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
S1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	0.1
S2	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	0.1
S3	0.7	0.3	0.0	6.6	3.6	0.9
S4	8.9	4.9	1.2	6.6	3.6	0.9
S5	7.3	4.0	1.0	6.6	3.6	0.9
S6	9.6	5.3	1.3	6.6	3.6	0.9
S7	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0
S8	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0
S9	0.2	0.0	0.0	6.6	3.6	0.9
S10	2.4	1.3	0.3	6.6	3.6	0.9
S11	4.9	2.6	0.6	6.6	3.6	0.9
S12	8.5	4.7	1.2	6.6	3.6	0.9
S13	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0
S14	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0
S15	0.0	0.0	0.0	6.7	3.6	0.9
S16	0.0	0.0	0.0	6.7	3.6	0.9
S17	1.2	0.6	0.1	6.7	3.6	0.9
S18	6.2	3.4	0.8	6.7	3.6	0.9

Tabell H-6: Skador på komponenter vid brand i SLC där komponenterna K1-K6 representeras av; K1 & K4 vägg, K2 & K5 kabel typ I, K3 & K6 kabel typ II och K7 & K8 hud.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
S1	0.0	0.0	0.0	1.0	0.6	0.1	35.1	0.0
S2	0.0	0.0	0.0	1.0	0.6	0.1	35.1	0.0
S3	0.0	0.0	0.0	7.1	4.1	0.9	240.4	0.0
S4	0.0	0.0	0.0	7.1	4.1	0.9	240.1	1.5
S5	7.0	4.1	1.0	6.5	3.8	0.9	221.7	233.9
S6	7.6	4.5	1.0	6.5	3.8	0.9	221.7	256.1
S7	0.0	0.0	0.0	0.8	0.4	0.1	25.9	0.0
S8	0.0	0.0	0.0	0.8	0.4	0.1	25.9	0.0
S9	0.0	0.0	0.0	7.4	4.3	1.0	251.4	0.0
S10	0.0	0.0	0.0	7.4	4.3	1.0	251.2	0.4
S11	2.6	1.5	0.3	6.5	3.8	0.9	221.9	89.8
S12	4.9	2.9	0.7	6.5	3.8	0.9	221.7	164.4
S13	0.0	0.0	0.0	1.7	1.0	0.2	59.1	0.0
S14	0.0	0.0	0.0	1.7	1.0	0.2	59.1	0.0
S15	0.0	0.0	0.0	7.9	4.6	1.0	269.9	0.0
S16	0.0	0.0	0.0	7.9	4.6	1.0	269.7	0.0
S17	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9	222.1	1.7
S18	0.2	0.1	0.0	6.5	3.8	0.9	221.7	11.4
S19	0.0	0.0	0.0	4.0	2.3	0.5	134.9	0.0
S20	0.0	0.0	0.0	4.0	2.3	0.5	134.9	0.0
S21	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9	221.8	0.0
S22	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9	221.7	0.0
S23	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9	221.8	0.0
S24	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9	221.7	0.0

Tabell H-7: Skador på komponenter vid brand i MB där komponenterna K1-K6 representeras av; K1 & K4 vägg, K2 & K5 kabel typ I, K3 & K6 kabel typ II och K7 & K8 hud.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
S1	0.0	0.0	0.0	1.0	0.6	0.1	35.1	0.0
S2	0.0	0.0	0.0	7.1	4.1	0.9	240.1	3.5
S3	8.1	4.8	1.1	6.5	3.8	0.9	221.7	272.6
S4	0.0	0.0	0.0	0.8	0.4	0.1	25.9	0.0
S5	0.0	0.0	0.0	7.4	4.3	1.0	251.2	1.5
S6	5.9	3.5	0.8	6.5	3.8	0.9	221.7	197.9
S7	0.0	0.0	0.0	1.7	1.0	0.2	59.1	0.0
S8	0.0	0.0	0.0	7.9	4.6	1.0	269.7	0.6
S9	1.9	1.1	0.2	6.5	3.8	0.9	221.7	67.1
S10	0.0	0.0	0.0	4.0	2.3	0.5	134.9	0.0
S11	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9	221.7	0.0
S12	0.0	0.0	0.0	6.5	3.8	0.9	221.7	0.2



# APPENDIX I. STATISTIK

Nedan Tabell I-1 följer ett utdrag från SOS registret som förs av Sjöfartsverket. Utdraget per maj 2001 behandlar bara brand på svenskregistrerade civila fartyg.

Tabell I-1: Statistik från SOS-registret, sammanställt efter egen gruppering och indelning (br. = brand/bränder).

Brandplats	Orsak	Antal	Andel inom brandplatsen	Andel totalt
Maskinrum (114 br 51%)	Elfel	17	15%	8%
	Läckage/överhettning, brännbar vätska antänds	54	<b>47%</b>	24%
	Reparationer	4	4%	2%
	Värmeledning (dålig isolering)	7	6%	3%
	Överhettning	5	4%	2%
	Övrig/okänd	27	24%	12%
Elinstallation (14 br 6%)	Elfel	14	100%	6%
Pumprum (6 br 3%)	Elfel	2	33%	1%
	Läckage/överhettning, brännbar vätska antänds	2	33%	1%
	Reparationer	2	33%	1%
Batterirum (5 br 2%)	Brännbar gas från batterierna bildas och antänds	2	40%	1%
	Elfel	3	60%	1%
Last/lastrum (15 br 7%)	Reparationer	4	27%	2%
	Övrig/okänd	11	73%	5%
	Anlagd brand	6	35%	3%
Hytt (17 br 8%)	Elfel	3	18%	1%
	Reparationer	1	6%	0%
	Rökning	4	24%	2%
	Övrig/okänd	3	18%	1%
	Mat eller matlagingsutrustning tar eld	3	100%	1%
Man.brygga (3 br 1%)	Elfel	1	33%	0%
	Övrig/okänd	2	67%	1%
Övriga lokaler (40 br 18%)	Anlagd brand	5	13%	2%
	Reparationer	7	18%	3%
	Övrig/okänd	28	70%	13%
Skansen (3 br 1%)	Övrig/okänd	3	100%	1%
Fläktrum (2 br 1%)	Elfel/överhettning	1	50%	0%
	Övrig/okänd	1	50%	0%
<b>Summa</b>		<b>222</b>		<b>100%</b>



# APPENDIX J.

## RISKMATRIS FRÅN GROVANALYS

Nedan, i Tabell J-1, presenteras i matrisform resultaten från grovanalysen på Visby.

Tabell J-1: Resultat från grovanalys i en riskmatris.

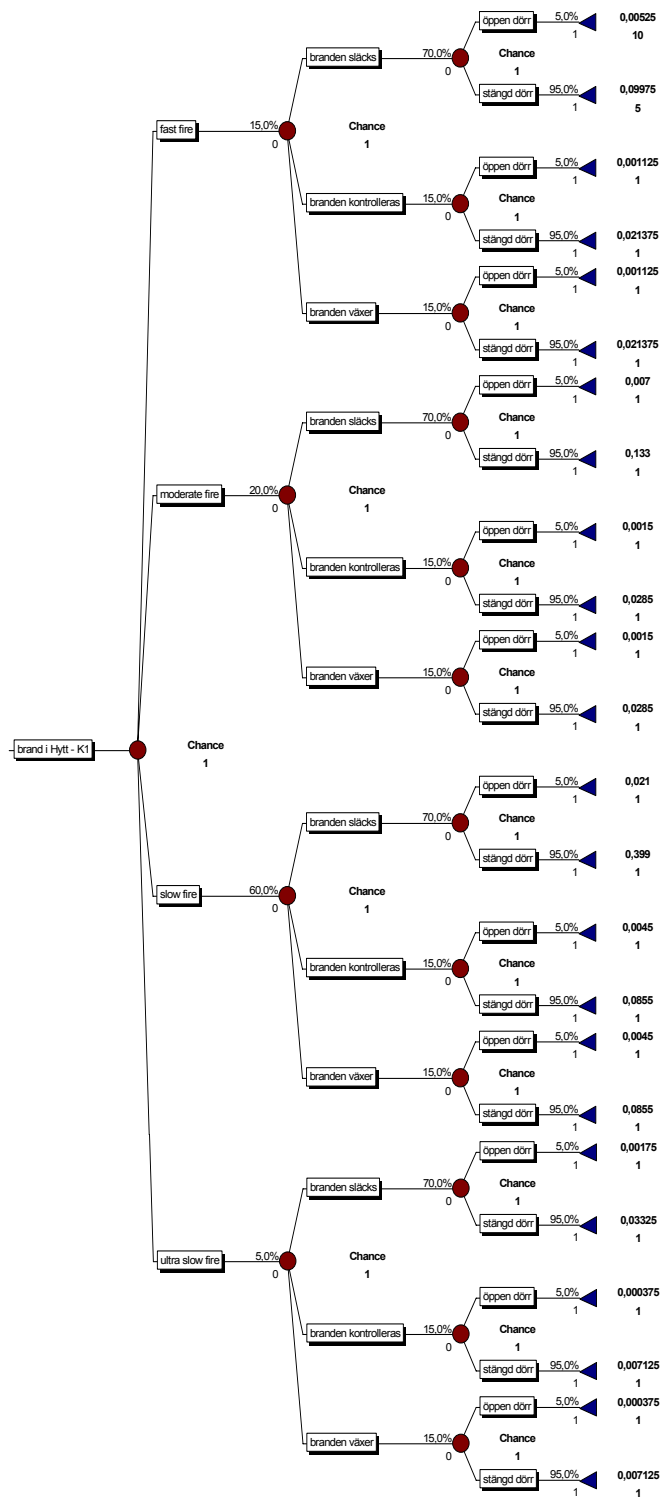
K o n s e k v e n s	5	19. Stridsled.cent. & radiohytt (elbrand) 28. Båt med dieselmotor på vapendäck brinner 47. Bryggan	25. Släphydrofonen brinner på lastdäck 26. Släphydrofonen brinner på lastdäck 29. Båt med dieselmotor på vapendäck brinner 44. ELA 5	16. ELA 3, huvudtavla 2, manöversystemet (för maskin) 43. ELA 5	2. Brand i maskinrum 2		
	4			1. Brand i maskinrum 3 5. Brand i dieselmotorer maskr.1 6. Brand i elgenerator i maskr. 1 17. Maskincentral, huvudtavla 3			
	3	39. Ventilationsrum 40. Ventilationsrum 41. Ventilationsrum					
	2	20. Hytt/inredning	3. Brand i kompressor maskinr. 2 18. Stridsled.cent. & radiohytt (elbrand) 22. Generatorrum (oljeläcka antänds) 27. Mikrovågsugn för sophantering brinner på lastdäck 32. Kök/kabbys (matlagningsutrustning, elapparater i fuktig miljö, stekbord etc. orsakar brand) 37. Förlig förtöjning 38. Förlig förtöjning 46. Bryggan	11. Hydrofonbrand i el- utrustning 21. ELA 1 23. Generatorrum (elskåpet) 24. Generatorrum (brand i dieselgeneratorm) 30. Kök/kabbys (fettbrand i filter) 31. Kök/kabbys (torrkökning) 33. Tvättrum 3 35. ELA 4			
	1	12. Ammunitionsdurk	4. Brand/begränsad explosion i battericeller i maskinrum 2 8. Brännoljepumpar gång 1 9. Pumprum med kylvattenpump. 13. Bogpropellerrum	42. Pannrum (med värmepanna för uppvärmning av vatten och luft)			
		1	2	3	4	5	

