



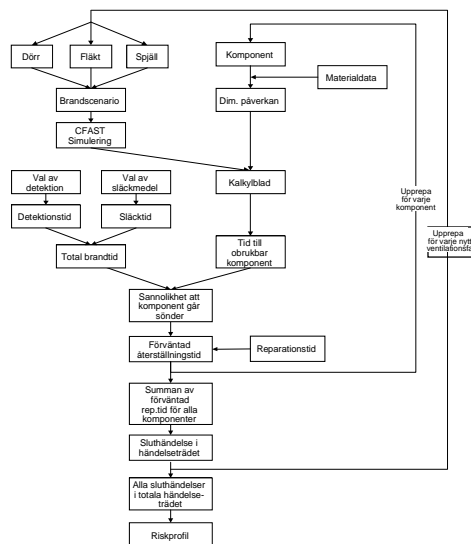
Brandingenjörslinjen
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

FMV



RISKANALYS OCH UTVÄRDERING AV DETEKTION- OCH SLÄCKSYSTEM

*EN SERVICEANLÄGGNING TILLHÖRANDE
JAS 39-GRIPEN*



Hösten 1997

Per Becker
Magnus Nilsson

Institutionen för brandteknik
Lunds tekniska högskola
Box 118
221 00 Lund

Department of Fire Safety Engineering
Lund Institute of Technology
Lund University
Box 118
S-221 00 Lund
Sweden

RISKANALYS OCH UTVÄRDERING AV DETEKTION- OCH SLÄCKSYSTEM

*EN SERVICEANLÄGGNING TILLHÖRANDE
JAS 39-GRIPEN*

RISKANALYSIS AND EVALUATION OF FIRE DETECTION- AND SUPPRESSION SYSTEMS

**A SERVICE FACILITY FOR
JAS 39-GRIPEN**

Per Becker
Magnus Nilsson

Brandingenjörslinjen vid Lunds tekniska högskola

Hösten 1997

ABSTRACT: A quantitative riskanalysis and a probabilistic uncertainty analysis of the fire protection for a military service facility. Using CFAST, heat transfer equations, various information on the geometry and contents of the facility, information about various fire detection- and suppression systems, and computer programs like @Risk® and PrecisionTree®.

KEYWORDS: Quantitative riskanalysis, uncertaintyanalysis, critical temperatures and energydoses, probability, consequence, fire, aircraft, airforce.

SAMMANFATTNING

Denna riskanalys utfördes för FMV, Försvarets Materielverk, i kursen Problembaserad Brandteknisk Riskhantering, 15 poäng, på brandingenjörslinjen vid Lunds tekniska högskola. Syftet med riskanalysen var att ge ett underlag för beslut av brandskyddsåtgärder för en serviceanläggning tillhörande flygplanet JAS 39-Gripen. Service-anläggningen är utformad som en container vars uppgift är att förse Gripen med konditionerad luft och elkraft då flygplanet är på marken. Beslutsunderlaget bygger på jämförelser av olika brandskyddsåtgärders effektivitet mätt i återställningstiden för brandskadad apparatur. Metodiken för att utföra denna jämförelse bygger på datorsimuleringar med hjälp av CFAST, värmetransportekvationer och osäkerhetsanalyser i @RISK. Indata i metoden har tagits efter en grundlig inventering av serviceanläggningen samt genom litteraturstudier. Risk-analysen begränsas av att endast brandrisken behandlas samt av att konsekvenserna av en utslagen serviceanläggning ej utreds. Metoden som används har ej verifierats med fullskaleförsök utan bygger helt på teoretiska beräkningar. Resultaten av riskanalysen presenteras som riskprofiler där olika kombinationer av detektion- och släcksystems effektivitet jämförs. Dessa riskprofiler kan utgöra underlag för besluts och slutsatser om lämpliga brandskydds-åtgärder. Slutsatserna är att endast vissa brandskyddsåtgärder är lämpade för att minimera återställningstiden efter brand och därigenom driftstoppen.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	8
1.1 BAKGRUND	8
1.2 SYFTE.....	8
1.3 METOD.....	8
1.4 AVGRÄNSNINGAR.....	8
1.5 TILLKÄNNAGIVANDEN.....	9
2. RAPPORTENS DISPOSITION	10
3. OBJEKTSBESKRIVNING	11
3.1 ALLMÄNT.....	11
3.2 DETALJER	13
3.2.1 Bränsletank	14
3.2.2 Elverk	14
3.2.3 Omformare	15
3.2.4 Luftkylighet	15
3.2.5 Luftbehandling	16
3.2.6 Apparatskåp	16
4. DRIFTSBESKRIVNING	17
4.1 ANVÄNDNING.....	17
4.2 VENTILATION	17
5. SKYDDSMÅL & SKADEKRITERIER	19
5.1 SKYDDSMÅL.....	19
5.1.1 Acceptabel skadenivå.....	19
5.1.2 Skyddsmål för människor	19
5.1.3 Skyddsmål för miljö.....	19
5.1.4 Skyddsmål för materiel & kostnader	20
5.1.5 Dimensionerande skyddsmål.....	20
5.2 OLIKA TYPER AV SKADEKRITERIER.....	20
5.2.1 Värmepåverkan	20
5.2.2 Tryckpåverkan.....	20
5.2.3 Brandgaspåverkan	21
5.2.4 Vattenskador	21
5.2.5 Dimensionerande skadekriterier	21
6. METODIK	22
6.1 SYFTE MED METODIKEN	22
6.2 BESKRIVNING AV METOD	22
6.2.1 Allmänt om metoden.....	22
6.2.2 CFAST.....	27
6.2.3 Materialdata.....	27
6.2.4 Kalkylprogram	27
6.2.5 Total brandtid	27
6.2.6 Förväntad återställningstid.....	28
6.2.7 Händelsesträd.....	28
6.2.8 Riskprofil.....	29
7. RISK	30
7.1 VAD ÄR RISK?	30

7.2 RISKIDENTIFIERING	30
7.2.1 Brand i dieselmotor.....	30
7.2.2 Läckage i dieseltank.....	30
7.2.3 Kabelbrand.....	30
7.2.4 Brand i luftkylenheten	31
7.2.5 Elfel i apparatskåp/omformare	31
7.3 SANNOLIKHETER	31
7.4 KONSEKVENSER.....	32
7.4.1 Dimensionerande brandscenario	32
7.4.2 Diskussion om övriga brandscenario.....	32
7.5 RISKREDUCERING.....	32
7.5.1 Underhåll	33
7.5.2 Detektion	33
7.5.3 Släckmedel	34
7.5.4 Sammanställning släckmedel	35
7.5.5 Slutsats släckmedel.....	36
8. RESULTAT	37
8.1.1 Allmänt.....	37
8.1.2 Alternativ.....	38
9. DISKUSSION & SLUTSATS.....	39
9.1 DISKUSSION	39
9.2 SLUTSATS.....	40
9.2.1 Skydd av containern i stort.....	40
9.2.2 Skydd av luftkylenheten.....	40
APPENDIX A	41
A1: CFAST	41
Begränsningar.....	41
Tvåzonsmodell.....	42
Enzonsmodell	42
A2: @RISK.....	44
Allmänt om programmet	44
Kort om fördelningar	44
A3: KALKYLPROGRAM.....	45
Allmänt.....	45
Skillnader mellan delmodellerna	47
Förklaring av huvudmodell.....	48
Ytemperatur.....	50
Brandgasernas emissivitet.....	52
Värmeövergångstal.....	52
Konvektiv del av förbränningen.....	53
Förklaring av plympåverkan.....	53
Osäkerhetsanalys	54
Resultat av kalkylprogram	54
APPENDIX B	55
B1: CFAST.....	55
Allmänna grundinställningar.....	55
Brand i dieselmotor.....	56
Brand i utspild diesel	57
Brand i kabel.....	58
Brand i luftkylenheten	59
B2: MATERIALDATA-SKADEKRITERIER	60

<i>Värmeupptagningsförmåga</i>	62
B3: KALKYLPROGRAM.....	63
<i>Indata</i>	63
B4: TOTAL BRANDTID.....	66
B5: ENSKILDA KOMPONENTERS ÅTERSTÄLLNINGSTID.....	68
B6: HÄNDELSETRÄD.....	70
<i>Användning vid hangar</i>	71
<i>Mobil användning</i>	72
<i>Brand i luftkylenheten</i>	73
B7: RISKPROFIL.....	74
<i>Användning vid hangar</i>	74
<i>Mobil användning</i>	74
<i>Brand i luftkylenheten</i>	75
APPENDIX C.....	76
SANNOLIKHETER.....	76
<i>Brand i dieselmotor</i>	76
<i>Läckage i dieseltank</i>	76
<i>Kabelbrand</i>	76
<i>Brand i LKE</i>	77
<i>Överhettning i apparatskåp</i>	77
<i>Kortslutning i omformare</i>	77
APPENDIX D.....	78
EFFEKT KONSTRUKTIONER.....	78
<i>Brand i dieselmotor</i>	78
<i>Brand i utspild diesel</i>	79
<i>Brand i kablar</i>	80
<i>Brand i LKE</i>	80
<i>Beräkningar</i>	82
APPENDIX E.....	84
VÄRMEDETEKTOR.....	84
RÖKDETEKTOR.....	84
FLAMDETEKTOR.....	84
GASDETEKTOR.....	85
APPENDIX F.....	86
KOMPRIMERADE GASER.....	86
KONDENSERADE GASER.....	86
HALON.....	87
HALOGENISERADE.....	87
PULVER.....	87
SKUM.....	88
VATTEN.....	88
APPENDIX G.....	90
KÄNSLIGHETSANALYS.....	90
<i>Dimensionerande brandscenario</i>	90
<i>Effektutveckling</i>	97
<i>Värmeövergångstal</i>	99
APPENDIX H.....	104

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

BERÄKNINGSEXEMPEL 104

REFERENSER..... 107

1. INLEDNING

Denna rapport är utförd på Brandingenjörslinjen vid Lunds Tekniska Högskola i kursen Problembaserad Brandteknisk Riskhantering, VBR 135, vilken är den avslutande kursen på utbildningen. Rapporten är beställd av Försvarets Materiel Verk

1.1 Bakgrund

Sveriges flygförband utgör ett hinder för en eventuell fiende och det är högst troligt att denne tidigt försöker åsamka så stor skada som möjligt mot flygvapnet i händelse av krig. Därför kommer flygvapnet vid en eventuell mobilisering att flytta sin verksamhet till särskilda krigsbaser som är utspridda över hela landet.

Det svenska systemet bygger på två principer:

1. Utspridning av flygplanen till många baser
2. Rörlighet för flygplan och klargöringsresurser inom basområdet

En krigsbas består av en stor huvudbana med bl a elektroniska landningshjälpmedel samt ett flertal mindre start- och landningsbanor. Mellan de olika banorna finns en mängd taxivägar med klargöringsplatser där flygplanen tankas och klargörs. Flygplanen kan efter klargöringen vara i luften på en minut efter order av stridsledningen.

Detta system ställer stora krav på serviceanläggningarna, vilka också måste vara mobila för att möta de principer som det svenska krigsbassystemet bygger på.

1.2 Syfte

Syftet med utredningen är att ge beslutsunderlag för val av fast installerade brandskyddsåtgärder för den nya serviceanläggningen tillhörande JAS 39-Gripen. I huvudsak jämförs olika tänkbara kombinationer av detektion- och släcksystem.

1.3 Metod

Efter inventering av serviceanläggningen samt efter grundliga litteraturstudier har en metod tagits fram för att bedöma olika brandskyddsåtgärders effektivitet, både i förhållande till varandra och till de krav som flygvapenledningen sätter upp tillsammans med säkerhetsansvarig på FMV.

För att jämföra olika brandskyddsåtgärder, t.ex. detektion- och släcksystem, togs de olika åtgärdernas tider fram för att återställa serviceanläggningen efter en eventuell brand. För att kunna göra detta användes bl.a. datorprogrammen CFAST, @RISK och PrecisionTree tillsammans med olika värmeledningsekvationer och andra handberäkningar.

Resultaten av jämförelserna presenterades som riskprofiler ifrån vilka beslutsunderlag dragits.

Åtgärdernas påverkan på människa/miljö togs också upp i utredningen.

1.4 Avgränsningar

Resultaten av följande utredning är endast applicerbara för dimensionering av brandskydd i serviceanläggningen tillhörande JAS 39-Gripen.

Analysen berör endast brand och de riskkällor som kan ge upphov till brand. Metoden som används har ej verifierats med fullskaleförsök utan bygger på teoretiska beräkningar.

Vid utformning av släcksystem har i rapporten endast hänsyn tagits till val av släckmedel, inte systemdimensionering.

Konsekvenserna av en, för flygvapnet, utslagen serviceanläggning utreds ej vidare i denna rapport.

1.5 Tillkännagivanden

Ett stort tack riktas härmed till vår handledare Johan Lundin, Institutionen för brandteknik LTH och till Pontus Nordberg, FMV, som gjort detta projekt möjligt.

För hjälp och bistånd med uppgifter tackas ansvariga hos underleverantörerna, Jan Blomkvist, Cerberus samt Göran Holmstedt, Lars-Göran Bengtsson, Håkan Frantzich, Björn Karlsson och Sven Erik Magnusson, institutionen för brandteknik, Lunds tekniska högskola. Ett särskilt stort tack riktas till Rune Öhman, ELEKTROMATIK Power Generation AB, för hans hjälpsamhet och engagemang. Tack även till Emma Lindström för hjälp med layout och språklig utformning.

2. RAPPORTENS DISPOSITION

<i>Kapitel 3, Objektsbeskrivning</i>	I detta kapitel ges en beskrivning av serviceanläggningen.
<i>Kapitel 4, Driftbeskrivning</i>	I detta kapitel ges en beskrivning hur serviceanläggningen används både i fred och i kris/krig.
<i>Kapitel 5, Skyddsmål</i>	Detta kapitel behandlar bl.a. allmänt olika skyddskriterier och hur de dimensionerande skyddsmålen och skadekriterierna tas fram.
<i>Kapitel 6, Metodik</i>	Här visas i stora drag hur den använda metoden fungerar.
<i>Kapitel 7, Risk</i>	I detta kapitel definieras begreppet risk. Tänkbara riskkällor identifieras. Kapitlet går också in på sannolikheter och konsekvenser av riskkällorna. Detta kapitel behandlar även hur riskerna för bränder kan reduceras.
<i>Kapitel 8, Resultat</i>	I resultatet ingår en allmän instruktion hur resultaten kan presenteras.
<i>Kapitel 9, Diskussion & Slutsats</i>	Här följer en diskussion och en slutsats om brandskyddsåtgärderna.
<i>Appendix A</i>	Detta appendix innehåller allmän information om olika program som används.
<i>Appendix B</i>	Detta appendix behandlar indatan som används i beräkningsgången.
<i>Appendix C</i>	Här visas hur sannolikheterna för de olika brandscenariorna tas fram.
<i>Appendix D</i>	I följande appendix visas hur de olika brandscenariornas effektutveckling tas fram.
<i>Appendix E</i>	I detta appendix beskrivs olika detektorer.
<i>Appendix F</i>	I följande appendix beskrivs olika släckmedel.
<i>Appendix G</i>	Här redovisas känslighetsanalyser mellan olika brandscenarion, effektutvecklingar och värmeövergångstal.
<i>Appendix H</i>	För att på ett enkelt sätt åskådliggöra hur beräkningsgången används följer i detta appendix ett beräkningsexempel.