Sannolikhet

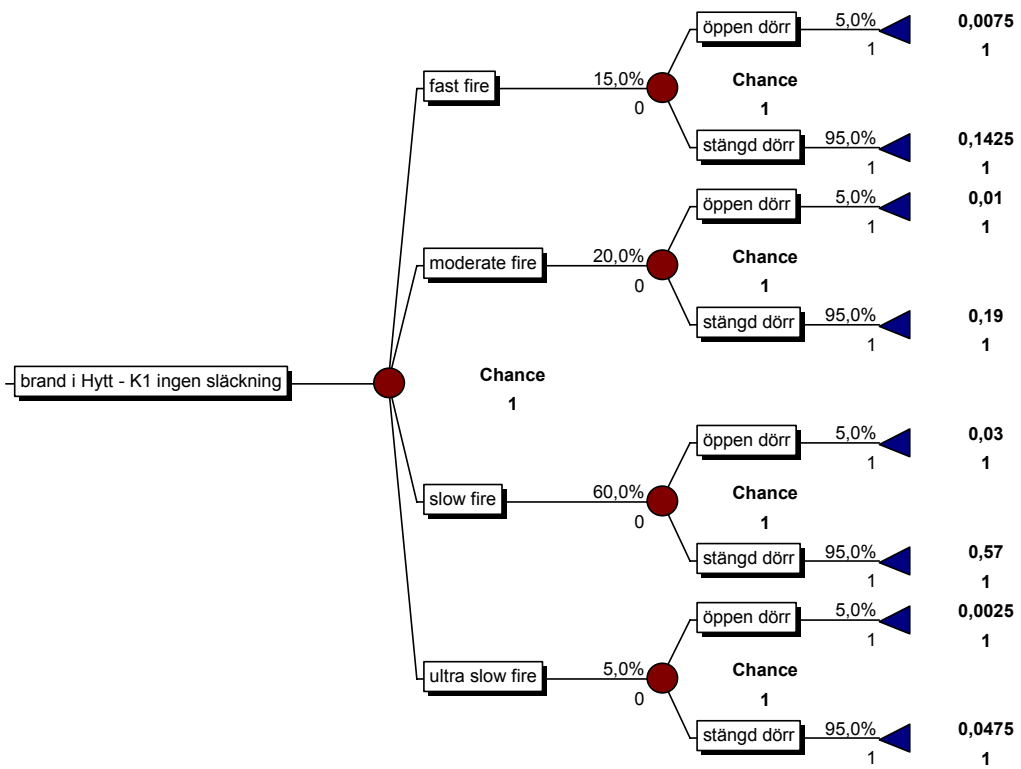


# APPENDIX K. HÄNDELSETRÄD

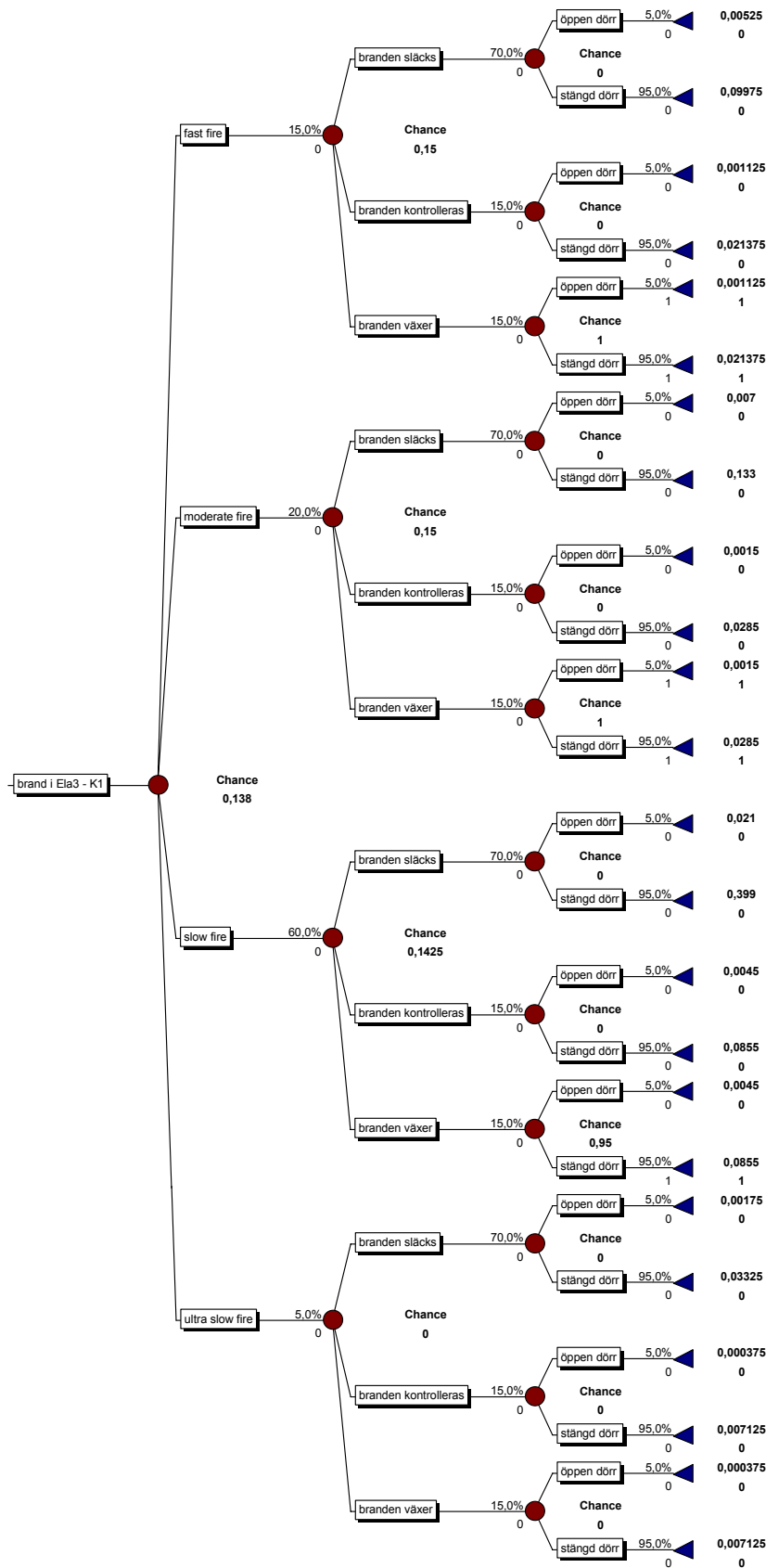
Nedan presenteras händelseträden, för de olika scenarierna, med släckning och utan sådan när det är aktuellt.



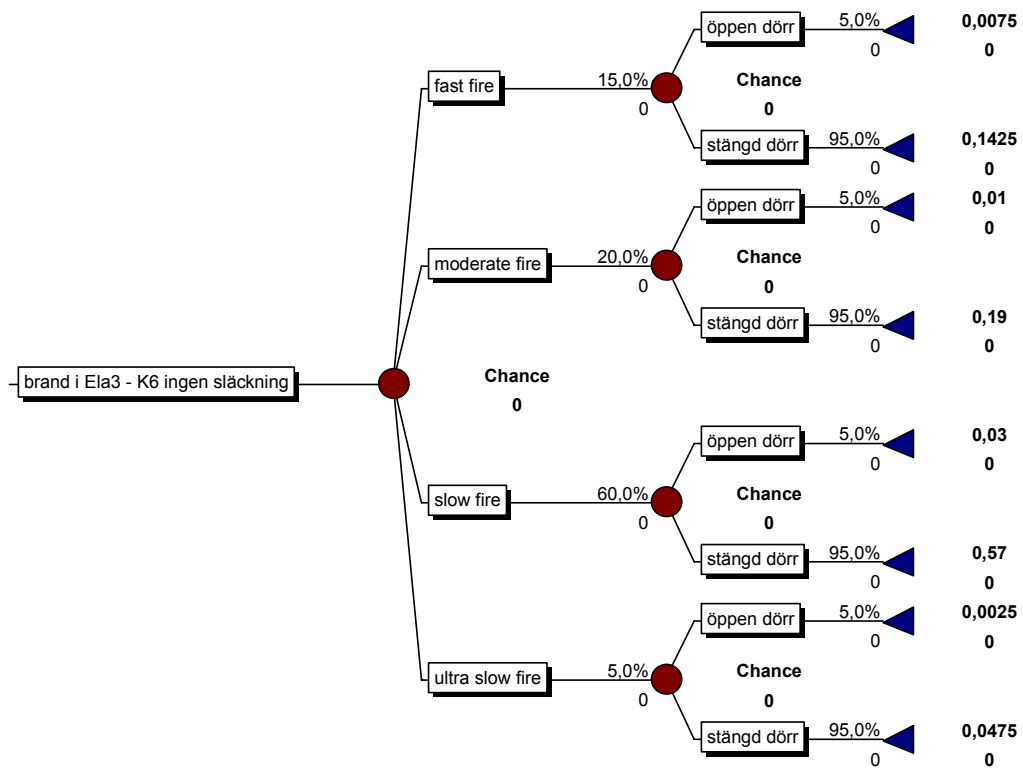
Figur K-1: Händelsetråd för brand i hytt med släckning.



Figur K-2: Händelseträd för brand i hytt utan släckning.