3. OBJEKTSBESKRIVNING

I detta kapitel ges en beskrivning av serviceanläggningen. Kapitlet är uppdelat i två större delar. Den första delen beskriver anläggningens utseende i stora drag medan den andra delen ger en detaljbekrivning.

3.1 Allmänt

KRAGGCONT är en container som skall serva JAS 39 Gripen med konditionerad luft och kraft vid service och test på mark såväl i fred som i kris/krig. KRAGGCONT 037/039/T är framtagen av FMV, Försvarets Materiel Verk. Huvudleverantör är ELEKTROMATIK Power Generation AB.

Då KRAGGCONT måste vara mobil, förses containern med en rullflaksram vilket ger flexibilitet vid transport med lastväxlarbil.

Containern bygger på en standardcontainer, vilken är tillverkad av veckad stålplåt i väggar och tak. Golvet består av balkar belagda med durkplåt. Den är isolerad med mineralull och plåtbeklädd på insidan.

Containern är 6058 mm lång, 2438 mm bred och 2438 mm hög. Dess vikt är 9300 kg med möjlighet att lasta ytterligare 1200 kg vilket gör att den totala vikten kan uppgå till 10500 kg.

Containerns öppningar är försedda med gummilister, vilket gör att den blir så pass tät att ett undertryck bildas vid drift av luftbehandlingssystemet.



Figur 3.1. Framsida av container .

På framsidan finns bl.a. en gångdörr, luckor för bränslepump och tanklock, kontrollpanel samt anordningar för anslutning till yttre elnät och till flygplan vilket visas i *figur 3.1*.

Utrustningen kan manövreras från apparatskåpen som är placerade inne i containern, alternativt från den yttre kontrollpanelen. Vid fast användning i hangar sker driften genom fast installerade paneler inne i hangaren. De yttre manöverpanelerna skall enbart väljas när en första start har utförts på de inre panelerna och inga fel konstaterats.



Figur 3.2. Baksida av container

På baksidan finns en stor lucka som står öppen vid användning av luftkylheten, även kallad LKE. Luckan täcker luftintagen vid transport. På denna sida kommer även kondensvattnet ut från LKE:n. Se figur 3.2.



Figur 3.3. Höger gavel från framsidan sett.

På den högra gaveln enligt figur 3.3 finns ett luftintag försett med jalusispjäll. Detta är luftintaget till containerns luftbehandlingsystem.



Figur 3.4. Vänster gavel från framsidan sett.

På vänster gavel finns ett spjäll för elverkets frånluft samt en öppning för dieselmotorns avgaser. Denna sida har också spjäll för ventilationsfläkt. Se figur 3.4.

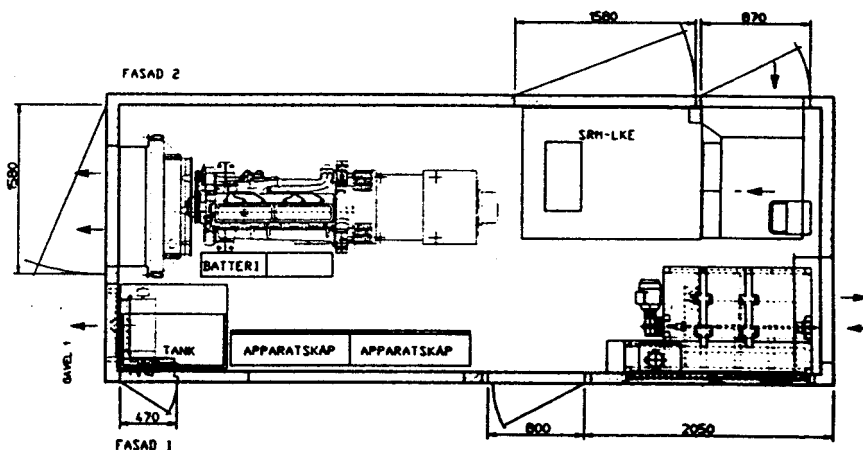
3.2 Detaljer

Containern innehåller i huvudsak:

- Bränsletank
- Elverk
- Omformare av elström
- Luftkylighet (LKE)
- Luftbehandling
- Apparatskåp för att styra processerna

Dess placering visas i figur 3.5.

Det finns även kabelstegar med kablar längs väggar och tak och ett filter för konditionerad luft innan den går ut till inkopplat flygplan. I en senare modell av containern finns en trumma för att leda ut frånluften från luftkylighetens kylsystem installerad. Detta sker för att lättare kunna hålla nere temperaturen inne i containern, då frånluften är varm.



Figur 3.5. Översikt av container utan ventilationstrumma sedd ovanifrån.

3.2.1 Bränsletank

Tankens uppgift är att förse elverket i containern med diesel så att elverket skall kunna förse containern med ström. Tanken är tillverkad av rostfri plåt och rymmer ca 200 liter. Påfyllning av bränsle sker utifrån antingen genom fast monterad handpump eller direkt påfyllning. Vid behov kan tanken tömmas, vilket också sker utifrån. Tankens utformning visas i *figur 3.6*.



Figur 3.6. Dieseltank

3.2.2 Elverk

Elverkets funktion är att förse containern med ström vid de tillfällen då containern ej är fast uppkopplad till elnätet och på så sätt kan försees med ström. Elverket är uppbyggt av en Scania-motor (DS 11.68 A) och en Stamfordgenerator, *se figur 3.7*. Den är vattenkyld med remdriven kylfläkt med en kapacitet på 17000 m³/h.

Motorn är en 6-cylindrig fyrtaktsdieselmotor med turbokompressor och startas med hjälp av startmotor och två st seriekopplade blyackumulatörer som tillsammans ger 24 V.

Generatoren är en permanentmagnetgenerator som ger 400 V mellan faserna och 230 V mellan fas och nolla. Strömmen som ges är 361 A.

Elverket används normalt inte i anslutning till hangar då direkt uppkoppling till elnät är möjlig.



Figur 3.7. Elverk

3.2.3 Omformare

Omformaren transformerar 400 V, 50 Hz till 115 V, 400 Hz för att kunna leverera kraften till flygplanet.

Omformaren är av roterande modell. Detta innebär att den är uppbyggd av en 3-fas elmotor vilken driver en generator. Den kan både anslutas till elverket eller yttre nät. I *figur 3.8* visas närmare omformarens utseende i containern.



Figur 3.8. Omformare

3.2.4 Luftkylighet

Luftkylighetens uppgift är att leverera konditionerad luft till inkopplat flygplan. Luften som levereras skall ha en temperatur på 5 °C.

Luftkyligheten är i stort uppbyggd av två kompressorer, huvudkylare, sekundärkylare, expander, vattenfilter och droppnät. Den består också av ett smörj- och drivsystem. Luftkylighetens uppbyggnad visas i *figur 3.9*.

Då LKE:n är i drift utvecklas mycket värme. För att kyla LKE:n används fläktar, vilka har en kapacitet på 12000-14000 m³/h.



Figur 3.9. Luftkyligheten.

3.2.5 Luftbehandling

Inne i containern har det installerats ett luftbehandlingssystem för att temperaturen skall hålla sig någorlunda stabil omkring 20 °C i containern. Hela luftbehandlingssystemet är termostatstyrt vilket ger att när den förutbestämda temperaturen överskrids så startar fläkten och spjällen öppnas successivt. Om temperaturen är för låg startar luftvärmarna.

Luftbehandlingssystemet är uppbyggt av en fläkt, 3000 m³/h, tre jalousispjäll med spjällmotorer, två luftvärmare, två reglerenheter och två intagsfilter.

Jalousispjällen öppnas med motorer men kan stängas både m.h.a. motorerna eller helt mekaniskt.

3.2.6 Apparatskåp

Det finns fyra stycken apparatskåp i containern. I dessa finns all elektronik vilka styr processerna inne i containern.

Elektroniken finns i två stycken tvådörrarskåp och på utsidan av dessa finns apparatur för att kunna göra nödvändiga avläsningar.

I figur 3.10 visas en bild över samtliga apparatskåp. Ordningen på skåpen följer nedan från vänster till höger.



Figur 3.10. Apparatskåp

Apparatskåp för G/NÄT

Detta skåp är ena halvan av ett tvådörrarskåp. Dess funktion är att ha hand om kraftfördelning till övriga skåp samt att möjliggöra inkoppling till yttre elnät. Detta skåp inhyser även avsäkringar till övriga skåp och gemensam apparatur.

Apparatskåp för Elverk

Det här skåpet utgör den andra halvan av G/NÄT skåpet. Det innehåller bl.a. en kontrollenhet för generatoren och ett antal hjälpreläer. På skåpsdörren erhålls diverse information som t.ex. generatorspänning, ström, bränslenivåer mm.

Apparatskåp för LKE

Apparatskåpet är av samma modell som det tidigare, d.v.s. tvådelat. Denna del innehåller apparatur som styr och övervakar luftkylningen, vilket till stor del sker med hjälp av en mikro-processor monterad i skåpsdörren. På utsidan av skåpsdörren redovisas tryck och temperatur på luften i processen.

Apparatskåp för omformare

Andra delen av skåpet har hand om styrningen av från omformaren levererad elkraft. På skåpsdörren finns apparatur vilka visar avgiven spänning, frekvens och ström.

4. DRIFTSBESKRIVNING

Containern är framtagen för att både fungera i fred och kris/krig. Det som skiljer de två tillstånden åt är hur anläggningen används vilket närmare kommer att beskrivas i detta kapitel. Senare i kapitlet belyses även ventilationen eftersom den är beroende av hur containern används.

4.1 Användning

I fred är anläggningen nästan uteslutande fast uppkopplad vid en hangar vilket innebär att en fast anslutning till elnätet är tillgängligt. Detta medför att elverket ej behöver användas utan att containerns huvudsakliga uppgifter är att transformera om elkraften från elnätet samt ta fram konditionerad luft och leverera dessa till flygplanet.

I krig/kris är användningen av containern helt annorlunda än i fred. Den svenska modellen för flygvapnet i krig bygger på stor rörlighet och flexibilitet. Det medför att stora krav på mobilitet även ställs på serviceanläggningen. Vid tillfälle då anslutning till elnätet ej är möjlig, försörjs anläggningen och i förlängningen även flygplanet av det inbyggda elverket istället för av elnätet.

Då elverket används, i regel vid mobil användning, krävs kylning av dieselmotorn vilket medför att ventilationsflödet genom containern ökar.

4.2 Ventilation

Containern används på olika sett. Dessa kräver olika mycket ventilation beroende på hur apparaturen används och vilket värmeöverskott som då måste ventileras bort.

Ventilationsflödena genom huvuddelen av containern är också beroende av om det finns en trumma för att leda bort frånluften från luftkylenshetens kylsystem i anslutning till luftkylensheten eller ej. Denna trumma finns installerad på nyare versioner av serviceanläggningen då det på äldre modeller var svårt att hålla nere temperaturen i containern på grund av det stora värmetilskottet från luftkylensheten.

Andra parametrar som påverkar ventilationen är hur containern används och var den står.

Det finns tre olika typer av fläktar i containern, fläkt till luftkylensheten (12000-14000m³/h), kylfläkt till dieselmotorn (17000m³/h) och en termostatstyrd evakueringsfläkt (3000m³/h). En översikt av ventilationsflödena återfinns i *figur 4.1*.

Dieselmotorns kylfläkt är direkt kopplad till motorn och kan endast utnyttjas när den är i drift. När dieselmotorn är i bruk används inte evakueringsfläkten eftersom tillräcklig ventilation redan erhålles.

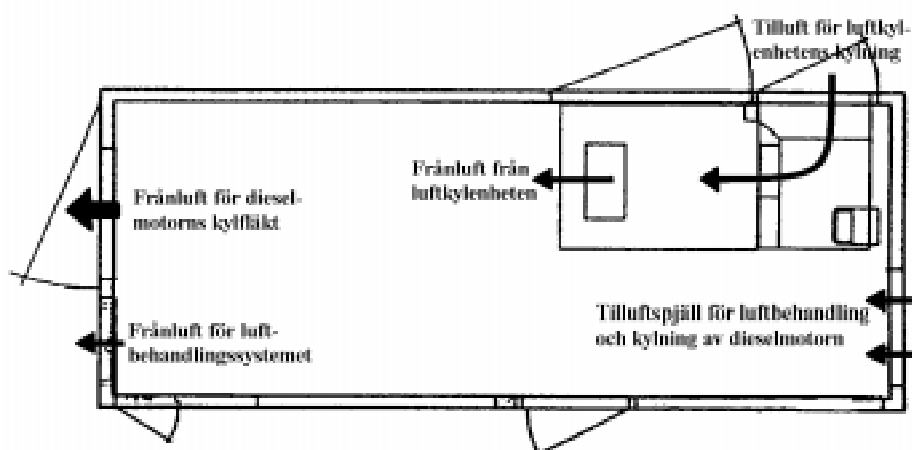
När containern är ute i fält och står på en lastväxlarbil är dieselmotorn igång vid drift. Detta på grund av att elverket krävs för att driva serviceanläggningen samt att leverera kraft till inkopplat flygplan. Då är dieselfläkten och LKE fläkten igång och kan ge flöden upp till 31000m³/h.

Om containern skulle vara av den nyare modellen installerad med en trumma för luftkylenshetens frånluft så sjunker flödet till 17000m³/h eftersom kyl luften från luftkylensheten leds ut utan att påverka containern.

När containern står i direkt anslutning till en hangar tas kraften direkt från elnätet, vilket gör att fläkten till dieselmotorn är avstängd. I detta fall är endast fläkten till luftkylensheten och evakuerings-fläkten verksamma. och flödet genom containern blir maximalt 17000m³/h. När en trumma är kopplad till luftkylensheten leds all frånluft genom den och kommer således inte ut i containern vilket gör att genomströmningen minskar till 3000m³/h.

Spjällen i containerns väggar är termostatstyrda vilket gör att de öppnas successivt när den förutbestämda temperaturen överskrids.

Den kraftiga kylfläkten till dieselmotorn är installerad med ett litet avstånd till tillhörande spjäll för att fläkten skall kunna vara på även då spjällen är stängda.



Figur 4.1. Översikt av ventilationsflöden i containern.

För att se hur resultatet av de utvalda brandscenarierna beror av ventilationen kommer följande ventilationsfall undersökas vilka redovisas i *tabell 4.1*.