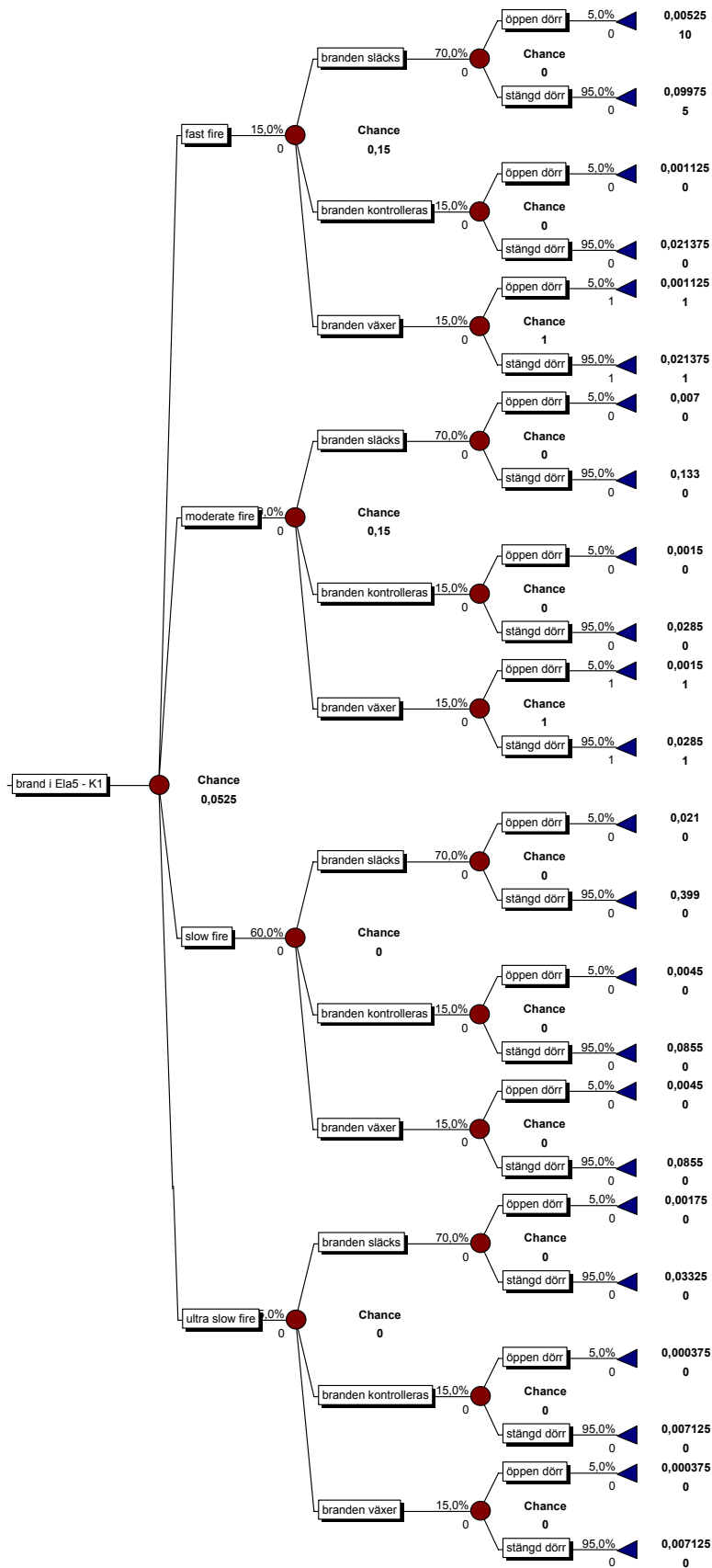


Figur K-3:Händelsetråd för brand i ELA 3 med släckning.

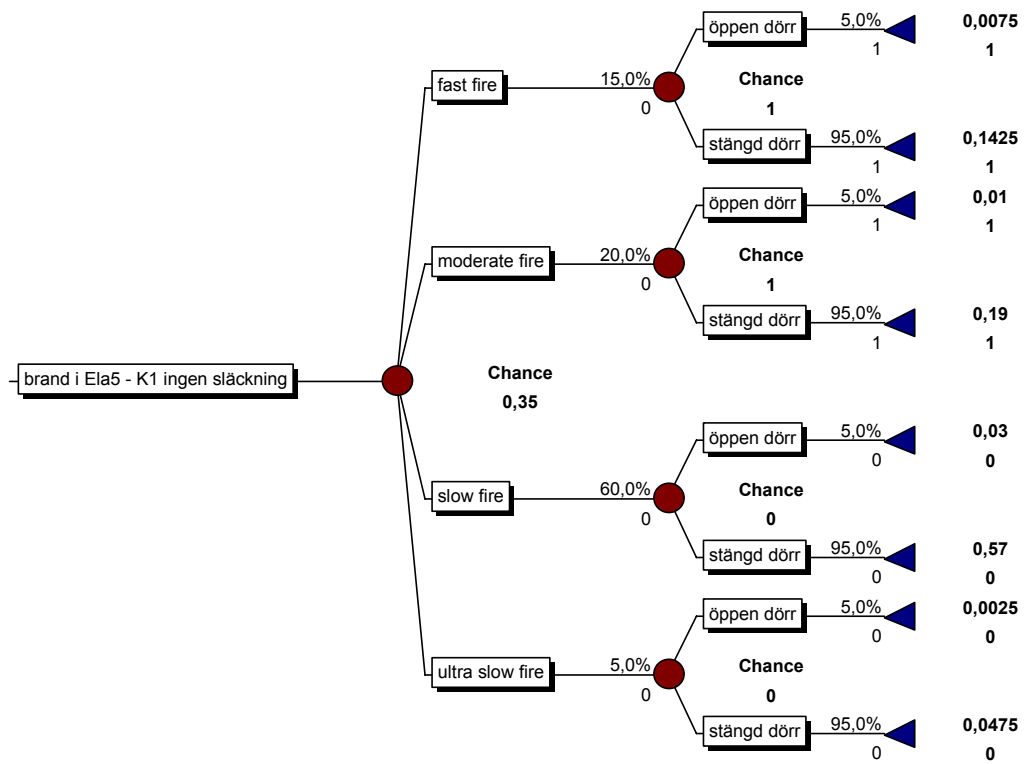


Figur K-4: Händelsetråd för brand i ELA 3 utan släckning.

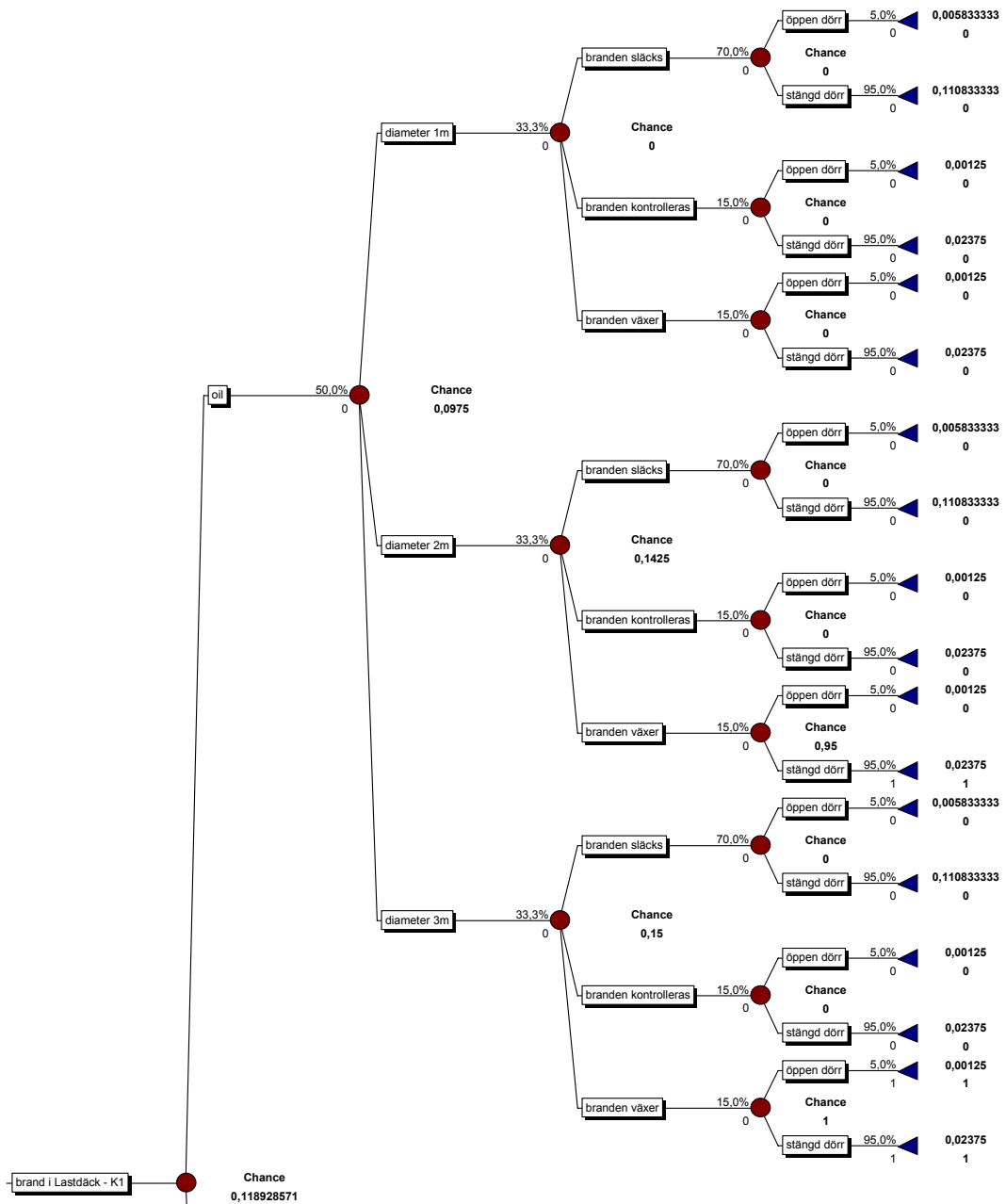




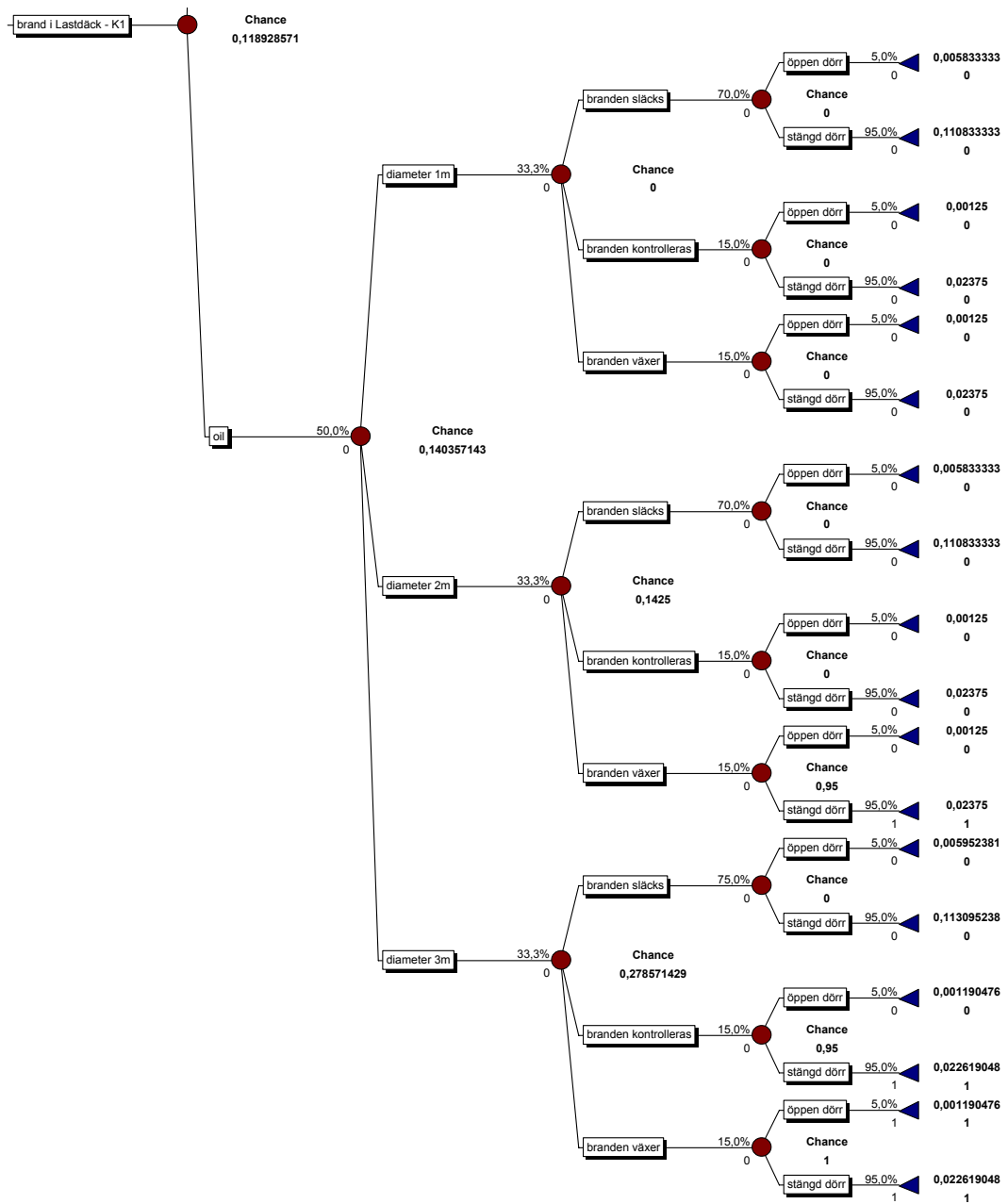
Figur K-5: Händelsetråd för brand i ELA 5 med släckning.



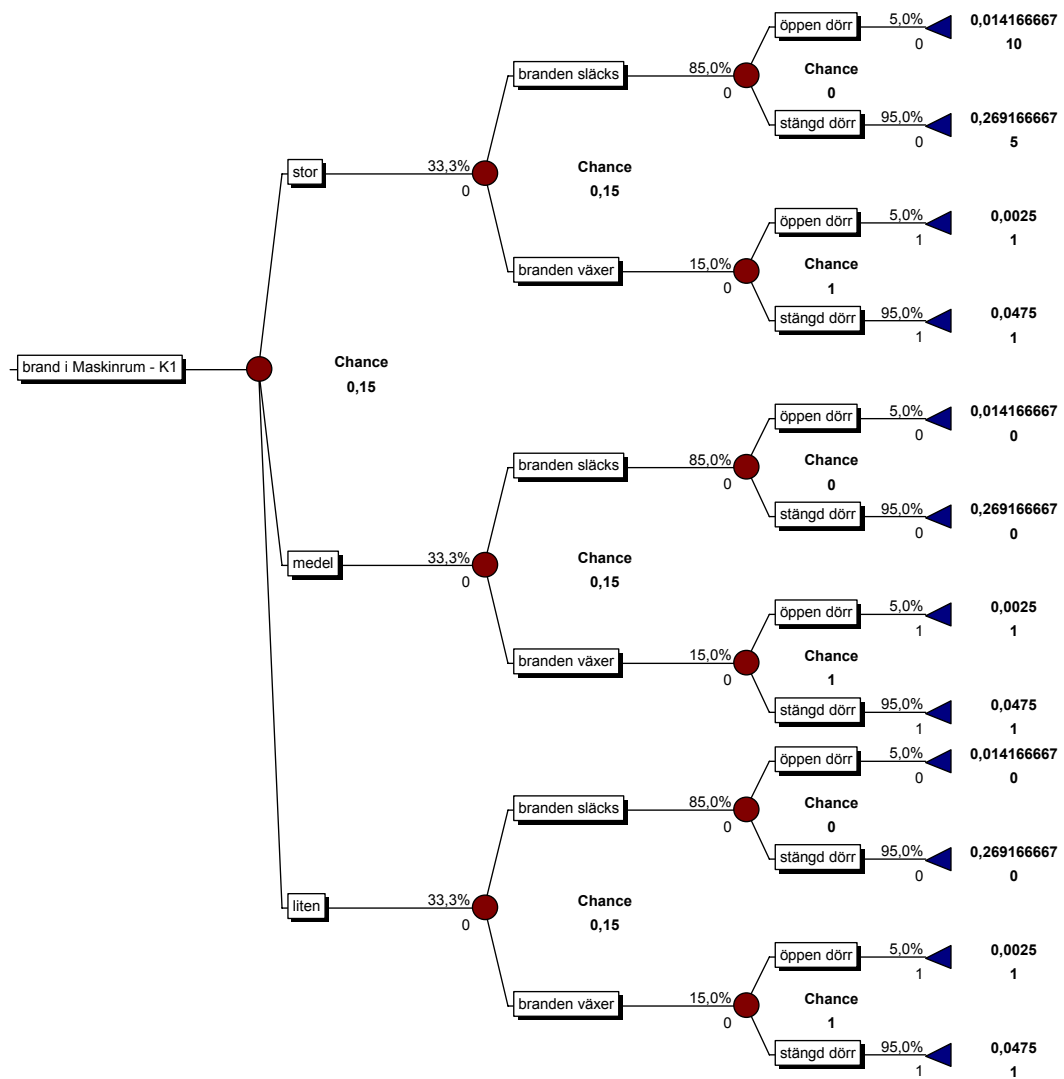
Figur K-6: Händelseträd för brand i ELA 5 utan släckning.



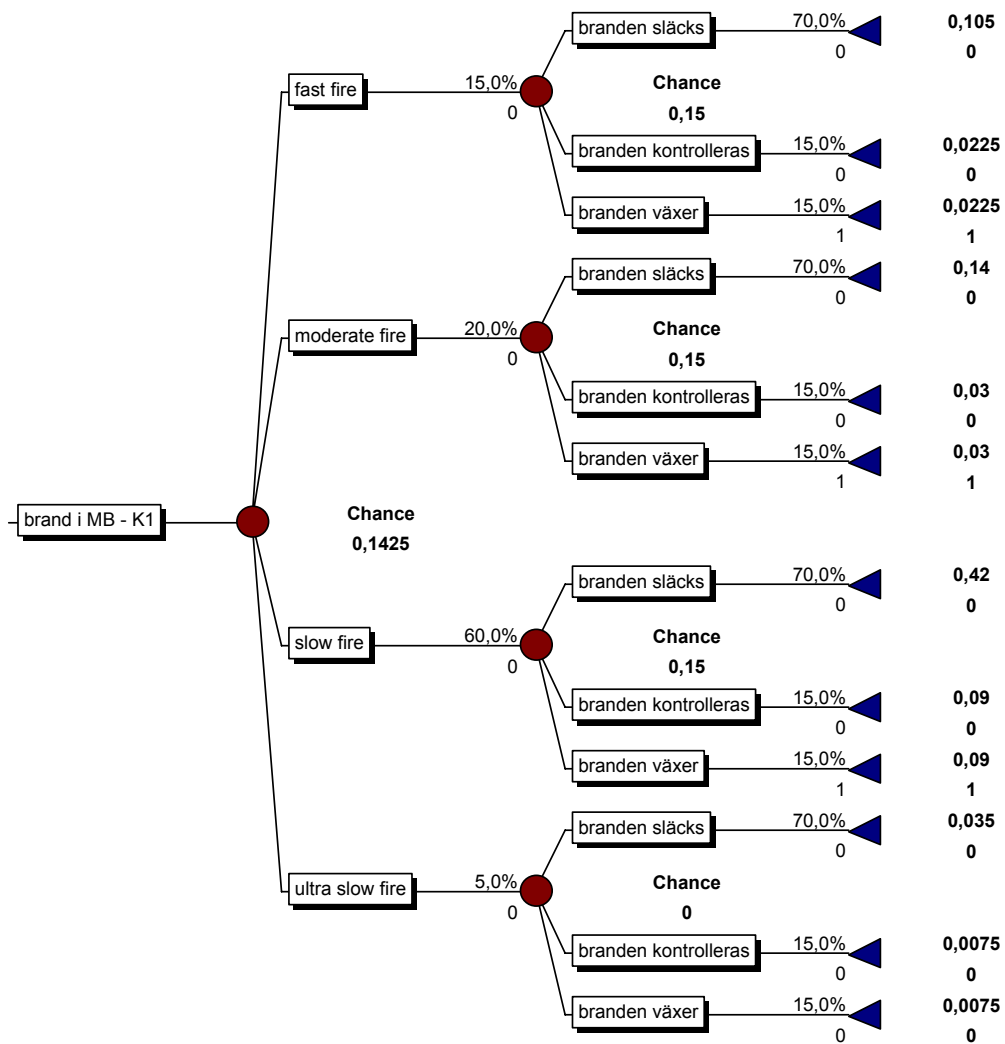
Figur K-7: Övre delen av händelseträdet för brand på lastdäck med släckning.



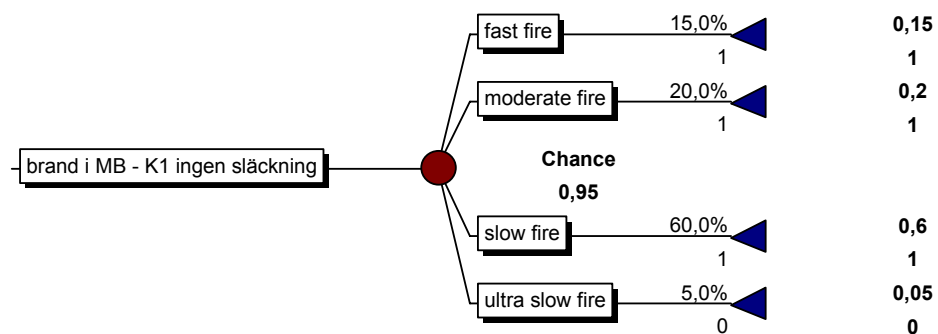
Figur K-8: Nedre delen av händelseträdet för brand på lastdäck utan släckning.