Ventilaionsfall i containern	Kommentar
1. Spjällen och dörren stängda samt fläktarna avstängda.	Detta fall kan inte inträffa i scenariot med brand i dieselmotorn då dess kylfläkt alltid är på vid drift, vilket är ett krav för att leveransen av bränslet skall fortgå.
2. Spjällen och dörren stängda men fläktarna påslagna.	I detta scenario antas brandgaserna röras om av lufrörelserna så att en enda temperaturzon bildas.
3. Spjällen stängda men dörren öppen. Fläktarna avstängda.	Detta fall kan inte inträffa i scenariot med brand i dieselmotorn då dess kylfläkt alltid är på vid drift, vilket är ett krav för att leveransen av bränslet skall fortgå.
4. Spjällen stängda men dörren öppen. Fläktarna påslagna.	I detta scenario antas brandgaserna röras om av lufrörelserna så att en enda temperaturzon bildas.
5. Spjällen öppna men dörren stängd. Fläktarna påslagna.	I ventilationfall 5-8 måste ventilationsflödet genom containern beaktas. I de fall ventilationsflödet är större än flödet i brandgasplymen så antas hela plymen riktas ut genom ventilationsöppningarna.
6. Spjällen och dörren öppna och fläktarna påslagna.	För kommentar se ovan.
7. Spjällen öppna men dörren stängd. Fläktarna påslagna och trumman för luftkyl-enhetens frånluft installerad.	För kommentar se ovan.
8. Spjällen och dörren öppna och fläktarna påslagna. Trumman för luftkyl-enhetens frånluft installerad.	För kommentar se ovan.
Ventilationsfall i luftkyl-enheten	Kommentar
1. Kylfläkten påslagen	I de fall ventilationsflödet är större än flödet i brandgasplymen så antas hela plymen riktas ut genom ventilationsöppningarna.
2. Kylfläkten avslagen	-

Tabell 4.1. Presentation av de olika ventilationsfallen inne i containern.

5. SKYDDSMÅL & SKADEKRITERIER

I detta kapitel behandlas och bestäms skyddsmål och skadekriterier för containern.

5.1 Skyddsmål

För att kunna dimensionera brandskyddet i form av ett fast installerat och automatiskt detektion- och släcksystem måste först ett skyddsmål definieras. Det kan generellt bestämmas genom svaren på följande frågor:

1. Vad skall skyddas ?
2. Vilka riskkällor med avseende på brand innefattar objektet ?
3. Hur stora skador kan accepteras ?
4. Efter hur stor brandpåverkan erhålls dessa skador ?
5. Inom vilken tid måste branden bekämpas för att den kritiska brandpåverkan ej skall uppnås ?
6. Hur skall brandskyddet utformas för att uppfylla den kritiska tiden för släckning ?

5.1.1 Acceptabel skadenivå

Skyddsmålet grundar sig på den acceptabla skadenivån, vilken i sin tur baseras på beställarens krav på driftsäkerhet och vilka konsekvenser en störning kan leda till. Kraven på anläggningens driftsäkerhet beslutas av säkerhetsansvarig på FMV samt av Flygvapenledningen. Denna utredning undersöker dock ej konsekvenserna av ett driftstopp.

Den acceptabla skadenivån är den skada som kan återställas inom en utsatt tid. Då tiden ej är bestämd kan denna utredning endast fungera som underlag för dimensionering av anläggningens brandskydd och därigenom även driftsäkerhet.

5.1.2 Skyddsmål för människor

Den enda gången som personer skall befinna sig inne i containern är vid den dagliga tillsynen. Den dagliga tillsynen innebär att anläggningens funktion kontrolleras före drift vilket anses ta mellan fem och femton minuter. Således kommer anläggningen vara obemannad under den största delen av dygnet, vilket gör att skyddskriterier för människors säkerhet inte kommer att användas för att dimensionera brandsäkerheten på anläggningen. Alltså kommer ej aspekter angående till exempel brandgaslagrets höjd över golvet samt strålning- och värmepåverkan på människor att beaktas.

Om släckmedel med toxiska effekter på människor används bör det dock finnas tillräcklig tid för utrymning innan släcksystem med dessa släckmedel aktiveras. Dock behövs det ej ta någon hänsyn till brandgasernas toxicitet och eller värmepåverkan på människor.

5.1.3 Skyddsmål för miljö

Brandgasernas samt släckmedlets huvudsakliga påverkan på miljön är dess bidrag till ökad växthuseffekt, Globing Warming Potential och/eller dess ozonnedbrytande effekt, Ozone Depletion Potential. Vid val av släckmedel i containern tas deras ozonnedbrytande effekt i beaktning, då vissa lagstadgade regler måste efterföljas.

Mark och vatten påverkas inte i lika stor grad. Dock vid de tillfällen då containern ej står i direkt anslutning till hangar kan dess placering vara av stor betydelse för miljön. Speciellt gäller detta vid användning av skum och pulver, vilka kan ge skada på mark och vatten om sanering ej sker efter brand. Vid brand bildas nedbrytningsprodukter som även de kan, med vatten som bärare, förgifta mark och vattentäkter. Den akuta miljöförstörelsen är dock när branden sprider sig i omgivningen.

5.1.4 Skyddsmål för materiel & kostnader

Vid dimensionering av brandskydd eftersträvas åtgärder för att undvika eller minimera skador på anläggningen och på komponenterna i den. Detta är framförallt på grund av två anledningar, nämligen att minimera kostnaderna av driftstopp och materialskador samt att minimera de övriga konsekvenserna av ett driftstopp, som t.ex. förlust av marknadsandelar och i detta fall underhållsberedskap för flygvapnet.

Kostnaden av en eventuell brand är kopplad till antalet skadade komponenter enligt sambandet att: ju längre brandförlopp desto större sannolikhet att fler komponenter blir obrukbara, vilket i sin tur ger högre kostnader. Kostnaderna är dock ej av avgörande betydelse och lämnas därför därhän.

5.1.5 Dimensionerande skyddsmål

Vårt dimensionerande skyddsmål är att i första hand minimera eventuella driftsstopp som kan uppkomma efter en brand i anläggningen. I andra hand tas även hänsyn till skyddsmålen för människor och miljö vid utredning av släckmedlen.

5.2 Olika typer av skadekriterier

Det dimensionerande skyddsmålet är att minimera förväntat driftstopp till följd av brand, vilket beror av vilka och hur många komponenter som skadats och tiden det tar att reparera dessa. Detta ger att de intressanta skadekriterierna berör materialskador.

Containern rymmer en mängd komponenter av olika material. Dessa har varierande känslighet för yttre påverkan. Nedan ges en beskrivning hur material kan komma att påverkas då den blir utsatt för värme, tryck, brandgaser och vatten. I slutet av kapitlet väljs även dimensionerande skadekriterier ut.

5.2.1 Värmepåverkan

Genom värmepåverkan deformeras material och spänningar uppstår på olika längdutvidgningsförmåga vid olika temperaturer. Det är svårt uppskatta skadenivån på materialen i containern eftersom det endast finns ringa information att tillgå när materialen blir obrukbara på grund av värme. För att utföra beräkningar av värmetransport till och in i komponenter krävs komplexa och avancerade beräkningsmodeller, vilka redovisas i *appendix A3*.

Vid brand påverkas plastmaterial långt tidigare än metaller. Därför är det mer intressant att koncentrera sig på de kritiska nivåer då till exempel kablar, elektronik och reglage blir obrukbara i containern, än när motorer och övriga metallkonstruktioner demoleras. Dock om brand uppkommer i dessa konstruktioner kommer de givetvis att ta skada och kräva reparationer.

Skador på det brinnande objektet är mycket svåra att förutsäga. Det värsta som kan hända är att hela eller delar av objektet får bytas ut. Det viktiga är då att släcka branden innan irreversibla skador uppkommer på omkringliggande utrustning.

5.2.2 Tryckpåverkan

Då ett släckmedelssystem utlöses kommer stora släckmedelsvolymmer ut under en kort tidsperiod vilket ger en tryckökning i containern och kan leda till skador på tryckkänslig apparatur och ibland även på containern i stort. För att undgå detta problem används tryckavlastningsluckor. Om vattendimma används i ett slutet rum kan istället en trycksänkning ske p.g.a. nedkylning av rumsluften vilket kan leda till tryckskador.¹

¹ Seiman Matti et.al., *Halonersättning vid provplats FMV:ProvFFK*, 1996

5.2.3 Brandgaspåverkan

Vid brand i vissa material samt vid användning av vissa släckmedel uppkommer vätehalogenoider som verkar korroderande på utrustning. Uppgifter på hur lång tid samt hur stora koncentrationer som behövs innan komponenter tar skada är begränsade. Det är också svårt att bestämma mängden som bildas.

Efter en exponering av brandgaser blir förekomsten av klorider normalt styrande för vilka åtgärder som måste vidtas. Orsaken är att det är vanligare med klor än andra halogener i material. Alltså bildas klorvätesyra i betydligt större kvantiteter än andra syror och därmed leder den till de allvarligaste skadorna ¹. Vätekloriden som frigörs vid brand förenar sig med vatten från brandgaserna och släck-vattnet och ger då saltsyra.

Den kunskap som idag finns beträffande skador på datorsystem och annan elektronik efter exponering mot brandgaser och/eller släckmedel innehållande halogenföreningar är begränsad.

Många av komponenterna i containern är väl inkapslade, i apparatskåp och dylikt, och kan därför sannolikt saneras med gott resultat. Andra komponenter kan däremot ta skada av brandgaserna och det är därför bättre att byta ut dessa än att försöka göra en sanering.

Om en dator i containern blir skadad vid en brand och måste saneras kan en förhöjd felfrekvens uppkomma när datorn åter tas i drift. En tumregel för återanvändning av elektronik är att maximal mängd HCl på elektronikytorna får vara 35 µg/cm². ¹

5.2.4 Vattenskador

Containern innehåller mycket elektronik. Om vatten används för att släcka en brand är det viktigt, innan påföring börjar, att elektronikens känslighet för vatten kontrolleras samt att utrustningen görs strömlös. Det sista gäller speciellt vid högspänning.

5.2.5 Dimensionerande skadekriterier

Då det dimensionerande skyddsmålet är att minimera förväntat driftsstopp till följd av brand, vilka till stor del beror av mängden komponenter och utrustning som blivit obrukbar, kommer dimensionerande skadekriterier att behandla enskilda komponenters känslighet.

De mest akuta skadorna på komponenterna uppkommer vid värmepåverkan, vilket kommer att vara den dimensionerande parametern för bestämning när komponenterna blir obrukbara eller ej. För aktuella skadekriterier på olika material och komponenter se *appendix B2*.

¹ Arvidsson, Tommy, *Brandgasers och släckmedels verkan på datorsystem*, Stockholm, 1986

6. METODIK

I detta kapitel kommer arbetsgången som använts i projektarbetet att beskrivas.

6.1 Syfte med metodiken

Det dimensionerande skyddsmålet som beskrivits i *kapitel 5.1.5* är att minimera ett eventuellt driftstopp som uppkommer efter en brand. Driftstoppets längd är beroende av skadan på komponenterna i containern.

Syftet med metodiken är alltså att kunna bedöma när en komponent blir obrukbar samt tiden det tar att återställa den. Därigenom kan jämförelser mellan olika brandskyddsåtgärder utföras med avseende på den totala återställningstiden för containern.

6.2 Beskrivning av metod

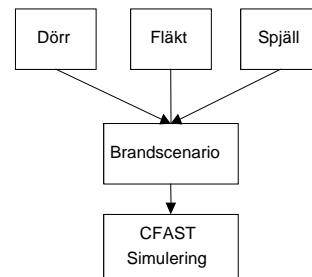
I detta kapitel följer en allmän beskrivning av metodiken samt av viktiga delar i beräkningsproceduren, vilken presenteras i sin helhet i *figur 6.5*.

6.2.1 Allmänt om metoden

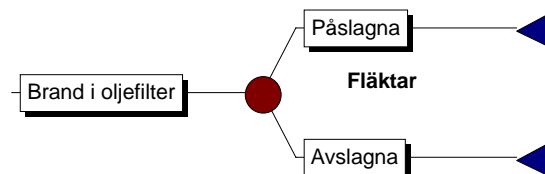
Metoden går ut på att ta fram en jämförelse mellan olika detektion- och släcksystem vid en bestämd brand. Denna jämförelse görs med hjälp av riskprofiler, vilka ligger till grund för det beslutsunderlag som behandlar brandskyddet i containern. Nedan följer en instruktion hur metoden används, steg för steg. Närmare förklaring till använda program och begrepp redovisas i *kapitel 6.2.2-6.2.8*.

Steg 1. Identifiera och välj ut relevanta bränder. Genom känslighetsanalyser bestäms dimensionerande brand. Känslighetsanalyser redovisas i *appendix G*. Utifrån dimensionerande brand utvärderas olika detektion- och släcksystemkombinationer.

Steg 2. Definiera möjliga dimensionerande brandscenarier och utför simuleringar för dessa m.h.a. datorprogrammet CFAST där brandförloppet utvärderas.



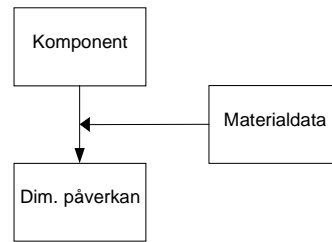
Steg 3



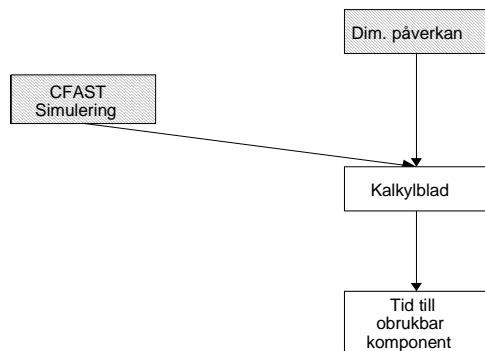
Figur 6.1. Händelsetråd med brandscenarier. Generell figur.

Sätt in dimensionerande brandscenario i ett händelsetråd enligt *figur 6.1*.

Steg 4. Studera förutsättningarna som råder vid dimensionerande brandscenarier. Ta fram relevant materialdata och kritiska nivåer av påverkan för utvalda komponenter som anses vara kritiska för anläggningens drift. De komponenter som väljs ut beror av vilken information som finns att tillgå. Urvalet kan antingen ske genom hur pass snabbt komponenter påverkas av värme och/eller av komponenters känslighet för fortsatt drift av anläggningen.



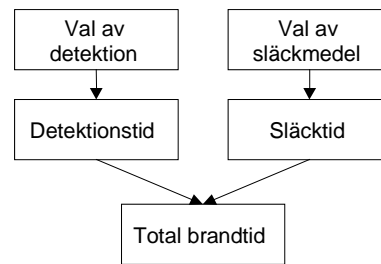
Steg 5. Samla resultaten från CFAST-simuleringarna tillsammans med materialdata, containerns geometri, ventilationsflöde, flammans position och dimension. i ett kalkylprogram.