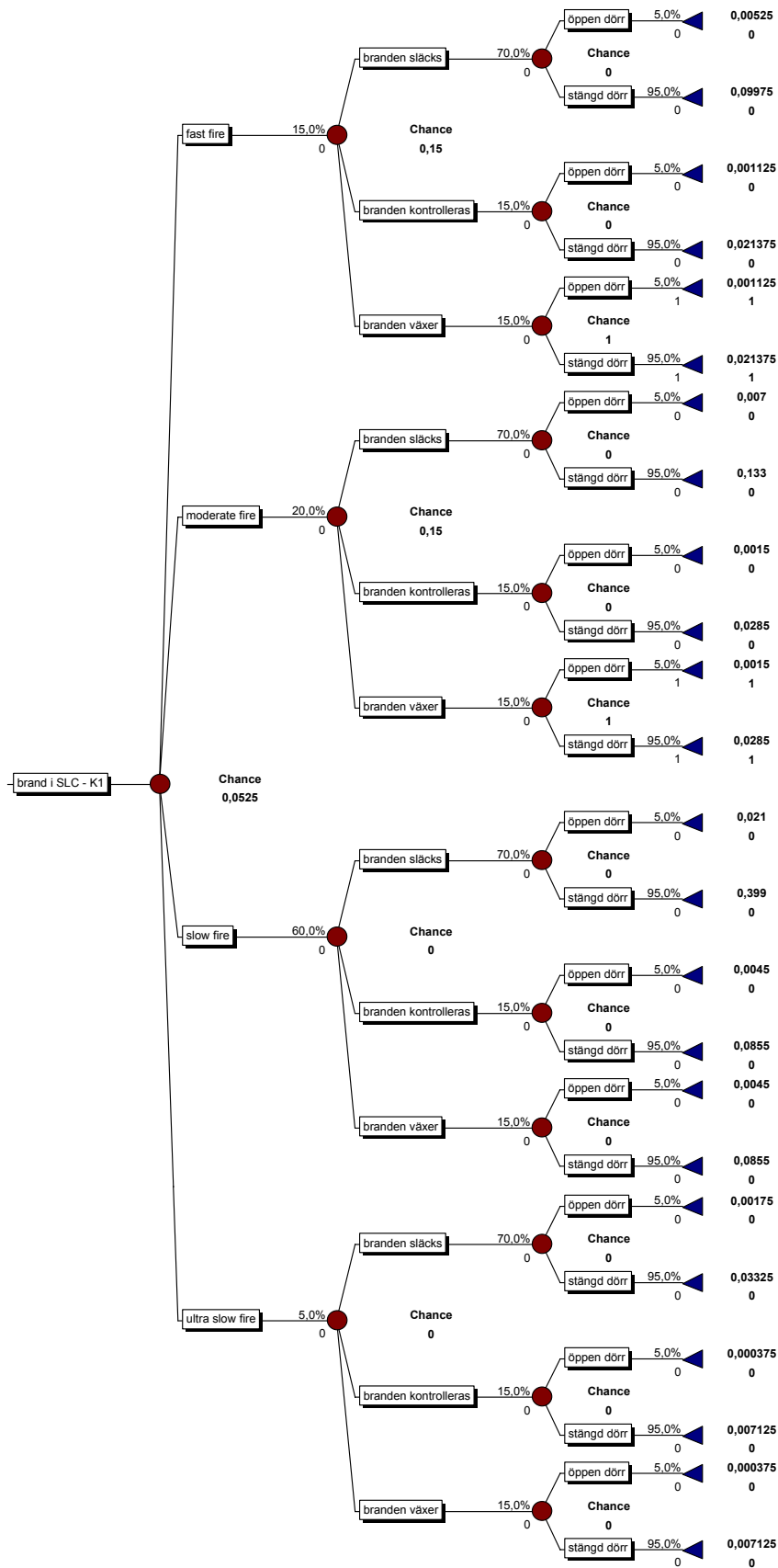
Figur K-9: Händelsetråd för brand i maskinrum.



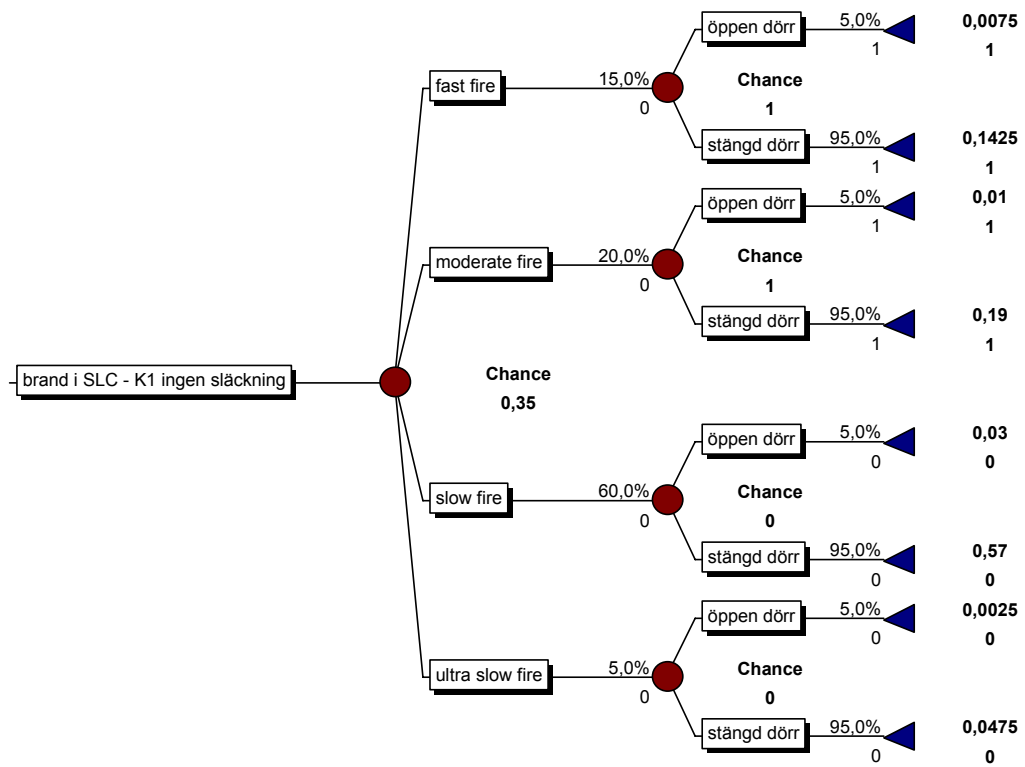
Figur K-10: Händelsetråd för brand i MB med släckning.



Figur K-11: Händelsetråd för brand i MB utan släckning.



Figur K-12: Händelseträd för brand i SLC med släckning.

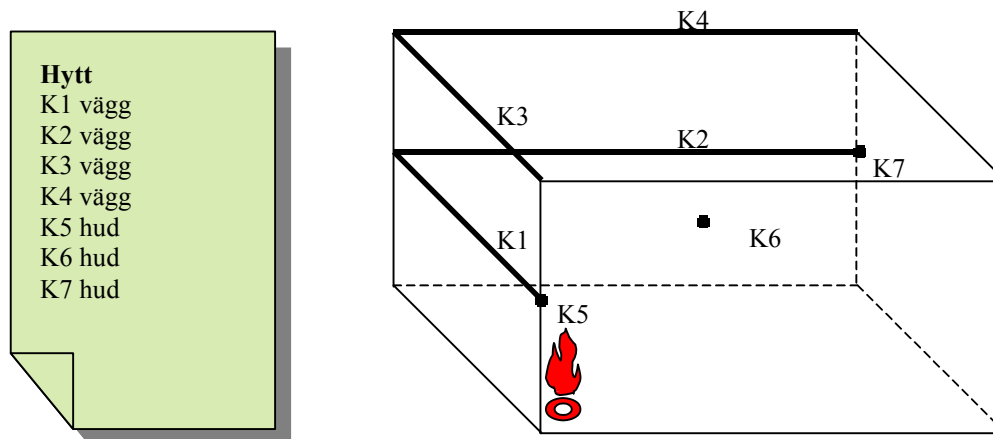


Figur K-13: Händelseträd för brand i SLC utan släckning.

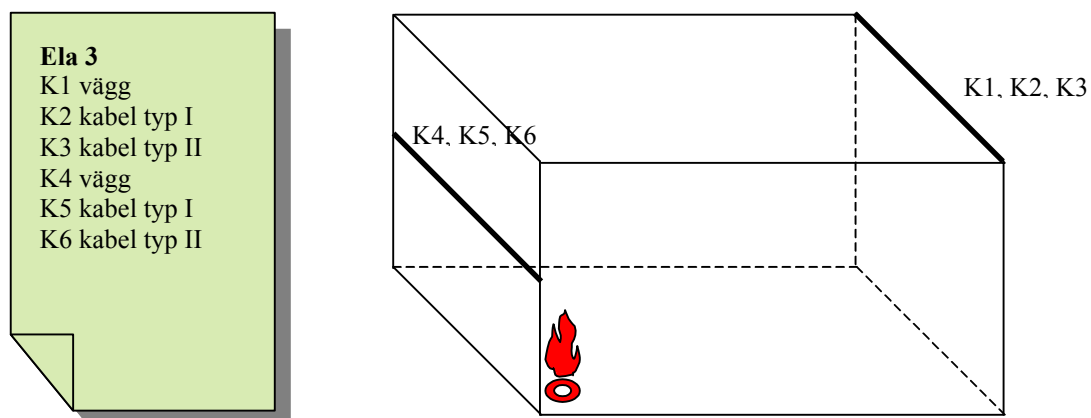


## APPENDIX L. PLACERING AV KOMPONENTER VID SIMULERING

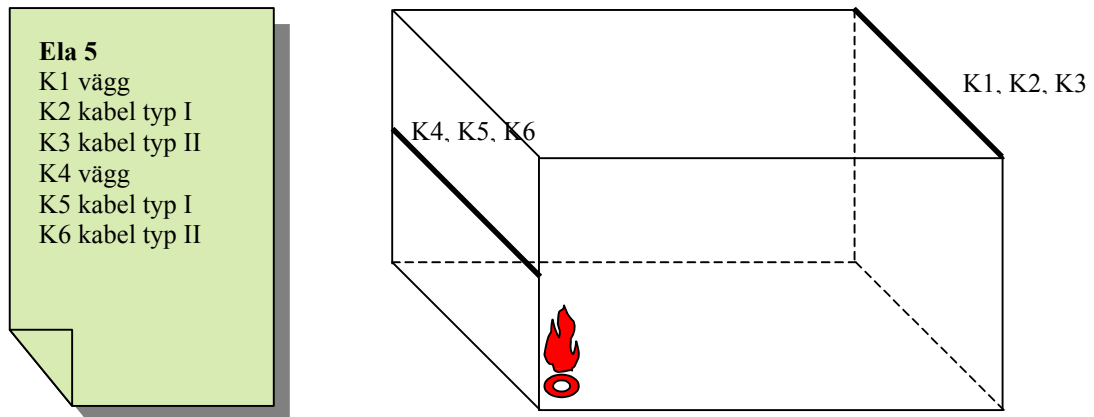
För varje simulering har skadekriteriekomponenter utvärderats. Dessa har placerats i rummet med tanke på största möjliga spridning på skadan, nära och långt ifrån branden. Typ av komponent som utvärderas är olika från scenario till scenario och beskrivs nedan från Figur L-1 till Figur L-7.



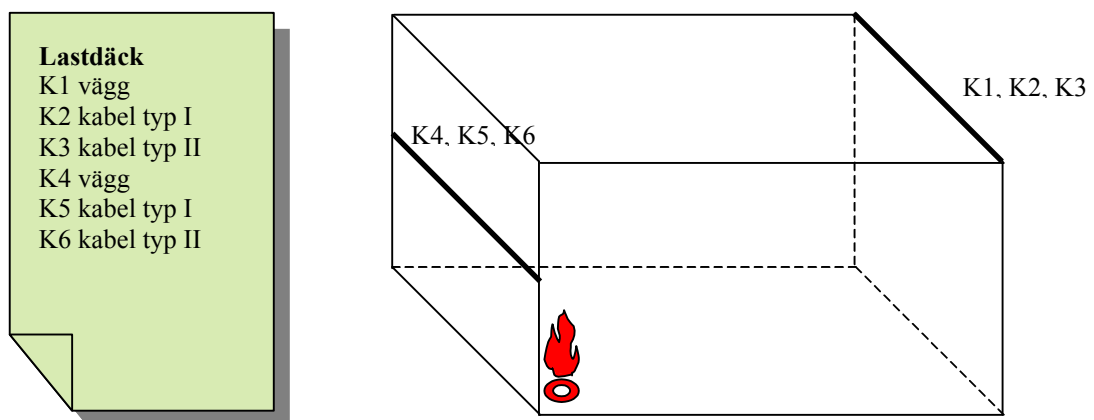
Figur L-1: Komponentplacering i Hytt



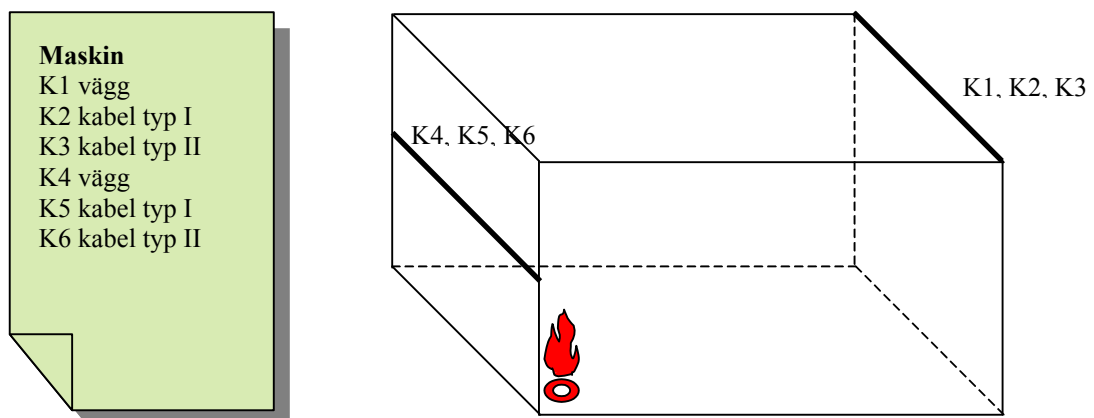
Figur L-2: Komponentplacering i ELA 3



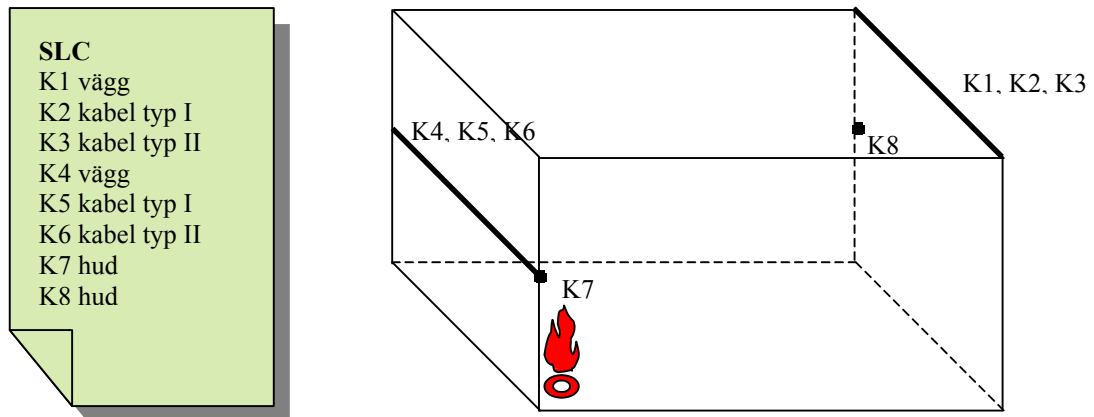
Figur L-3: Komponentplacering i ELA 5



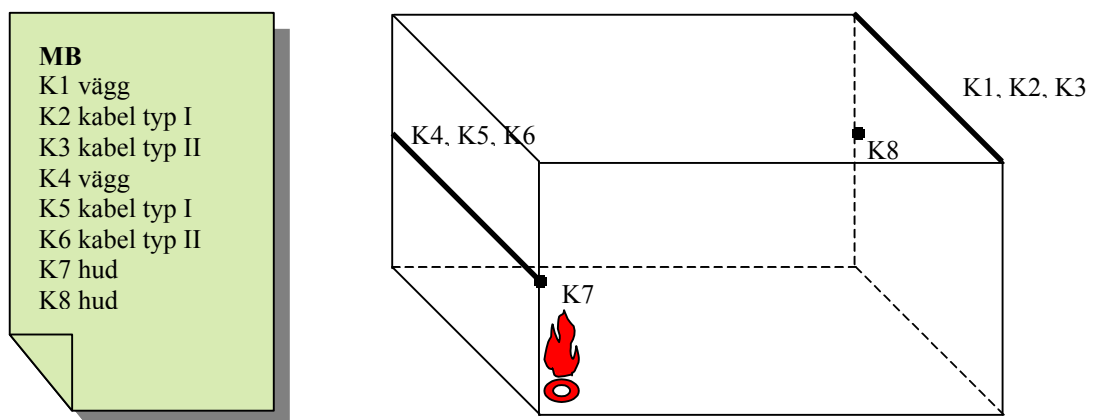
Figur L-4: Komponentplacering i Lastdäck



Figur L-5: Komponentplacering i Maskinrum



Figur L-6: Komponentplacering i SLC



Figur L-7: Komponentplacering i MB



# APPENDIX M. DIMSPIKSFÖRSÖK

## M.1. ALLMÄNT

En av de metodiker som förespråkas för manuell brandsläckning ombord Visby är nyttjandet av dimspik. Dock är kompositmaterialet som Visby är byggt utav mycket hårt och svårt att penetrera varför några orienterade raska försök utfördes kring möjligheterna att slå dimspik genom materialet. Endast penetreringsmöjligheterna som har undersökts och inga släckningsförsök med dimspik har utförts.

## M.2. FÖRSÖK

Försöken gjordes i samarbete med Statens Räddningsverks skola i Revinge som stod för dimspikar och annan utrustning som krävs vid användandet av dimspik. Vid försöket testades två olika tjocklekar på kompositmaterialet. I det ena fallet handlade det om sandwichkonstruktion med två kolfiberlager på 5mm var och kärnmateriellager på 60mm. I det andra fallet handlar om tunnare material nämligen 2 · 2mm och 40mm på komposit respektive kärnmaterial lager.



*Bild M-1: Dimspik med kompositmaterialet i bakgrunden*



*Bild M-2: Hammaren som används för att slå hål i materialet där spiken skall penetrera*

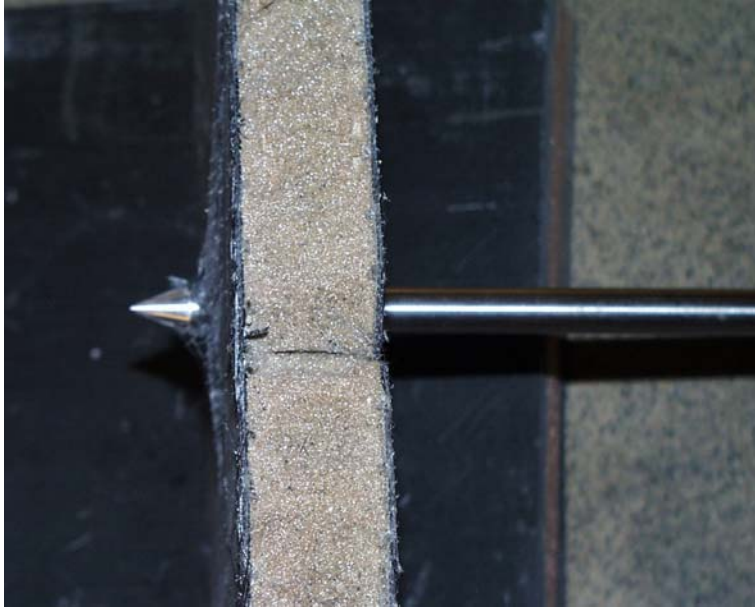
Vid användning av dimspik slås det hål med ett speciellt verktyg som på ena sidan är som hammare men på andra sidan har en spikformad vass del för att slå hål där dimspiken skall sättas (se Bild M-3 nedan).



*Bild M-3: Utrustningen: slaghammare och dimspik*

Med bara ett slag i kolfiberskiktet är det svårt att få dimspiken att tränga igenom men med flera slag försvagas materialet och genomträngning underlättas. Problemet är att på andra sidan av materialet d.v.s. det andra lagret av kolfiber inte kan slås hål med hammaren och därmed inte kan få dimspiken igenom överhuvudtaget. Kärnmaterialet ger ingen som helst motstånd. De ovannämnda svårigheterna med att få dimspiken att tränga igenom materialet gäller framförallt den tjockare varianten. I den tunnare varianten går det betydligt lättare att slå dimspiken igenom. Dessutom går det att slå

igenom dimspiken på andra sidan trots att inledande hål är ej möjligt att göra med hammaren.



*Bild M-4: Dimspik som penetrerat genom den tunna varianten av kompositmaterialet*

Dimspik tål inte att hamras utan att hål borrar inledningsvis i materialet. Dessutom kan hålen i dimspiken sättas igen och därmed sänka dess effektivitet. Därmed föreslås användning av bormaskin inledningsvis och sedan tränga dimspiken igenom för att utnyttja den optimalt. Även om dimspiken skulle tåla att bankas igenom materialet krävs det både plats och styrka. Detta skulle innebära stora begränsningar då förbindelse – korridorer är trånga.



*Bild M-5: Användningen av dimspik kräver plats som bilden visar*

### **M.3. SLUTSATSER DIMSPIKSFÖRSÖK**

Dimspik tål inte att hamras utan att hål finns inledningsvis. Dessutom kan hålen i dimspiken sättas igen och därmed sänka dess effektivitet. Därmed föreslås användning av bormaskin inledningsvis och sedan tränga dimspiken igenom för att utnyttja den optimalt. Även om dimspiken skulle tåla att bankas igenom materialet krävs det både plats och styrka. Detta innebär stora begränsningar då förbindelser och korridorer är trånga.



# APPENDIX N. SCRIPTFILER

## N.1. ALLMÄNT

CFD-simuleringar har genomförts på scenariot brand i hytt. Uppdragsgivarna, FMV, önskar veta lite kring detaljer från en eventuell brand där, rök-gastemperaturer. Därför har en fördjupad analys utförts med hjälp av CFD-modellering. De script som har nyttjats till för att inför SOFIE definiera simuleringarna redovisas i detta appendix i oförändrad form. Tre script presenteras, ett för styrning av programmet när strålningsmodellen används, ett för styrning när förbränningsmodell utan strålning används samt en fil som definierar den transienta branden,  $\alpha^2$ -branden.