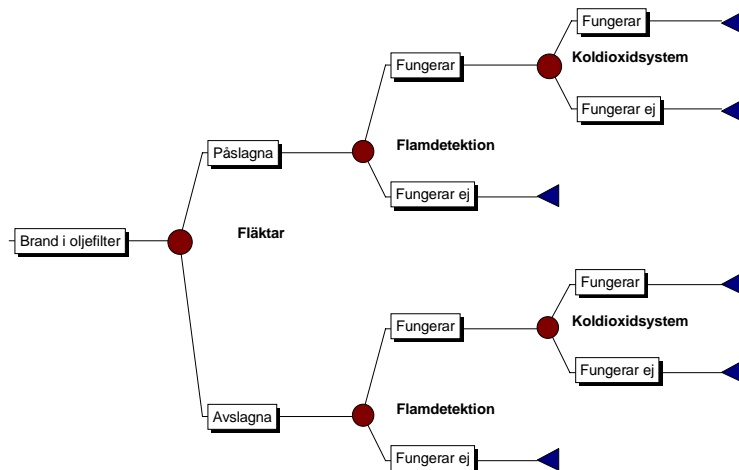
Steg 6. Kalkylprogrammet är uppbyggt av bl.a. värmetransportekvationer. Om osäkerheter finns i datan i steg 5 utförs en osäkerhetsanalys i datorprogrammet @RISK för att bestämma den totala osäkerheten i ekvationerna.

Från kalkylprogrammet erhålls tiden det tar tills komponenten når den kritiska nivån på påverkan som bestäms i *steg 4*.

Steg 7. En bedömning av olika kombinationer av detektion- och släcksystem utförs för de dimensionerande brandscenarierna. Aktiverings respektive inerteringstider utgör tillsammans den totala brandtiden. Total brandtid bestäms för varje kombination av brandskyddssystem för det aktuella brandscenariot. Med hjälp av @RISK utförs osäkerhetsanalyser då den totala brandtiden är osäker.



Steg 8.

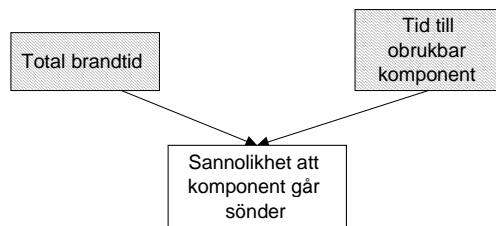


Figur 6.2. Utökat händelseträd med detektion- och släcksystem.

Komplettera händelseträdet med detektion- och släcksystem enligt figur 6.2. För varje brandskyddskombination konstrueras ett händelseträd.

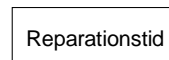
Steg 9.

För varje komponent undersöks sannolikheten för att den totala brandtiden är mindre än tidpunkten då en komponent antas bli obrukbar. Därmed erhålls sannolikheten för att komponenten går sönder vid användning av de olika detektion- och släcksystemen, enligt figur 6.6.



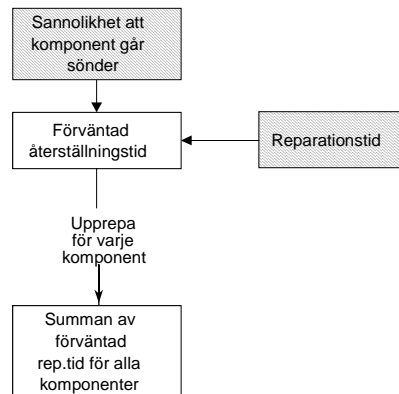
Steg 10.

Ta reda på hur lång tid det tar att byta ut eller reparera de olika komponenterna.



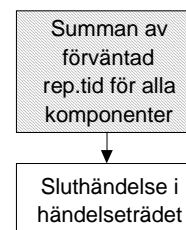
Steg 11.

Multiplicera sedan reparationstiderna med sannolikheterna för att de enskilda komponenterna går sönder. Summera dessa produkter för att få ut den totala förväntade återställningstiden för containern i det utvalda scenariet. De komponenter som ej påverkas av brandscenariot ger således inget bidrag till den totala återställningstiden.

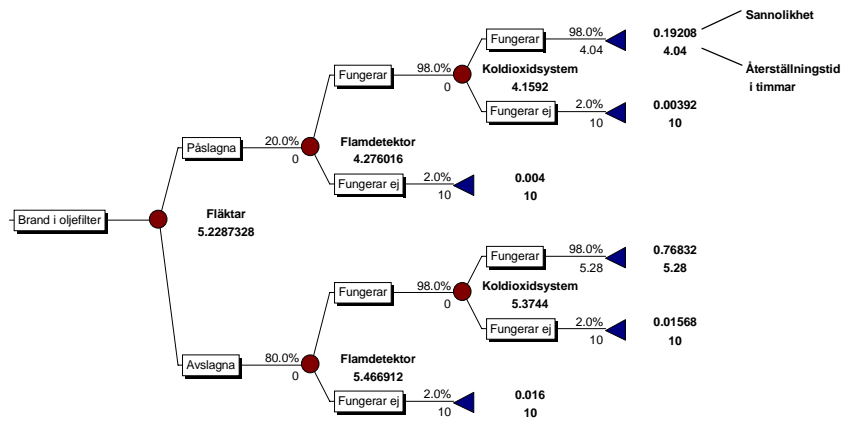


Steg 12.

För in de totala förväntade återställningstiderna för alla olika sluthändelser i händelseträdet, vilket visar alla möjliga sluthändelser som en enstaka initierande händelse kan mynna ut i enligt figur 6.3.



Steg 13.



Figur 6.3. Fullständigt händelsetråd.

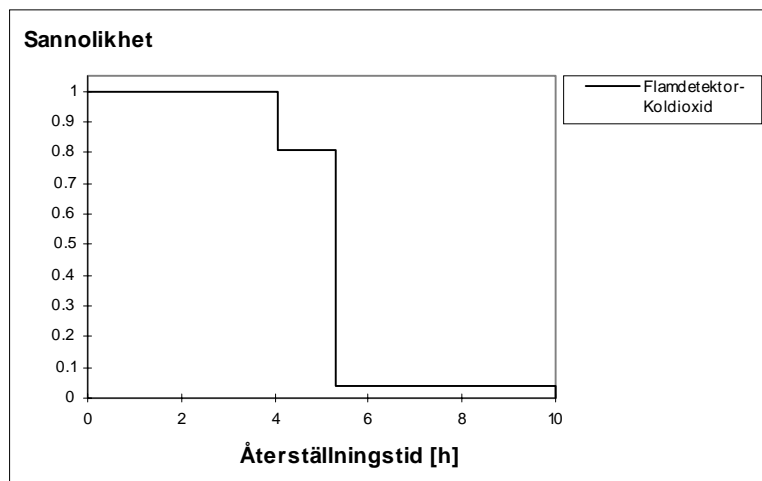
Den totala återställningstiden och sannolikheterna förs in i händelsetrådet.

Steg 14.

För att jämföra risknivån vid användning av olika kombinationer av detektion- och släcksystem tas riskprofiler fram med hjälp av händelseträden. Varje brandskyddskombination ger alltså en riskprofil. Riskprofilen ger information om sannolikheten för återställningstiden vid ett brandskydd är längre än en godtyckligt vald återställningstid, se figur 6.4.

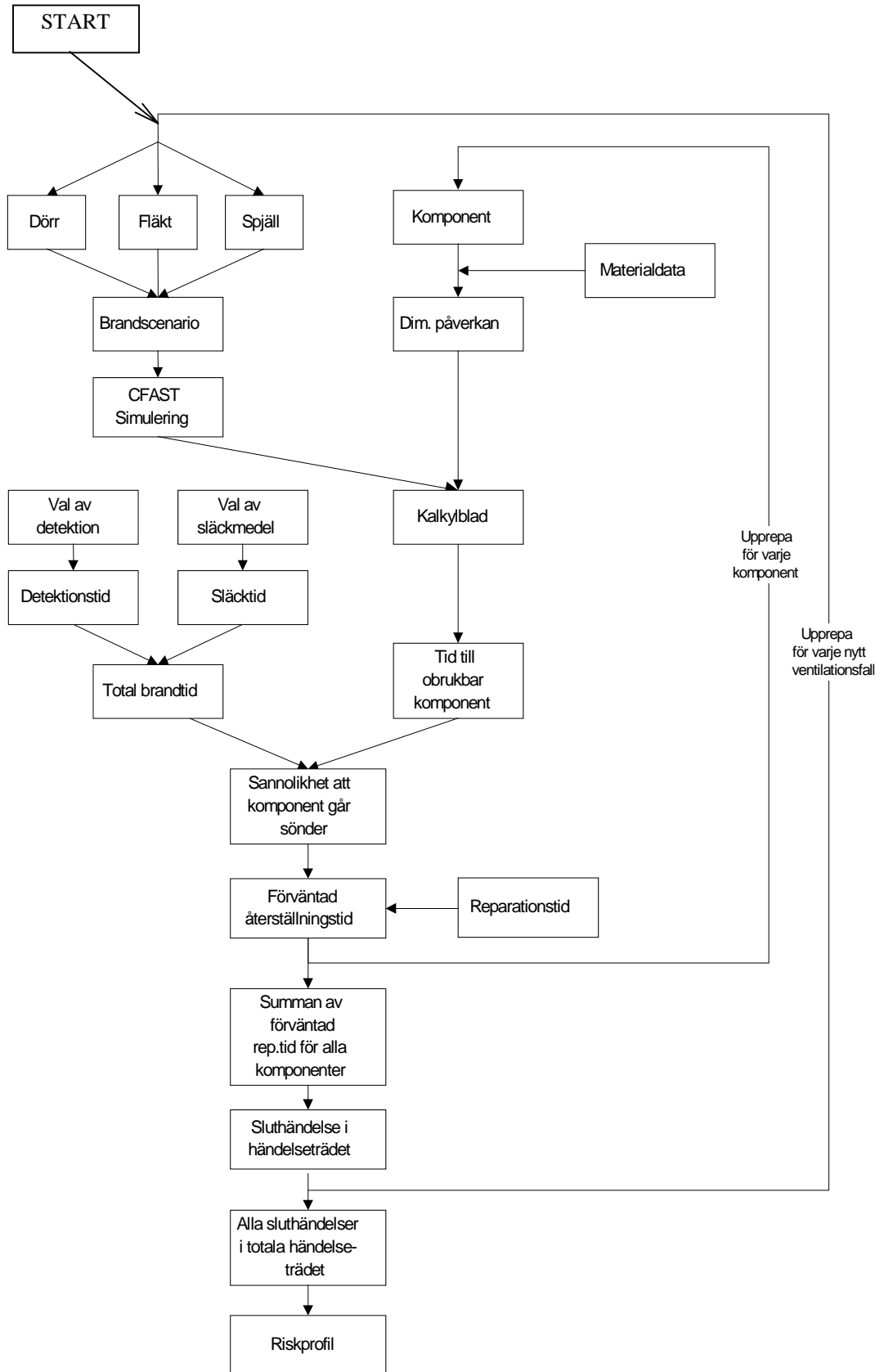


Steg 15.



Figur 6.4. Riskprofil för kombinationen flamdetektor och koldioxidsystem.

I Figur 6.4 kan det utläsas att det är bättre att riskprofilen är koncentrerad i det nedre vänstra hörnet där både sannolikheten och konsekvensen är liten. Genom samma resonemang är det således sämre om riskprofilen ligger uppe i det högra hörnet.



Figur 6.5. Beräkningsgång för sluhändelser i händelsetråd.

I följande avsnitt beskrivs närmare ett urval av de begrepp som ingår i *figur 6.5. Beräkningsgång för sluthändelser i händelseträdet*.

6.2.2 CFAST

CFAST är ett program som kan användas för att simulera effekterna av ett specificerat brandförlopp. Här igenom erhålls uppgifter angående bl.a. temperaturer och brandgasmängd i brandrummet. För närmare information angående vilka grundinställningar och indata som används i CFAST, se *appendix B1*.

CFAST är en del av HAZARD I, vilket är ett amerikanskt programpaket framtaget av National Institute of Standards and Technology, Washington DC. CFAST beskrivs närmare i *appendix A1*.

6.2.3 Materialdata

För varje komponent i containern som kan antas gå sönder vid en brand har materialdata som beskriver komponentens känslighet tagits fram. Intressant materialdata är även värmeupptagningsförmåga, kpc , vilken behövs för att bedöma värmeflödet in i komponenterna. Yttemperaturen är ofta den parameter som gör att komponenten går sönder. En annan dimensionerande skadekriterie, som används för att bedöma när elektronik blir obrukbar, är infallande energidosis. Begreppet energidosis definieras i *appendix A3*. De materialdata som används återfinns i *appendix B2*.

6.2.4 Kalkylprogram

Materialdata och utdata från CFAST används i ett kalkylprogram vilket ger tiden till att komponenten går sönder. Kalkylprogrammet är uppbyggt i @RISK, vilket är en utbyggnad av Microsoft Excel. Beskrivning av datorprogrammet @RISK finns i *appendix A2*. Kalkylprogrammet bygger bl.a. på olika värmetransportekvationer där osäker indata undersöks genom grundliga osäkerhetsanalyser, vilket beskrivs närmare i *appendix A3*. Variabler som innehåller osäkerheter kan beskrivas som fördelningar med hjälp av täthetsfunktion (PDF), fördelningsfunktion (CDF) eller en komplementär fördelningsfunktion (CCDF).¹ Exempel på en täthetsfunktion finns i *figur A.3*, i *appendix A*.

I *appendix B3* ges information om erforderad indata som behövs till kalkylprogrammet.

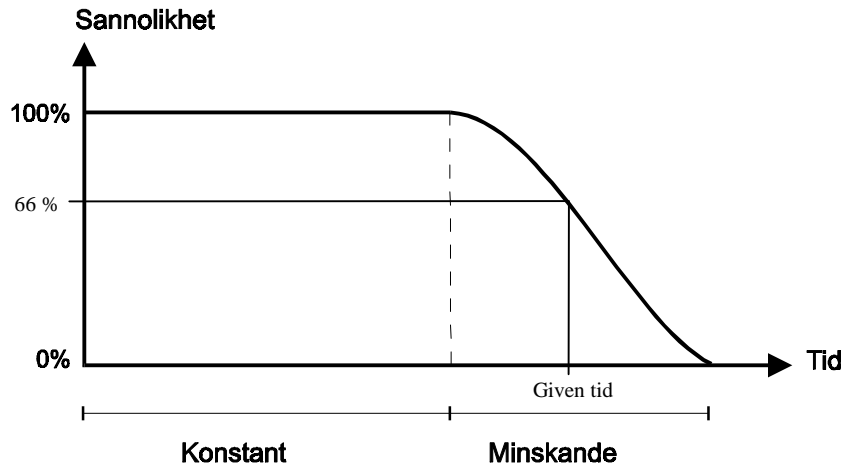
6.2.5 Total brandtid

För att beräkna den totala brandtiden har de olika detektions- och släcksystemens tider till aktivering resp. inertiering antagits. Summan av dessa tider samt tider för utrullning och utrymning kallas för total brandtid, vilket även beskrivs i *appendix B4*. På grund av att det finns stora osäkerheter i dessa tider utförs osäkerhetsanalyser med hjälp av @RISK.