## N.2. TRANSIENT BRAND

Denna fil anropas av båda simuleringarna i syftet att få en brandtillväxt enligt en viss modell. Branden antas växa kvadratisk med tiden d.v.s. är av  $\alpha \cdot t^2$ -typ med  $\alpha$  -värdet på  $0,117 \text{ kW/s}^2$  som motsvarar en så kallad ”moderate brand”. Den maximala brandeffekten har uppskattats bli 500kW och med den ovannämnda tillväxthastigheten nås detta värde efter 207 sekunder. Under tiden  $t_{\text{start}}$  finns ingen brand för att strömningsförhållandena alstrade av den normala ventilation skall nå en någorlunda steady state nivå i brandrummet innan brandsimuleringen startas.

```
@set t = 1 ((time t_start -) tmax /) ((time t_start -) tmax <) if ;
%-----
% Set boundary velocity according to time
%-----
@set v = 0.0001 (( t 2 ** ) vmax * 0.0001 +) (time t_start >) if ;
%-----
setup
%-----
    boundary values
%-----
    fire
        v_f = [ v ]
    end
end
%-----
end
no % do not reinitialise
%-----
end
```

## N.3. HYTT MED STRÅLNINGSMODELL

Nedan följer skriptfilen som utnyttjades för simulering av brand i hytt med strålningsmodellen inkluderad.

```
@log logfil
%-----
setup
%-----
```

```

solution type
%-----
    radiation
        combustion
            eddy breakup
                high-Re k-e
            ;
        end
        fuel type
        C5H8O2 % motsvarar PMMA, d.v.s. plexiglas, plastmaterial
        som tycks likna laminatet brandmässigt
        end
        options
            number of rays
            theta direction
            2
            phi direction
            16
        end
    end
    soot
        prescribed source
    end
    solids
        add laminat
    end
    buoyancy
    transient
end
%-----
physical geometry
%-----
import vrml1
%-----
    $hytt_rad.wrl
    geometry tolerance 0.02
end
%-----
computational grid
%-----
    cartesian
        auto mesh1d
            Key point tolerance = 0.02
            Total number of cells = 10000
            Minimum cells per region = 2
    %
        generate mesh3d
    end
end
%-----
assign blockages
%-----
    geometry
        inactive firebox
        solid type laminat
        active door1
        active door2
        active floor
        active ceiling
        active rightwall

```

```

        active leftwall
        active frontwall
        active backwall1
        active backwall2
    end
end
%-----
surface groups
%-----
    geometry
        create fire          firebox_fire
        create corridor_exit pbound
        create vent          vbound
    %
        create outer_walls   rightwall_o
        append outer_walls   leftwall_o
        append outer_walls   floor_o
        append outer_walls   backwall1_o
        append outer_walls   backwall2_o
        append outer_walls   door1_o
        append outer_walls   door2_o
        append outer_walls   ceiling_o
    %
        create inner_rightwall rightwall_i
        create inner_leftwall  leftwall_i
        create inner_floor     floor_i
        create inner_backwall1 backwall1_i
        create inner_backwall2 backwall2_i
        create inner_door1     door1_i
        create inner_door2     door2_i
    %
        create inner_ceiling ceiling_i
    end
end
%-----
boundary types
%-----
    fluid inflow   fire
    fluid staticp  corridor_exit
    fluid inflow   vent
    thermal htcoef outer_walls
end
%-----
boundary values
%-----
@set rho    = 1.01325e5 300 / 8314 / 16 * ;
@set hcomb  = 24.9e6 ; % Def bränslet som PMMA ref. Drysdale tab 1-13
@set area   = 0.09 ;
@set hrr    = 500e3 ;
@set vmax   = hrr hcomb / area / rho / ;
@set t_start = 5 ; % Starttid för flödesjustering utan brand
@set tmax    = 206.7 ; % moderate fire alfa*t^2-kurva
%
    fire
        v_f      = 0.0 % Initial value
        t_f      = 300.0
        mfrac_f  = 1.0
        mfuel_f  = 1.0
        tke_f    = 1.0 % Intensity
        ted_f    = 0.3 % Length scale
%-----

```

```
% sootm_f värdet tas för 0.1 polyuretan (c:a 0.2g/g) + 0.9 trä (c:a
0.015g/g)
% dvs sootm_f-värdet blir 0.1*0.200+0.9*0.015 = 0.0335 g/g
%-----
    sootm_f = 0.0335 %ref. SFPE-handboken
end
%
corridor_exit
    t_f = 300.0
    tke_f = 1.0 % Intensity
    ted_f = 0.1 % Length scale
end
%
vent
    t_f = 300.0
    tke_f = 1.0 % Intensity
    ted_f = 0.1 % Length scale
    u_f = 0.5556
end
%
outer_walls
    htcoef_f = 10.0
end
%
inner_rightwall
    eps_f = 0.9
end
%
inner_leftwall
    eps_f = 0.9
end
%
inner_floor
    eps_f = 0.9
end
%
inner_backwall1
    eps_f = 0.9
end
%
inner_backwall2
    eps_f = 0.9
end
%
inner_door1
    eps_f = 0.9
end
%
inner_door2
    eps_f = 0.9
end
%
inner_ceiling
    eps_f = 0.9
end
end
%-----
interior values
%-----
    expert
        solution u fluid all ok -0.1
```

```

end
end
%-----
%Definierar den transienta simuleringen
%-----
control
  transient control
    fieldview frequency = 1% output sparas varje s(se time step)
    script file          = transient_brand.com
    script freq = 1
    minimum timestep iterations = 20
    maximum timestep iterations = 200
    maximum time                = 600
  end
  solved variables
    rel
      u = 0.05
      v = 0.05
      w = 0.05
    end
  end
  physical models
    time step = 1 % dvs att det simuleras vid var 1:te sekund
  end
end
end
end
file
  export
    select
      add
        face
        qneg
        ;
      ok
    end
  end
end
run

```

## N.4. HYTT OCH KORRIDOR

Nedan följer skriptfilen som utnyttjades för simulering brand i hytt samt spridning av brandgaser till korridor.

```

@log smoke2
%-----
setup
%-----
solution type
%-----
  combustion
    eddy breakup
      high-Re k-e
      ;
    end
  fuel type
    C5H8O2 % motsv. PMMA, dvs plexiglas, som tycks likna laminatet
  end
  soot
    prescribed source

```

```
end
solids
    add laminat
end
    buoyancy
    transient
end
%-----
physical geometry
%-----
import vrml1
%-----
    $hytt_smo.wrl
    geometry tolerance 0.02
end
%-----
computational grid
%-----
    cartesian
    auto mesh1d
        Key point tolerance = 0.02
        Total number of cells = 20000
        Minimum cells per region = 2
%
    generate mesh3d
end
end
%-----
assign blockages
%-----
    geometry
        inactive firebox
        inactive box1
        inactive box2
        solid type laminat
        active floor
        active ceiling1
        active ceiling2
        active backwall1
        active backwall2
        active rightwall
        active leftwall
        active doorwall
        active door1
        active door2
        active cleftwall1
        active cleftwall2
        active crightwall1
        active crightwall2
        active corrwall
        active csrightwall
        active csleftwall
    end
end
%-----
surface groups
%
% Separate groups have been defined for the inner wall and
% ceiling simply to aid in visualising results when using
% fieldview.
%-----
```

```

geometry
  create fire          firebox_fire
  create corridor_exit pbound
  create vent17       hinleft
  create vent19       hinmiddle
  create vent21       vbound
  create vent23       hinright
  create ventout_wc   wcout
  create ventin_forrad forrin
  create ventout_korr out
%
  create outer_walls  floor_o
  append outer_walls  ceiling1_o
  append outer_walls  ceiling2_o
  append outer_walls  backwall1_o
  append outer_walls  backwall2_o
  append outer_walls  rightwall_o
  append outer_walls  leftwall_o
  append outer_walls  cleftwall1_o
  append outer_walls  cleftwall2_o
  append outer_walls  crightwall1_o
  append outer_walls  crightwall2_o
  append outer_walls  corrwall_o
  append outer_walls  csrightwall_o
  append outer_walls  csleftwall_o
%
  create inner_walls  floor_i
  append inner_walls  backwall1_i
  append inner_walls  backwall2_i
  append inner_walls  rightwall_i
  append inner_walls  leftwall_i
  append inner_walls  cleftwall1_i
  append inner_walls  cleftwall2_i
  append inner_walls  crightwall1_i
  append inner_walls  crightwall2_i
  append inner_walls  corrwall_i
  append inner_walls  csrightwall_i
  append inner_walls  csleftwall_i
%
  create outer_mellan_wall door1_o
  append outer_mellan_wall door2_o
  append outer_mellan_wall doorwall_o
%
  create inner_mellan_wall door1_i
  append inner_mellan_wall door2_i
  append inner_mellan_wall doorwall_i
%
  create inner_ceiling ceiling1_i
  append inner_ceiling ceiling2_i
end
end
%-----
boundary types
%-----
  fluid inflow   fire
  fluid staticp  corridor_exit
  fluid inflow   vent21
  fluid inflow   vent17
  fluid inflow   vent19
  fluid inflow   vent23
  fluid inflow   ventin_forrad

```

```

fluid outflow ventout_wc
fluid outflow ventout_korr
thermal htcoef outer_walls
thermal htcoef outer_mellan_wall
end
%-----
boundary values
%-----
@set rho = 1.01325e5 300 / 8314 / 16 * ;
@set hcomb = 24.9e6 ; % Def bränslet som PMMA ref. Drysdale tab 1-13
@set area = 0.09 ;
@set hrr = 500e3 ;
@set vmax = hrr hcomb / area / rho / ;
@set t_start = 5 ; % Starttid för flödesjustering utan brand
@set tmax = 206.7 t_start + ; % moderate fire alfa*t^2-kurva
%
fire
v_f = 0.0001 % Initial value
t_f = 300.0
mfrac_f = 1.0
mfuel_f = 1.0
tke_f = 1.0 % Intensity
ted_f = 0.3 % Length scale
%-----
% sootm_f värdet tas för 0.1 polyuretan (c:a 0.2g/g) + 0.9 trä (c:a
0.015g/g)
% dvs sootm_f-värdet blir 0.1*0.200+0.9*0.015 = 0.0335 g/g
%-----
sootm_f = 0.0335 % Referens SFPE-handboken
end
%
corridor_exit
t_f = 300.0
tke_f = 1.0 % Intensity
ted_f = 0.1 % Length scale
end
%
vent21
t_f = 300.0
tke_f = 1.0 % Intensity
ted_f = 0.1 % Length scale
u_f = 0.5556
end
%
vent17
t_f = 300.0
tke_f = 1.0 % Intensity
ted_f = 0.1 % Length scale
u_f = 0.4166
end
%
vent19
t_f = 300.0
tke_f = 1.0 % Intensity
ted_f = 0.1 % Length scale
u_f = 0.4166
end
%
vent23
t_f = 300.0
tke_f = 1.0 % Intensity

```



```

    ted_f = 0.1 % Length scale
    u_f = 0.4166
end
%
ventin_forrad
    t_f = 300.0
    tke_f = 1.0 % Intensity
    ted_f = 0.1 % Length scale
    u_f = -0.4444
end
%
ventout_wc
    t_f = 300.0
    tke_f = 1.0 % Intensity
    ted_f = 0.1 % Length scale
    u_f = 0.4444
end
%
ventout_korr
    t_f = 300.0
    tke_f = 1.0 % Intensity
    ted_f = 0.1 % Length scale
    v_f = 0.5185
end
end
%-----
interior values
%-----
expert
    solution u fluid all ok -0.1
end
end
%-----
%Definierar den transienta simuleringen
%-----
control
    transient control
        fieldview frequency = 5% output sparas varje s(se time step)
        script file = transient_brand.com
        script freq = 1
        minimum timestep iterations = 20
        maximum timestep iterations = 300
        maximum time = 600
    end
    solved variables
        rel
            u = 0.10
            v = 0.10
            w = 0.10
        end
    end
    physical models
        time step = 0.2
    end
end
end
end
run
;
```



# APPENDIX O. MAKROPROGRAM FÖR FREIA UTDATA

## O.1. ALLMÄNT

I rapportens huvudanalys har deterministiska beräkningar på skada på komponenter genomförts i datormodellen FREIA. Programmet är relativt gammal och användargränssnittet är inte genomtänkt för smidig hantering av stora mängder utdata. I dagsläget ges skadekvoter i en fil som inte kan döpas till olika namn utefter simuleringens namn. Detta medför att manuell hantering av filen krävs. Den måste döpas om och flyttas till en ny mapp efter varje simulering. När denna data skall sammanställas måste all denna data klippas och klistras, ett mycket tidsödande jobb. För att snabba upp den senare processen har ett kort program skrivit i Visual Basic, egentligen som ett makro till Microsoft Excel.