I @RISK Monte Carlo-simuleras summan av de antagna fördelningarna för detektions- och släcksystemen samt de antagna tiderna för utrullning och utrymning fram. Resultatet presenteras som en s.k. CCDF-kurva, vilken visar sannolikheten för att branden fortfarande pågår vid en given tidpunkt. Ett exempel på hur resultatet kan se ut visas i *figur 6.6*.

För information om Monte Carlo simulering samt om begreppet fördelning, se *appendix A2*. De antagna fördelningarna återfinns i *appendix B4*.

¹ Center for chemical process safety, *Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989



Figur 6.6. Sannolikhet för den totala brandtiden. Generell figur.

Kurvan i figur 6.6 symboliserar den totala brandtiden för ett brandskyddssystem t. ex. flamdetektor kombinerat med ett koldioxidsläcksystem. Den streckade linjen beskriver den absolut kortaste detektions- och släcktid som brandskyddssystemen kan ha. Alltså till vänster om strecket finns det ingen möjlighet att systemen har hunnit släcka branden, vilket ger 100% säkerhet att branden fortfarande brinner. Till höger om strecket minskar sannolikheten för att det fortfarande brinner genom att det blir större och större sannolikhet att brandskyddssystemen har hunnit aktiveras och släckt branden. Ett exempel visas i figur 6.6 där det är 66% sannolikhet att branden ej har släckts vid den givna tidpunkten.

6.2.6 Förväntad återställningstid

Den förväntade återställningstiden definieras som produkten av sannolikheten för att komponenten blir obrukbar givet att det brinner och tiden för att återställa en skadad komponent.

$$t_f = P \cdot t$$

$$t_f = \text{Förväntad återställningstid [h]}$$

$$P = \text{Sannolikhet att komponenten blir obrukbar}$$

$$t = \text{Tiden för att återställa skadad komponent [h]}$$

Den totala brandtiden jämförs med den kritiska tiden då en komponent blir obrukbar. Jämförelsen ger sannolikheten att komponenten går sönder, se figur 6.6. Om komponenten går sönder tar det en viss tid att återställa den. Den enskilda återställningstiden för varje komponent måste nu multipliceras med sannolikheten att den går sönder vid en viss tidpunkt. Detta ger den förväntade återställningstiden för komponenten. Återställningstiderna för de enskilda komponenterna redovisas i appendix B5.

6.2.7 Händelseträd

Ett händelseträd är en metod för att åskådliggöra alla möjliga sluthändelser som en enstaka initierande händelse kan mynna ut i.

När förgreningarna i trädet är definierade införs sannolikheterna för att delhändelserna skall inträffa t.ex. detektion fungerar. Samtliga sannolikheter återfinns i appendix B6. Sedan beräknas samtliga sluthändelsers sannolikhet genom att multiplicera varje förgreningens sannolikhet, t.ex. översta grenen i figur 6.3 ger:

$$0.20 \cdot 0.98 \cdot 0.98 \approx 0.192$$

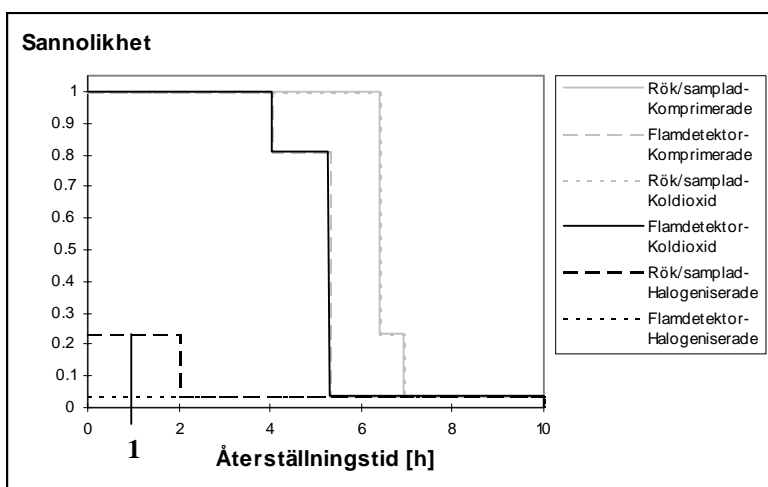
Varje sluhändelse beskrivs med en konsekvens och en sannolikhet. I denna rapport beskrivs alla konsekvenser som den totala förväntade återställningstiden, alltså summan av alla obrukbara komponenters enskilda förväntade återställningstid.

Samtliga händelsetråd utförs i datorprogrammet PrecisionTree¹ och redovisas i *appendix B6*.

6.2.8 Riskprofil

Riskprofiler används för att kunna jämföra hur de olika detektion- och släcksystemen påverkar återställningstiden. Kurvorna ger sannolikheten, givet att branden uppkommit, för att återställningstiden skall vara längre än givet värde.

Varje brandskyddskombination ger en egen riskprofil och kan därigenom enkelt jämföras med andra. Riskprofiler är alltså ett sätt att presentera ett beslutsunderlag. Ett exempel på hur riskprofiler kan jämföras illustreras i *figur 6.7*.



Figur 6.7. Jämförelser av olika brandskyddssystem med hjälp av riskprofiler..

Ur *figur 6.7* kan det t.ex. avläsas att det är ca. 23% sannolikhet att det tar mer än 1 timme att återställa containern vid användning av rökdetektorer och samplade rökdetektorer kombinerat med ett halogeniserat släckmedel. Samtliga riskprofiler är framtagna för det dimensionerande brandscenariot. Avläsningen ur riskprofiler påbörjas alltid från x-axeln.

Riskprofiler har tagits fram både i det mobila och det stationära fallet, vilka beskrivs i *kapitel 4*. Riskprofiler har även tagits fram för branden i luftkylenheten. Samtliga riskprofiler presenteras i *appendix B7*.

¹ Palisade Corporation, *Precision Tree, User's guide*, 1996

7. RISK

I detta kapitel kommer begreppet risk att definieras. Tänkbara riskkällor kommer också att identifieras. Kapitlet innehåller även bedömningar hur ofta bränder kan uppkomma och vilka skador de då ger. Till sist behandlas vilka åtgärder som kan minska uppkomsten och skadan av bränder.

7.1 Vad är risk?

Det finns flera definitioner av begreppet risk. I denna utredning har dock följande citat använts som definition:

”Med en risk menar vi faran för att en slumpmässig händelse negativt skall påverka möjligheten att nå ett uppställt mål. Matematiskt kan risken uttryckas som en produkt av sannolikheten för och konsekvensen av den skada som risken kan ge upphov till.”¹

7.2 Riskidentifiering

Med hjälp av en grundlig inventering av containern identifieras tänkbara riskkällor i anläggningen. Då analysen berör brand listas här endast de riskkällor som kan ge upphov till brand.

7.2.1 Brand i dieselmotor

Det finns tidigare dokumenterade fall av brand i dieselmotorer inom bl.a. marinen. I flera av dessa fall har brott i en spridarledning eller brott på dieselledningen innan spridaren orsakat brand. Antändningen har skett genom att finfördelad diesel har kommit i kontakt med heta ytor, i de flesta fall avgassystemet.

Den enda gång brand i dieselmotor kan uppkomma är när denna är i drift. Således kan brand i dieselmotor bortses från när containern står i anslutning till hangar och det fasta elnätet används.

7.2.2 Läckage i dieseltank

Tanken rymmer 200 liter. Det kan ej bortses från att en del av dieseln kan rinna ut på golvet.

Det mest troliga scenariot är att det blir brott eller läckage på ledningar och kopplingar på bränslets väg till motorn. Då tanken har god avluftning finns inget eller obetydligt övertryck i den, vilket gör att den enda pådrivande kraften som påverkar utflödet är den lilla hävert som bildas i och med höjdskillnaden mellan bränslerörets lägsta punkt och mynningen i tanken.

Motsvarande brandscenario kan också tänkas uppkomma vid en anlagd brand där bränsle hälls ut över golvet.

7.2.3 Kabelbrand

Brand kan starta p.g.a. en ljusbåge från en kabel med skadad isolering eller från upphettning i en koppling p.g.a. så kallad kontaktresistans. En stor del av kablarna består av PVC vilket gör dem svårantändliga. På grund av strålning och heta brandgaser kan dock en brand ta fart och sprida sig vidare in i elektroniken. Vid brand i PVC-material bildas stora mängder starkt korrosiva ämnen, vilka kan ge skador på övrig utrustning i containern.

¹ Hamilton Gustaf, *Risk Management 2000*, Lund, 1996

7.2.4 Brand i luftkylenheten

I luftkylenheten finns ett öppet oljefilter. I filtret finns det ca 1 liter olja då det är mättat. Detta sker efter 200 hundra timmars drift.

När luftkylenheten är igång uppnår rören i processen temperaturer upp till 200 °C vilket kan leda till antändning av läckande olja.

Då utrymmet i luftkylenheten är begränsat är det troligt att branden sprids till isoleringen i enhetens väggar. Branden sprids eller påverkar ej övriga delar av containern.

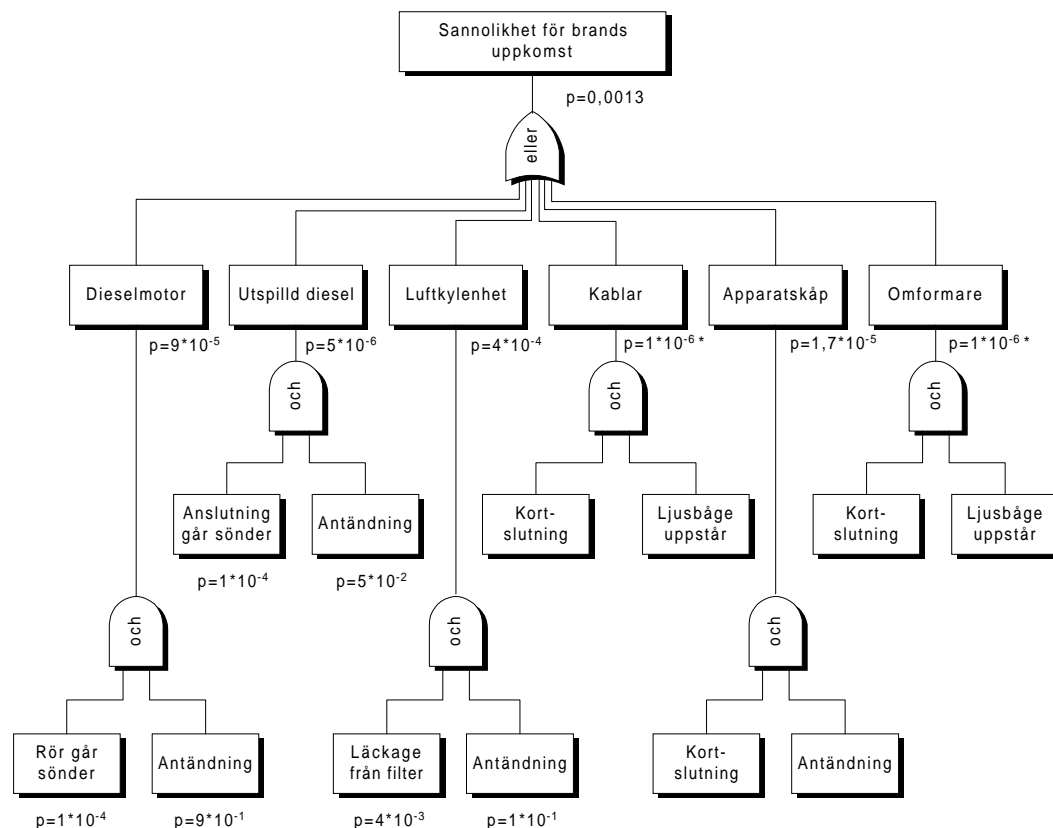
7.2.5 Elfel i apparatskåp/omformare

Elfel kan bland annat uppstå genom kortslutning och överhettning av elektriska komponenter. Detta kan i sin tur leda till att brand uppstår. En stor del av samtliga elektronikbränder uppkommer som en följd av blixtnedslag.¹ Således bör en rekorderlig åskledning finnas.

7.3 Sannolikheter

När riskkällorna är definierade måste sannolikheten för uppkomst av brand i respektive riskkälla skattas.

Alla sannolikheter i detta avsnitt har enheten, *uppkomst av brand per år*. I figur 7.1 ges en snabb överblick över tänkbara händelser vilka leder fram till brand. I figuren kan även sannolikheten för uppkomsten av de olika bränderna samt den totala sannolikheten för att någon brand skall uppkomma avläsas. För beräkning av sannolikheterna se *appendix C*.



* Endast grovt uppskattade värde

Figur 7.1. Felträd över tänkbara händelser och dess sannolikheter.

¹ Seiman Matti et.al, *Halonersättning vid provplats FMV:ProvFFK*, 1996

Sannolikheterna påverkas av om containern är i drift eller ej. Sannolikheterna för brand minskar då containern ej är i drift men hur mycket behandlas ej vidare i utredningen.

När ett system skall dimensioneras för att detektera och släcka en eventuell brand är det viktigt att sannolikheterna för uppkomsten av olika bränder uppskattas. Sannolikheten är viktig att ta med i dimensioneringen för att brandskyddet ej skall dimensioneras för något som är högst osannolikt i förhållande till de övriga scenariorna.

För den aktuella dimensioneringen används det scenario där störst konsekvenser uppkommer.

I *figur 7.1* kan sannolikheten utläsas för att någon brand skall uppkomma i serviceanläggningen är 0,0013, vilket innebär att en brand skulle uppkomma under 770 år. Detta värde stämmer väl överens med sannolikheten för brand vid mekanisk och elektrisk verksamhet.¹

7.4 Konsekvenser

För att få en uppfattning om vilken brand som blir dimensionerande har en känslighetsanalys utförts där konsekvenserna av de tänkbara bränderna har jämförts. Brändernas påverkan studerats på några utvalda referenskomponenter för att se hur tiden till demolering av komponenterna beror av de olika bränderna. I *appendix E* redovisas de känslighetsanalyser som gjorts.

7.4.1 Dimensionerande brandscenario

Från känslighetsanalysen erhålls information som visar att branden som kan uppkomma i utspilld diesel ger snabbare och värre konsekvenser än de övriga händelserna. Detta scenario väljs för att dimensionera brandskyddsåtgärderna efter.

Då luftkylenheten utgör en egen enhet som måste skyddas dimensioneras även speciella brandskyddsåtgärder för denna.

7.4.2 Diskussion om övriga brandscenario

Då konsekvenserna av de övriga bränderna blir mindre kan det dimensionerade släcksystemet även släcka dessa. Olika detektionssystem kan behövas för att brandskyddet skall upprätthållas då bränderna kan tänkas ha olika brandförlopp.

7.5 Riskreducering

Genom att utföra följande åtgärder kan risken för uppkomst av brand reduceras.

1. Göra regelbundna tillsyner på containern.
2. Ha ett detektionssystem som detekterar branden snabbt.
3. Ha ett snabbt och effektivt släcksystem.

I detta kapitel ges en beskrivning av underhållet idag samt fördelar och nackdelar med olika detektion/släcksystem.

¹ Brandskyddslaget, LTH-brandteknik, *Brandskydd, teori och praktik*, Stockholm, 1994

7.5.1 Underhåll

För att undvika onödiga driftstopp samt minska sannolikheten för att brand skall uppkomma görs idag regelbundna tillsyner på viktiga delar av anläggningen.

Dieselmotor

För att minska risken för att en brand skall uppkomma görs dagligen tillsyn på dieselmotorn. Bland annat kontrolleras att inget läckage av bränsle, smörjolja och kylvätska förekommer. Vidare undersöks att inga detaljer har vibrerat loss, exempelvis spridarrören.¹

Luftkylighet

Dagligen iakttags eventuella spår av oljeläckage under LKE:n och att alla synliga delar av systemet sitter fast. Varje vecka töms oljefiltret genom att en gång försiktigt pressa ned locket mot filtrets botten. Detta görs för att filtret inte skall bli mättat. En gång om året bytes oljefiltret ut.¹

7.5.2 Detektion

I den stund då en brand uppkommer startas en produktion av förbränningsprodukter och energi som gör att omkringvarande förhållanden i containern ändras. Dessa förändringar är skilda från variationer som sker under normala förhållanden och kan upptäckas av ett detektionssystem.

Till exempel kan det nämnas att produktion av rök kommer att resultera i försämrad sikt. Den siktensättning som uppstår kan detekteras.

Produkter och energier som är resultatet av en brand måste bilda/skapa sådan förändring i den miljö de uppkommer i att de är större än den normala bakgrundsvariationen i containern.

Aerosoler, värme, ultraviolett och infraröd strålning samt gaser är förändringar som kan detekteras vid en brand.

Det är viktigt att uppmärksamma eventuella förändringar så tidigt som möjligt och välja rätt typ av detektor. Det finns fyra huvudtyper, nämligen: värmedetektor, rökdetektor, flamdetektor och gasdetektor. För närmare information om dessa, se *Appendix E*.

Slutsats detektion

Innan en viss typ av detektor bestäms bör det tas i beaktande att ju högre känslighet detektorerna har desto större är i regel risken för falsklarm och onödig aktivering av släcksystemet.

Att använda sig av en typ av detektor kommer inte att kunna fungera vid alla typer av förhållanden som kan råda i containern. Det som kan antas påverka förhållandena mest är ventilationen samt brandens karaktär. Det kommer därför att behövas ett detektionssystem som är uppbyggt av flera olika typer av detektorer.

I och med att containerns volym är väldigt liten samt att flera riskkällor har snabba brandförlopp, ställs stora krav på detektionssystemet, vilket måste detektera snabbt.

De detektorer som är intressanta i denna dimensionering är flam- och rökdetektorer. De övriga detektorerna utesluts antingen p.g.a. att de är för långsamma eller på annat sätt ej lämpade för de förhållanden som containern ger.

Flamdetektorer är snabbast men de kan inte detektera alla typer av bränder och är begränsad i sin användning vad det gäller placering och underhåll.

Rökdetektorer behövs för att kunna detektera dolda bränder eller glödbänder. Dessa kan vara vanliga eller samplade. Vilken typ som väljs beror på rådande ventilationsförhållanden.

I *tabell 7.1* redovisas ungefärliga detektionstider och kostnader för de i detta fall intressanta detektorerna.

¹ Elektromatik Power Generation AB, *Underhållsföreskrift för Kraggcont 037/039/T*

Detektor	Tid till detektion [s]	Kostnad [SEK]
Rökdetektor	20-60	1000
Samplad rökdetektor	5-20	20000
Flamdetektor	2-10	15000

Tabell 7.1. Data för detektionssystem vid det dimensionerande brandförloppet.

7.5.3 Släckmedel

I detta kapitel kommer först olika kriterier diskuteras för val av släcksystem. Sedan kommer närmare studier att göras på olika släckmedel för att belysa deras fördelar och nackdelar.

Vid utformning av släcksystem har i rapporten endast hänsyn tagits till val av släckmedel, inte systemdimensioneringen.

Val av släckmedel och släcksystem har gjorts med grund i följande kriterier.

1. Tid från detektion till släckning

I det inledande skedet sker i flera av de identifierade brandscenerierna en kraftig ökning av brandeffekten, vilket visas i *appendix D*. Brandeffekten tillväxer exponentiellt eller linjärt med tiden och i ett fall är den konstant. En fördröjning av detektion, aktiveringsstid för släcksystemet eller tiden till släckning efter aktivering kommer därför förvärra brandskadan.

2. Volym och vikteffektivitet

Olika system har olika förutsättningar för att kunna fungera. En av de mest grundläggande förutsättningarna är att det får plats i containern.

Olika släckmedel upptar olika stort förvaringsutrymme beroende på dess släckegenskaper samt dess aggregationstillstånd vid förvaring, se *tabell 7.2*.

Vid dimensionering av rumsskyddssystem måste kompensation göras för det läckage av släckmedel som följer med läckande luft ut när släckmedel påförs, samt genom mekanisk ventilation om sådan finns.

3. Kräver släckmedlet sanering efter släckning ?

Det är av intresse att välja ett släckmedel som ej kräver sanering. Detta p.g.a. att verksamheten skall kunna fortsätta så snart som möjligt efter släckning. Av samma anledning är det också av intresse att veta om sanering krävs efter onödig aktivering av släcksystemet.

4. Skadar släckmedlet miljön eller människan ?

Miljömedvetandet har ökat vilket lett till att det idag har stor betydelse att ett släckmedel är miljövänligt. En följd av denna medvetenhet har lett till förbud av användning av vissa släckmedel. Detta gäller framförallt på släckmedel som har en nedbrytande effekt på ozonlagret. Denna nedbrytande effekt kallas för ODP, *Ozone Depletion Potential*.

Idag finns ännu inget krav på att växthuseffekten inte får påverkas av släckmedel. Denna påverkan kallas GWP, *Global Warming Potential*.

Den negativa sidan av förbuden mot vissa släckmedel är att många av de effektivaste släckmedlen förbjuds. Detta ger att miljökraven är tveeggade, eftersom branden i sig själv producerar stora mängder miljöfarliga ämnen och en så snabb släckning som möjligt borde därför eftersträvas.

I utrymmen där människor skall vistas måste det tas i beaktande hur pass toxiskt släckmedlet är när släckmedlet uppnår släckande koncentrationer. Släckmedlets elektriska ledningsförmåga vid användning i miljöer med elektrisk utrustning måste också beaktas.

7.5.4 Sammanställning släckmedel

För att i stora drag åskådliggöra för- och nackdelarna av olika släckmedel ges en sammanfattning av de vanligaste i *tabell 7.2*. Information om varje enskilt släckmedel återfinns i *appendix F*.

++	=	Mycket bra
+	=	Bra
-	=	Mindre bra
--	=	Inte att rekommendera om det kriteriet anses vara av vikt.

Släckmedel	Förvarings volym	Sanerings behov	Påverkan Miljö / Människa	Kommentar
Komprimerade gaser *	--	++	++/-	Tveksamt om användning kan ske i containern då förvaringsvolymen är stor och stora tryckavlastnings möjligheter krävs.
Koldioxid	-	++	+/--	Då dimensionering för människors säkerhet ej görs kan CO ₂ fortfarande användas.
Halogeniserade gaser **	+	+	-/+	Bra, påverkar dock miljön, GWP.
Halon	++	-	--/+	Effektiv men skadar miljön, ODP+ GWP. Förbjudet att använda efter -97.
Pulver	+	--	+/+	Mest effektivt men kan ej användas då för omfattande sanering krävs.
Skum	--	--	++/+	Svårt att släcka i komplicerade geometrier. Går heller inte att använda i fält där fast koppling till vattennät saknas. Kraven på sanering är dessutom för höga.
Vatten	--	-	++/+++	Svårt att släcka i komplicerade geometrier. Går heller inte att använda i fält där fast koppling till vattennät saknas.

Tabell 7.2. Sammanfattande jämförelse av släckmedel..

* Exempel på komprimerade gaser är Inergen® och Argonite®

** Exempel på halogeniserade gaser är Halotron® och FM 200®

7.5.5 Slutsats släckmedel

Då det dimensionerande skyddsmålet är att minimera driftstopp till följd av brand kan ej släckmedel som kräver tidsödande sanering användas. På grund av den komplicerade geometrin inne i containern utesluts även de släckmedel med begränsad förmåga att släcka dolda bränder.

De släckmedel som kräver en jämn tillgång av vatten för att fungera kan heller ej användas eftersom containern kan vara mobil. Mobiliteten begränsar möjligheten till en kontinuerlig uppkoppling mot någon vattenkälla.

Genom ovanstående resonemang är endast en typ av släckmedel lämplig för användning i containern, nämligen de gasformiga släckmedlen. Dessa presenteras närmare i *tabell 7.3* och kommer att vidare behandlas i utredningen..

Containerns begränsade utrymme möjliggör att antagligen endast ett släcksystem får plats.

Släckmedel	Släcktid [s]	Inertering [vol%]	Sanering	Tryckuppbyggnad	Toxicitet vid inertering	Lagrings volym	System kostnad	Släckmedels kostnad
Halogeniserade	10	11-12	nej*	nej	ingen	0.1-0.3	0,6-0,7	3,2-4,0
Koldioxid	60	34-43	nej	ja	ja	1.0	1,0	1.0
Komprimerade	60	45-50	nej	ja	ja**	0.7-1.9	1,1-1,3	0.8-1.9

* Halogeniserade släckmedel anses vara rena vid falskutlösning. Vid släckning bildas dock HF-föreningar som verkar korrosivt vilket gör att viss sanering krävs.

** Syrgashalten blir så låg vid inerteringskoncentrationer att människor inte kan vistas där.

*Tabell 7.3. Gasformiga släckmedels egenskaper.*¹

En snabb tömningstid är att föredra, givetvis för att snabbt uppnå släckande koncentrationer, men också för att få en jämn släckmedelskoncentration i hela utrymmet. Utflödet ur dysorna måste vara tillräckligt stort för att skapa stor turbulens och där igenom ökad kastlängd. Erhålls rätt släckmedelskoncentration minimeras produktionen av termiska nedbrytningsprodukter både från släckmedlet och branden.

¹ Holmstedt G, Isaksson S, Simonsson M, *Gasformiga alternativ till halon som släckmedel*, SP, Borås, 1997

8. RESULTAT

I följande kapitel visas olika sätt att presentera ett beslutsunderlag ur resultaten av beräkningsproceduren.

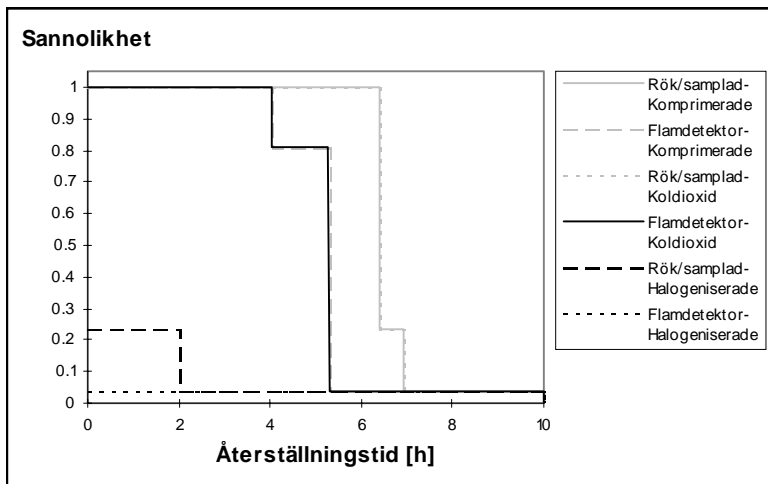
8.1.1 Allmänt

Resultaten av jämförelserna mellan olika detektion/släckmedels kombinationerna presenteras som riskprofiler. Där presenteras sannolikheten för att återställningstiden för containern är längre än en given tid givet att brand uppkommit. Varje kombination ger en egen riskprofil och kan därigenom enkelt jämföras med andra i samma figur, se *figur 8.1*.

För information hur avläsning görs ur en riskprofil redovisas detta i *figur 6.7*.

Riskprofiler är ett bra sätt att presentera resultat om kännedom om beställarens krav på driftsäkerhet ej är tillgänglig.

I *figur 8.1* visas riskprofiler för olika återställningstider på luftkylenheten. Övriga riskprofiler presenteras i *appendix B7*.



Figur 8.1. Riskprofil för sannolikheten av olika återställningstider på luftkylenheten

8.1.2 Alternativ

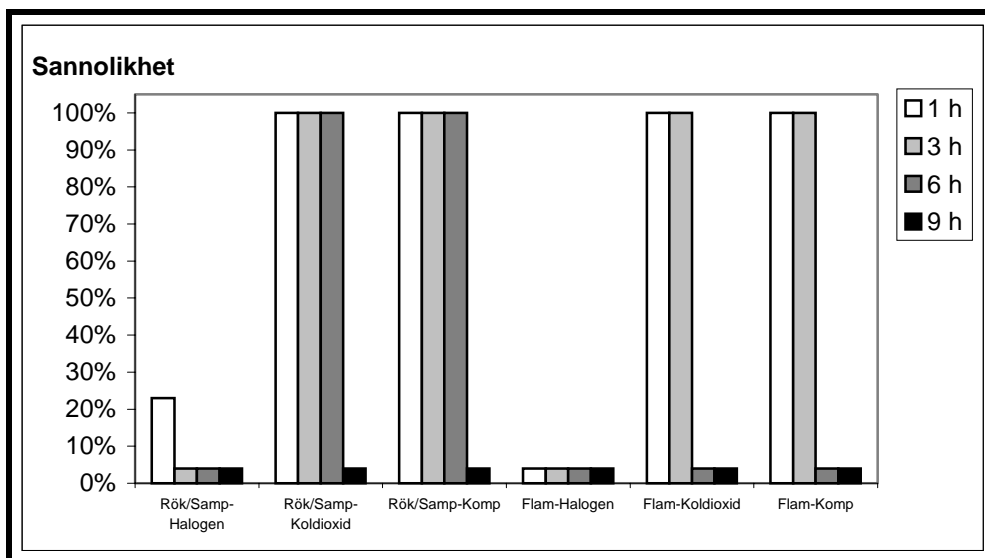
I de fall en bestämd återställningstid redan är given av beställaren kan sannolikheten ur riskprofilerna lätt jämföras för att detektion/släcksystemen ej lyckas med att begränsa återställningstiden till mindre än den givna tiden.

I *tabell 8.1* visas sannolikheterna att den totala återställningstiden är längre än 5 timmar för olika detektion/släcksystem för luftkylenheten.

Släcksystem \ Detektionsystem	Rökdetektor / samplad rökdetektor	Flamdetektor
Komprimerade släckmedel	100 %	81 %
Koldioxid	100 %	81 %
Halogeniserade släckmedel	4 %	4 %

Tabell 8.1. Sammanställning av sannolikheter för att den totala återställningstiden är längre än 5 timmar för luftkylenheten.