## O.2. HANTERING AV UTDATA FRÅN FREIA

I analysen ingick sju olika scenarier med olika antal simuleringar i programmet FREIA /3/. Antalet simuleringar per scenario beror delvis på hur många samt vilka indata parametrar varierar vid simulering. För varje simulering beräknas skadenivån på sex till åtta olika komponenter, beroende på scenariot.

Tabell O-1: Antalet simuleringar och komponenter för respektive scenario.

Scenario	Antalet simuleringar	Antalet komponenter
ELA3	24	6
ELA5	24	6
Hytt	24	7
Lastdäck	36	6
Maskinrum	24	6
SLC	24	8
MB	12	8

Det totala antalet simuleringar är 162 och kombinerat med antalet komponenter innebär att det är mycket data att hantera. Bearbetning av utdata från varje simulering innebär omvandling av resultatfiler från FREIA /3/ (nxp-filer) till excelfiler och sedan samla data på ett enda dokument genom att klippa och klistra. Hela proceduren skulle ske i stort på likadant sätt för alla scenarier med ändring av vissa parametrar t.ex. antalet simuleringar eller komponenter.

En automatisering av det hela var nödvändig samtidigt möjlig i ett s.k. makroprogram i Excel. Därför implementerades det ett program som skulle hantera det hela automatiskt genom att ange katalog där filerna skulle hanteras låg samt antalet utdata filer – simuleringar, se Bild O-1. Programmet ritar dessutom ett 3D stapeldiagram

med skadenivå för varje komponent i respektive scenario som redovisas i från kapitel 8 och framåt för varje scenario (se Figur 8-1, Figur 9-1, Figur 10-1, Figur 11-1, Figur 12-1, Figur 13-1 och Figur 14-1)

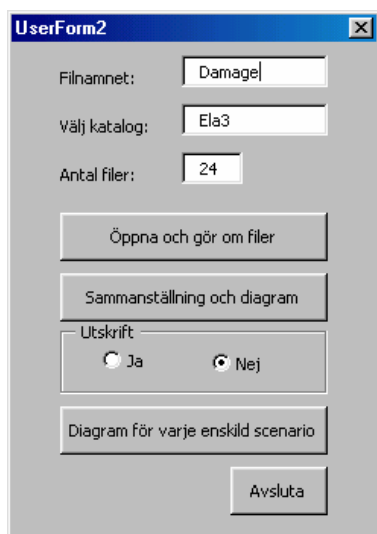


Bild O-1: Makroprogrammets användargränssnitt.

Utdata filerna döps av FREIA till Damage.nxp. Varje fil fick en siffra i slutet av namnet för att veta vilken simulering det var. I den första textrutan står namnet Damage. Programmet går igenom alla Damage-filer från t.ex. Damage1.nxp till Damage24.nxp i en så kallad "loop" och omvandlar de till excelfiler genom att trycka på "Öppna och gör om filer". I den andra textrutan skrivs namnet på den katalog där de ursprungliga resultatfilerna finns och där de Excel-filerna läggs. I tredje textrutan fylls antalet utdata filer som skall hanteras. Sammanställning till en slutlig resultatfil samt diagramframtagning görs då man trycker "Sammanställning och diagram". Om diagram för varje enskild scenario önskas samt utskrift av dessa skapas genom att välja alternativ knappen "Ja" i Utskrift-delen och trycka på "Diagram för varje enskild scenario" knappen. Programmet avslutas genom att trycka på "Avsluta" knappen.

Programmet är relativt generellt och med lite justeringar kan utnyttjas av andra användare för bearbetning av utdata filer från simuleringar i programmet FREIA. Nedan följer koden till programmet för att ge en bild av vad programmet gör i detalj. Programmet kan utvecklas och göras ännu mera generell så att alla ingångsvariabler kan definieras i början av användning som t.ex. antalet filer i programmets nuvarande form. Notera dock att indatafilerna som programmet söker efter här heter \*.txt inte damage.nxp som de döps till.

### O.3. PROGRAMKOD TILL HANTERINGSPROGRAM FÖR UTDATAFILER

Programkoden till utdatahanteringsprogrammet redovisas nedan för att visa algoritmens princip.

```
Dim iAntal_filer, N, iNextN As Integer
Dim sText, sPlats, sN, sNextN As String

Private Sub txtAntal_filer_Change()
```

```

    iAntal_filer = Val(txtAntal_filer)
End Sub

Private Sub cmdOpen_Click()
    'öppnar filen

    For N = 1 To iAntal_filer
        If N < 10 Then
            sN = Right$(Str(N), 1)
        Else
            sN = Right$(Str(N), 2)
        End If

        sText = "D:\Student\benomicke\Freia\" & txtDir & "\" & txtFil
& sN
        '        MsgBox sText & ".nxp"
        '        Workbooks.OpenText
        FileName:="D:\Student\Bi97\benomicke\Freiafiler\" & txtDir & "\" &
txtFil & sN " & ".nxp"
        Workbooks.OpenText FileName:=sText & ".nxp",
Origin:=xlWindows, _
        StartRow:=1, DataType:=xlDelimited,
TextQualifier:=xlDoubleQuote, _
        ConsecutiveDelimiter:=False, Tab:=True, Semicolon:=False,
Comma:=False _
        , Space:=False, Other:=True, OtherChar:="'",
FieldInfo:=Array(Array(1, _
1), Array(2, 1), Array(3, 1))

        'gör om filen till ren och snygg

        Range("A1").Select
        ActiveCell.FormulaR1C1 = "K1"
        Range("A2").Select
        ActiveCell.FormulaR1C1 = "K2"
        Range("A1:A2").Select
        Selection.AutoFill Destination:=Range("A1:A10")

        Range("B1:B10").Select
        Selection.Replace What:="%", Replacement:="", LookAt:=xlPart,
-
        SearchOrder:=xlByRows, MatchCase:=True
        Selection.NumberFormat = "0.0"

        'spara som xls_fil
        ActiveWorkbook.SaveAs FileName:=sText & ".xls"
    Next N
    cmdOpen.Enabled = False
End Sub

Private Sub cmdDiagram_Click()

    ChDir "D:\Student\benomicke\Freia\" & txtDir
    Workbooks.Add
    ActiveWorkbook.SaveAs FileName:=txtDir & ".xls"
    For N = 1 To iAntal_filer
        If N < 10 Then
            sN = Right$(Str(N), 1)
        Else
            sN = Right$(Str(N), 2)

```

```
End If

iNextN = N + 1
If iNextN < 10 Then
    sNextN = Right$(Str(iNextN), 1)
Else
    sNextN = Right$(Str(iNextN), 2)
End If
Windows(txtFil & sN & ".xls").Activate
Range("B1:B10").Select
Selection.Copy
Windows(txtDir & ".xls").Activate
Selection.PasteSpecial Paste:=xlAll, Operation:=xlNone,
SkipBlanks:=False _
    , Transpose:=True
Range("A" & sNextN).Select
Next N

Range("A1:J36").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Cut Destination:=Range("A2:J37")

Range("A1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "K1"
Range("B1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "K2"
Range("A1:B1").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("A1:J1"),
Type:=xlFillDefault

Range("A1:J37").Select
Selection.Cut Destination:=Range("B1:K37")
Range("A2").Select

Range("A2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "S1"
Range("A3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "S2"
Range("A2:A3").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("A2:A37")

Range("A1:K37").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xl3DColumn
ActiveChart.SetSourceData
Source:=Sheets("Blad1").Range("A1:K37"), PlotBy:= _
    xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:="Blad1"
With ActiveChart
    .HasTitle = True
    .ChartTitle.Characters.Text = "Damage - " & txtDir
    .Axes(xlCategory).HasTitle = False
    .Axes(xlSeries).HasTitle = False
    .Axes(xlValue).HasTitle = False
    .Location Where:=xlLocationAsNewSheet, Name:=txtDir
End With

ActiveChart.Axes(xlValue).Select
With ActiveChart.Axes(xlValue)
    .MinimumScale = 0
```

```

        .MaximumScale = 5
        .MinorUnitIsAuto = True
        .MajorUnit = 1
        .Crosses = xlAutomatic
        .ReversePlotOrder = False
        .ScaleType = xlLinear
    End With
    cmdDiagram.Enabled = False
End Sub

Private Sub cmdSepDiagr_Click()
    fraUtskrift.Enabled = False
    '*****
    For N = 1 To iAntal_filer
        If N < 10 Then
            sN = Right$(Str(N), 1)
        Else
            sN = Right$(Str(N), 2)
        End If

        iNextN = N + 1
        If iNextN < 10 Then
            sNextN = Right$(Str(iNextN), 1)
        Else
            sNextN = Right$(Str(iNextN), 2)
        End If

        Charts.Add
        ActiveChart.ChartType = xl3DColumnClustered
        ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Blad1").Range("A" &
sNextN & ":K" & sNextN), PlotBy:= _
            xlRows
        ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet,
Name:="Simulering" & sN
        With ActiveChart
            .HasTitle = True
            .ChartTitle.Characters.Text = "Scenario: " & txtDir & " -
" & "Simulering " & sN
            .Axes(xlCategory).HasTitle = True
            .Axes(xlCategory).AxisTitle.Characters.Text = "Komponent"
            .Axes(xlSeries).HasTitle = False
            .Axes(xlValue).HasTitle = True
            .Axes(xlValue).AxisTitle.Characters.Text = "Skadenivå"
        End With

        ActiveChart.Axes(xlValue).Select
        With ActiveChart.Axes(xlValue)
            .MinimumScale = 0
            .MaximumScale = 5
            .MinorUnitIsAuto = True
            .MajorUnitIsAuto = True
            .Crosses = xlAutomatic
            .ReversePlotOrder = False
            .ScaleType = xlLinear
        End With
        ActiveChart.ChartArea.Select

        If Not optNej Then
            ActiveWindow.SelectedSheets.PrintOut Copies:=1,
Collate:=True
        End If
    End For
End Sub

```

```
        Next N
        cmdSepDiagr.Enabled = False
End Sub
Private Sub cmdAvsluta_Click()
    End
End Sub

Private Sub UserForm_Activate()
    optNej = True
    iAntal_filer = Val(txtAntal_filer)
End Sub
```