Då det är intressant att jämföra olika detektion/släcksystem vid ett antal utvalda återställningstider kan de presenteras i ett stapeldiagram. I diagrammet presenteras sannolikheterna att återställningstiden är större än den utvalda återställningstiden, se *figur 8.2*. Detta är ett bra sätt att presentera resultaten ifall analysens mål är att bedöma kostnad-nytta av olika brandskyddsalternativ.



Figur 8.2. Sammanställning av sannolikheter för att återställningstiden är längre än given tid för luftkylenheten.

9. DISKUSSION & SLUTSATS

I följande kapitel presenteras de resonemang och slutsatser som uppkommit under arbetets gång.

9.1 Diskussion

Containern är framtagen för att både fungera i fred och kris/krig. Det som skiljer de två tillstånden åt är hur anläggningen används. I fred används containern till största delen i anslutning till hangar medan den i kris/krig är mobil.

Skillnaden på driften mellan det stationära och det mobila fallet är att viss apparatur inte används i vid det stationära tillståndet. Detta reducerar sannolikheten för att brand skall uppkomma samt ventilationsflödena genom containern.

Då ventilationen minskar påverkar det i sin tur brandförloppet och temperaturerna i containern ökar, vilket medför att komponenterna blir obrukbara i ett tidigare skede av branden.

I de fall brandgaser ventileras ut istället för att ackumuleras inne i containern kommer det istället medföra problem både vid detektion och vid påföring av släckmedel. Dessa problem är knutna till att vissa detektionsystem har svårt att detektera en brand då brandgaserna evakueras samt att vissa släckmedel dras ut med ventilationsflödet innan de släcker branden. För att undvika det senare problemet kan spjällen för ventilationsöppningarna kopplas till detektionsystemet så att de stängs innan släcksystemet aktiveras.

Innan en viss typ av detektor bestäms bör det tas i beaktande att ju högre känslighet detektorerna har desto större är i regel sannolikheten för falsklarm och onödig aktivering av släcksystemet. Detektorers känslighet kan också innebära dålig tillförlitlighet t.ex. då de utsätts för smuts.

Vid användning av rökdetektorer är det osäkert om falsklarm kan uppkomma. Detta på grund av att avgaser från containern eller från något utomstående fordon sugas in med tilluften till ventilationen.

Att använda sig av endast en typ av detektor kommer inte att kunna fungera vid alla typer av förhållanden som kan råda i containern. Det som kan antas påverka förhållandena mest är ventilationen samt brandens karaktär. Det kommer därför att behövas ett detektionssystem som är uppbyggt av flera olika typer av detektorer.

Vid utredning av vilket släckmedel som skall användas bör släckmedlets toxicitet på människor särskilt beaktas. Även om människor inte kommer att kontinuerligt vistas inne i containern bör en fördröjning finnas mellan alarm och påföring av toxiskt släckmedel så att utrymning kan ske.

I de tider som ges för att återställa skadade komponenter görs antagandet att materiell och expertis redan finns på plats direkt efter det att branden släckts. De verkliga tider det tar att skaffa fram expertis och nya komponenter beror helt av containerns lokalisering och behandlas ej i utredningen. Efter t.ex. en brand i luftkylenheten kan hela enheten bytas ut på 4 timmar om en färdig luftkylenhet finns tillgänglig, om inte tar det längre tid att byta ut varje enskild komponent.

Slutligen bör det beaktas att de största osäkerheterna i resultaten förmodligen beror av val av den dimensionerande brandens effektutveckling samt modellosäkerheter. Framförallt är synfaktorerna osäkra då olika modeller ger olika resultat. Osäkerheterna med avseende på effektutvecklingen bör också nogra utredas innan några slutsatser dras.

9.2 Slutsats

Här presenteras slutsatser av utredningen av brandskydd, både för containern i stort och för luftkylenheten.

9.2.1 Skydd av containern i stort

Det enda system som släcker det dimensionerande brandscenariot innan stora skador uppkommer är när flamdetektorer kombinerad med ett halogeniserande släckmedelssystem används. Övriga kombinationer av detektion och släckmedel är för långsamma och övertändning kan ske. Detta ger en fatal skada som är svår att uppskatta, reparationstiden blir lång och eventuellt behöver all utrustning bytas ut.

Halogeniserande släckmedel är de enda som kommer att kunna släcka inom rimlig tid så att inte för stora skador uppstår. Dock måste ett kombinerad detektionssystem sättas upp för att kunna detektera de många olika brandtyper och ventilationsfall som kan uppkomma i anläggningen.

Flamdetektorer är endast effektiva vid bränder med öppna flammor. För övriga brandscenarior med glödande bränder och kortslutningar behövs antagligen en optisk rökdetektor och i ventilerade fall kommer det även behövas en samplad rökdetektor i ventilationsutflödena.

9.2.2 Skydd av luftkylenheten

För det dimensionerande brandscenariot i luftkylenheten är resultaten inte lika entydiga som för containern i stort. Luftkylenheten kan skyddas med hjälp av olika kombinationer av detektion- och släcksystem beroende på vilken återställningstid som är acceptabel.

Det säkraste systemet är även i detta fall kombinationen med flamdetektor och ett halogeniserat släck-medel.

En kombination med rök- och samplad rökdetektor kan också användas tillsammans med halogeniserade släckmedel med liknande resultat. Denna detektorkombination krävs för att detektera bränder både när luftkylenheten är i drift eller ej.

APPENDIX A

Appendix A behandlar i stora drag CFAST, @RISK, Kalkylprogrammet och Riskprofiler. Hur dessa är uppbyggda och vilka antaganden som är gjorda.

A1: CFAST

CFAST är en del av HAZARD I, vilket är ett amerikanskt programpaket framtaget av National Institute of Standards and Technology, Washington DC. CFAST kan användas för att beräkna effekterna av ett specificerat brandförlopp i ett eller flera rum.

CFAST använder en s.k. tvåzonsmodell där varje rum delas upp i en övre varm och en undre kall zon.

Programmet kan beräkna ett brandförlopp med brandgasspridning i en byggnad med upp till 15 rum. Beräkningarna kan ta hänsyn till takventilation, mekanisk ventilation samt ventilationskontroll av effekten.

CFAST har sitt ursprung i de grundläggande ekvationerna för bevarande av massa och energi.

Samtliga ekvationer löses parallellt för varje zon och tidssteg. Programmet tar också hänsyn till och räknar med brandplymen som transporterar massa och energi från den undre zonen till den övre.

Indata som användaren måste specificera är bl.a.:

- tryck och temperatur i och utanför byggnaden
- rumsgeometri
- ventilation
- material i omslutande konstruktioner
- effektutveckling samt förbränningsvärme för det brinnande objektet
- syrehalt då branden går från flamförbränning till glödbland

Utdata ges som en funktion av tiden för varje rum och omfattar bl.a.:

- brandgaslagrets höjd från golvet
- temperaturen i de olika zonerna och väggarna
- syrekonzentration
- strålning från brandgaslagret
- trycket i brandrummet
- den verkliga effektutvecklingen
- massflödet i brandplymen

Begränsningar

Det finns två ytterligheter i fråga om hur brandgaserna fördelar sig i rummet, tvåzonsmodellen och enzonsmodellen. Vid genomförande av en brandteknisk dimensionering måste en bedömning av hur bra modellerna avspeglar verkligheten göras. Om brand inte ger tvåzonskiktning så stämmer inte heller resultaten från CFAST-simuleringarna. Tvåzonskiktning kan uppkomma om skillnaden i temperatur mellan de två skikten överstiger ca 30 °C, i andra fall uppkommer enzonsblandning. Enzonsblandning kan också uppkomma vid kraftig turbulens såsom vid mekanisk omrörning.

Det finns även vissa begränsningar av vilka indata som kan ges till CFAST, nämligen att endast rektangulära rum kan användas (mer komplicerade geometrier måste förenklas till likvärdiga

rektangulära geometrier) samt att takventilation ej kan öppnas och stängas som en funktion av tiden. CFASTs resultat stämmer ej med verkligheten efter det att övertändning skett. Övertändning innebär att allt brännbart material i rummet antänds. Det finns flera olika definitioner på när övertändning sker. De två vanligaste är:

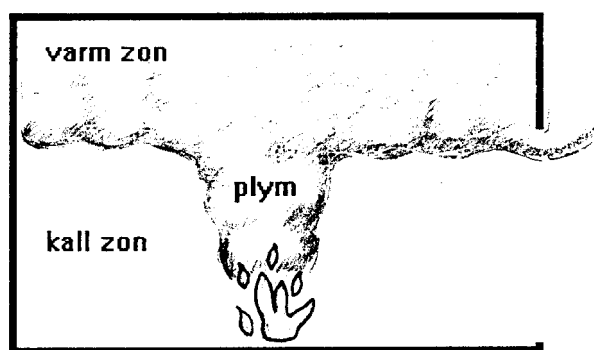
- temperaturen i brandgasskiktet överskrider 500-600 °C.
- strålningsnivån från brandgasskiktet mot golvet överskrider 15-20 kW/m².

Tvåzonsmodellen skickar upp brandgaser i övre lagret där de momentant sprids i hela rummet. Detta stämmer inte med verkligheten i stora rum eller i långa korridorer där brandgasspridningen tar lite tid. För att anpassa detta till brandgasspridning i verkligheten kan rummen eller korridorerna delas in i flera tänkta rum med hjälp av 10-20 cm avgränsande lister i taket. Detta ger en mer verklighetstrogen brandgasspridning.

Tvåzonsmodell

Tvåzonsmodellen bygger på att varma brandgaser p.g.a. termiska krafter stiger och lägger sig ovanför den kallare rumsluften, se *figur A.1*. Luft strömmar in i den kalla zonen, genom öppningar i omslutningsytorna, för att sedan hettas upp och transporteras upp i det övre lagret genom brandplymen.

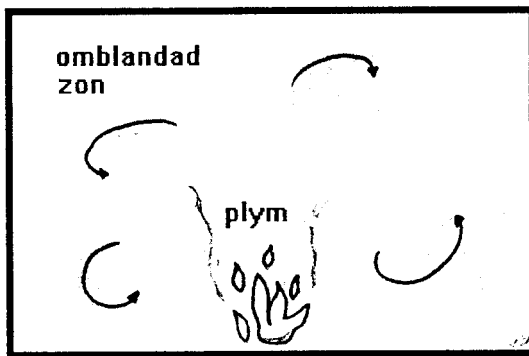
Tvåzonsskiktning uppkommer vid kraftigare bränder, då det bildas brandgaser med hög temperatur, samt i rum med låg takhöjd eftersom brandgaserna inte hinner suga in så mycket kall luft att temperaturskillnaden utjämnas. Vid en enormt kraftig brand i ett litet rum kan dock turbulens uppstå, vilket gör att zonskiktningen förstörs och en enda blandad zon uppkommer. Samma problem kan också uppstå då golvytan är väldigt stor i förhållande till rumshöjden.



Figur A.1. Tvåzonsskiktning.

Enzonmodell

I rum med stora volymer, hög takhöjd samt vid svaga bränder inträffar ingen skiktning till olika zoner. Brandgaserna kyls och mister sin termiska stigningskraft p.g.a. stort insug av kall luft i brandplymen. Följden av det hela blir att hela rummet fylls med förhållandevis kalla rökgaser, vilket visas i *figur A.2*. CFAST tar ej hänsyn till enzonmodellen.



Figur A.2. Enzonsblandning.

Vid aktivering av sprinklers inträffar vanligtvis en enzonsblandning. Enzonsblandning kan också uppkomma vid kraftig turbulens såsom vid mekanisk omrörning.

A2: @RISK

Här följer en kortfattad beskrivning av datorprogrammet @RISK.

Allmänt om programmet

@RISK är ett tillägsprogram till MS Excel och är konstruerat av Palisade Corporation i USA.¹ Det är ett numeriskt simuleringsprogram för statistiska beräkningar vilket gör att MS Excel kan hantera hela fördelningar och inte bara enstaka värden.

Vid användning av programmet skrivs ekvationer som skall simuleras in i Excel. Osäkra variabler i dessa ekvationer skrivs in som en antagen fördelning, vilket beskrivs enkelt nedan. Programmet utför upprepade simuleringar, så kallade Monte Carlo simuleringar, av ekvationerna där variablerna väljs ur de antagna fördelningarna. Genom denna arbetsgång kombineras tänkbar indata i en mängd olika kombinationer, vilket ger att alla osäkerheter i variablerna också kombineras.

Sammanfattningsvis använder @RISK all information som skrivits in för att analysera varje möjligt utfall och därigenom är det möjligt att utvärdera den totala osäkerheten i ekvationerna.

Kort om fördelningar

Om en variabel inte kan beskrivas med ett enda värde utan kan variera inom ett intervall så beskrivs variabeln med hjälp av en fördelning. I fördelningen ingår de värden som variabeln kan variera mellan samt den relativa frekvensen för dessa värden. I *figur A.3* visas ett exempel på en fördelnings utseende.

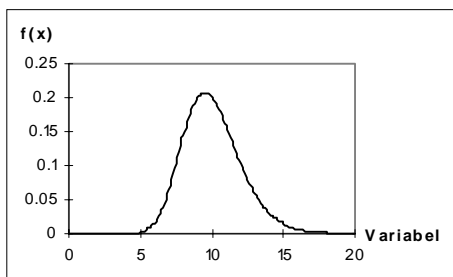


FigurA.3. Exempel på fördelning.

Ur *figur A.3* kan det avläsas att sannolikheten är störst vid toppvärdet i fördelningen. I figuren avtar sannolikheten relativt snabbt mot intervallets gränser.

¹ Palisade Corporation, @RISK, *User's guide*, 1996

A3: Kalkylprogram

I följande avsnitt visas hur kalkylprogrammet är uppbyggt och vilka antaganden som är gjorda under konstruktionen.

Allmänt

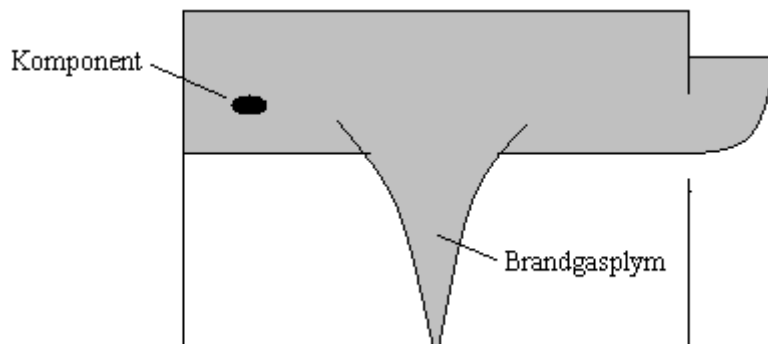
För att kunna bedöma när en komponent blir obrukbar har en metod utarbetats. Metoden bygger bl.a. på olika värmetransport ekvationer. Då de flesta av dessa ekvationer bygger på konstanta värmeflöden konstrueras ett kalkylprogram där värmeflödena antas vara konstanta över kortare tidssteg.

Kalkylprogrammet är uppbyggt i @RISK vilket är en utbyggnad av Microsoft Excel. Anledningen till att kalkylprogrammet konstruerades i @RISK är att det finns vissa osäkerheter i indatan som måste analyseras. @RISK är nämligen ett verktyg för att utföra bl.a. osäkerhetsanalyser.

I de fall där påverkan kommer ifrån fler element än bara flammen antas den påverkade komponenten befinna sig i brandgaserna under hela förloppet. Detta på grund av snabb brandgasfyllnad av en liten volym samt att det blir värst påverkan på de komponenter som befinner sig där.

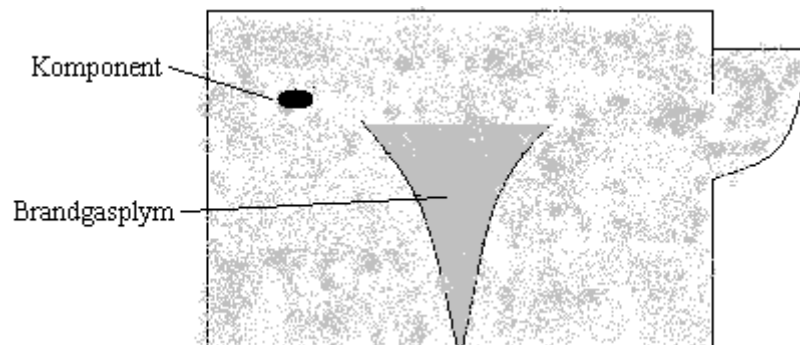
Kalkylprogrammet är uppdelat i flera delar:

- Den första delen beräknar påverkan i de fallen där tvåzonsmodellen verkligen gäller, se *appendix A1*. I denna delen beräknas påverkan på komponenten genom strålning från brandgaser, heta väggar och direkt från flammen samt genom konvektiv värmeöverföring från brandgaserna. Se *figur A.4*.



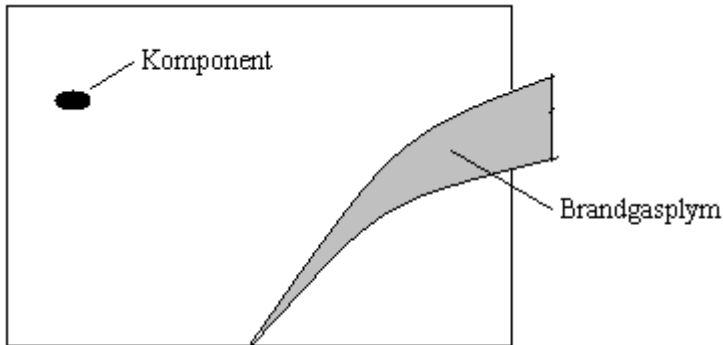
Figur A.4. Påverkan vid tvåzonsmodell.

- En annan del beräknar påverkan i de fall då det p.g.a. stor omrörning bildas en väl omblandad zon, enligt *figur A.5*. Även i denna delen beräknas påverkan på komponenten genom strålning från brandgaser, heta väggar och direkt från flammen samt genom konvektiv värmeöverföring från brandgaserna. Temperaturen i den omblandade zonen beräknas genom viktning mellan de i CFAST givna övre och undre brandgaslagrets temperaturer.



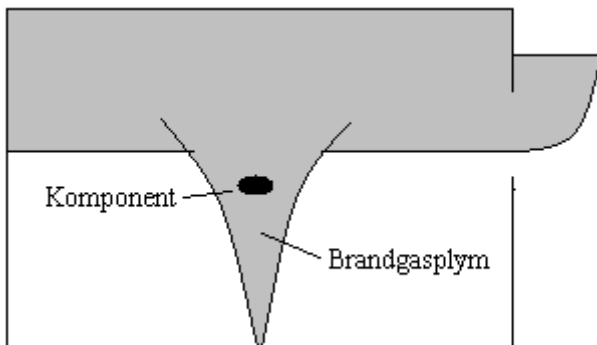
Figur A.5. Påverkan vid enzonsmodell.

- Den tredje delen beräknar påverkan på komponenterna i de välventilerade fallen där inga brandgaser ackumuleras inne i containern, enligt *figur A.6*. Påverkan på komponenterna innefattar här endast strålning direkt från flammen.

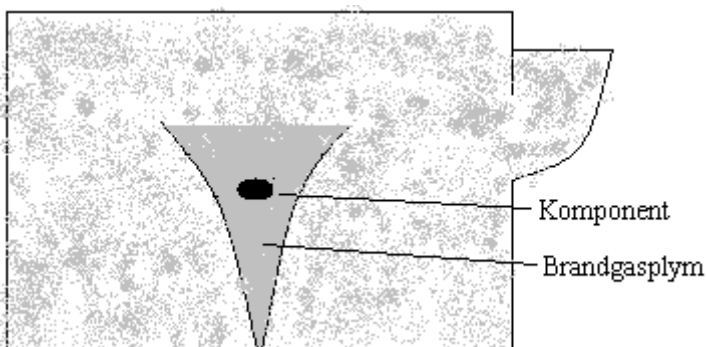


Figur A.6. Påverkan vid kraftig ventilation.

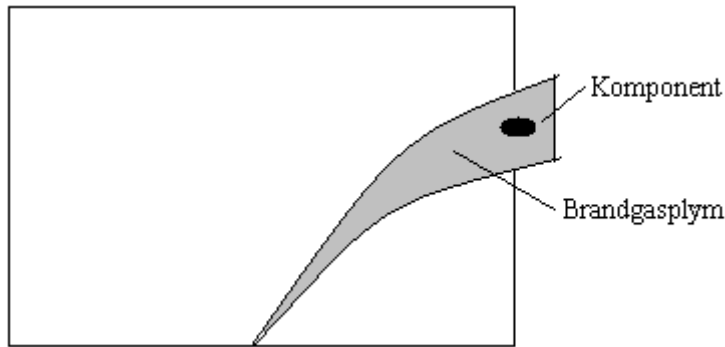
- Den sista delen är skild från de andra och används för att beräkna direkt påverkan på komponenter som befinner sig inne i brandgasplymen. Denna modell har i sin tur tre delar, se *figur A.7-A.9* vars olika användningsområde är samma som för de första tre delarna; tvåzons, enzons och välventilerat, där den sista används för att beräkna påverkan på de komponenter som träffas av brandgasplymen under dess väg ut genom ventilationsöppningarna. I dessa fall beaktas endast strålning och konvektiv värmeöverföring från brandgasplymen.



Figur A.7. Påverkan i brandgasplymen vid tvåzonsmodellen.



Figur A.8. Påverkan i brandgasplymen vid enzonsmodellen.



Figur A.9. Påverkan i brandgasplymen vid kraftig ventilation.

Skillnader mellan delmodellerna

I de fall där tvåzonsmodellen gäller används temperaturerna på väggar och i de båda gaslagren direkt från CFAST.

Om enzonsskiktning kan antas inträffa måste vissa omräkningar göras för att kunna använda CFAST-utdatan. Då antas att alla väggar har samma temperatur, vilken bestäms genom att vikta ihop temperaturerna från CFAST i förhållande till väggarea i de båda tänkta gaslagren. Sedan görs liknande procedur med gastemperaturen.

Då kraftig ventilation av containern föreligger måste det kontrolleras om det är rimligt att i stort sett alla brandgaser evakueras. Detta görs genom att jämföra givet ventilationsflöde genom containern med flödet upp i brandgasplymen. För att kontrollera flödena beräknas först volymflödet av brandgaserna i plymen för att sedan kunna jämföras med det redan kända ventilationsflödet.

$$\dot{V}_{plym} = \dot{m}_{plym} \cdot \left(\frac{PM}{RT} \right)$$

\dot{V}_{plym} = Brandgasflöde i plymen [m^3/s]

\dot{m}_{plym} = Massflöde i plymen [kg/s], taget direkt från CFAST

P = Trycket i rummet [Pa], taget direkt från CFAST+ normalt lufttryck

M = Brandgasernas molmassa [kg/mol], approximeras som luft

R = Gaskonstant [J/kmolK]

T = Brandgastemperatur [K], taget direkt eller efter omräkning från CFAST

Om sedan ventilationsflödet är större än flödet av brandgaser i plymen antas att inga brandgaser ackumuleras i containern. Påverkan sker således bara genom direkt strålning ifrån flammen.

Förklaring av huvudmodell

För att kunna ta fram ungefärliga tider för demolering av brandpåverkade komponenter antas att de kritiska stråldoser, vilka funnits i litteraturen motsvaras av en s.k. energidos där både strålning och konvektiv värmeöverföring ingår.

$$E'' = Q''_{conv} + Q''_{rad}$$

$$E'' = \text{Energidos [kJ/m}^2\text{]}$$

$$Q''_{conv} = \text{Konvektivdos som objektet utsätts för [kJ/m}^2\text{]}$$

$$Q''_{rad} = \text{Strålningsdos som objektet utsätts för [kJ/m}^2\text{]}$$

För att bestämma den konvektiva dosen och stråldosen integreras den konvektiva värmeöverföringen och strålningen separat över tiden. I de fall där påverkan kommer ifrån fler element än bara flammen antas den påverkade komponenten befinna sig i brandgaserna under hela förloppet.

$$Q''_{conv} = \int_0^t \dot{q}''_{conv} dt$$

$$\dot{q}''_{conv} = \text{Konvektiva värmeöverföringen till objektet [kW/m}^2\text{]}$$

$$Q''_{rad} = \int_0^t \dot{q}''_{rad} dt$$

$$\dot{q}''_{rad} = \text{Strålningen som objektet utsätts för [kW/m}^2\text{]}$$

Den konvektiva värmeöverföringen beräknas genom att multiplicera värmeövergångstalet h med temperaturdifferensen mellan de varma gaserna runt om kring objektet och det påverkade objektet.

$$\dot{q}''_{conv} = h(T_g - T_s)$$

$$h = \text{Värmeövergångstalet [kW/m}^2\text{K]}$$

$$T_g = \text{Temperaturen omgivande brandgaser [K]}$$

$$T_s = \text{Yttemperaturen på objektet [K]}$$

Strålningen som objektet utsätts för bestäms genom att summera den direkta flamstrålningen med strålningen ifrån brandgaser och varma väggar.¹

$$\dot{q}''_{rad} = \frac{(1 - \chi) \cdot \dot{Q} \cdot F_{1-4} \cdot (1 - \varepsilon)}{A_f} + \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_{g,u})^4 + \sigma \cdot (1 - \varepsilon) \cdot (T_{w,u})^4 \cdot F_{1-2} + \sigma \cdot (1 - \varepsilon) \cdot (T_{g,l})^4 \cdot F_{1-3} - \sigma \cdot \varepsilon_k \cdot (T_s)^4$$

$$\chi = \text{Del av effekten som avgår som konvektion}$$

$$\dot{Q} = \text{Brandeffekt [kW]}$$

$$F_{1-4} = \text{Synfaktor från flammen till objektet}$$

¹ Karlsson Björn, Quintiere Jim, *Enclosure fire dynamics*, Lund, 1997

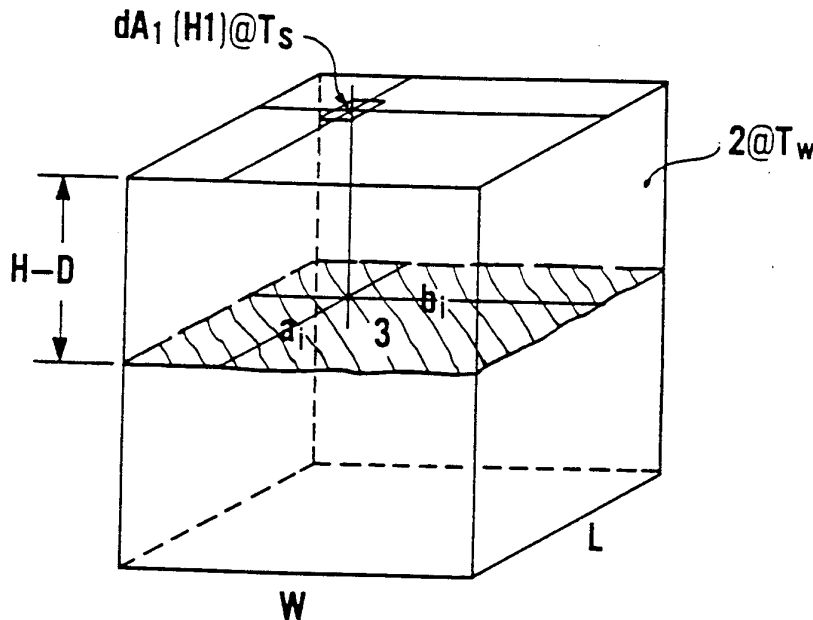
A_f	=	Flammans area, [m ²]
σ	=	Stefan Boltzmanns konstant, [kW/m ² K ⁴]
ε	=	Emissivitet för brandgaserna
$T_{g,u}$	=	Temperatur i övre brandgaslagret, [K]
$T_{w,u}$	=	Temperatur på väggarna i det övre brandgaslagret, [K]
F_{1-2}	=	Synfaktor från väggarna till objektet
$T_{g,l}$	=	Temperatur i det undre brandgaslagret, [K]
F_{1-3}	=	Synfaktor från undersidan av rökasskiktet till objektet
T_s	=	Yttemperatur på objektet, [K]
ε_k	=	Komponentens emissivitet

där synfaktorerna bestäms genom följande modeller. ^{1,2}

$$F_{1-3} = \frac{1}{2\pi} \sum \left(\frac{a_i}{\sqrt{a_i^2 + (H-D)^2}} \text{ARCTAN} \frac{b_i}{\sqrt{a_i^2 + (H-D)^2}} + \frac{b_i}{\sqrt{b_i^2 + (H-D)^2}} \text{ARCTAN} \frac{a_i}{\sqrt{b_i^2 + (H-D)^2}} \right)$$

$$F_{1-2} = 1 - F_{1-3}$$

$a_i, b_i, H, D =$ Dimensioner, se figur A.10.



Figur A.10. Dimensioner i brandrummet ²

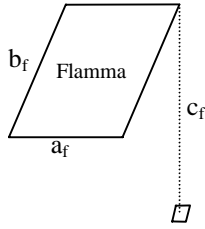
¹ Society for Fire Protection Engineers, *Fire protection engineering handbook*, 1995

² Karlsson Björn, Quintiere Jim, *Enclosure fire dynamics*, Lund, 1997

$$F_{1-4} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{a_f/c_f}{\sqrt{1+(a_f/c_f)^2}} \text{ARCTAN} \frac{b_f/c_f}{\sqrt{1+(a_f/c_f)^2}} + \frac{b_f/c_f}{\sqrt{1+(b_f/c_f)^2}} \text{ARCTAN} \frac{a_f/c_f}{\sqrt{1+(b_f/c_f)^2}} \right)$$

a_f, b_f = Dimensioner på flamma [m], se figur A.11

c_f = Avstånd mellan flamma och objekt [m], se figur A.11



Figur A.11. Dimensioner på flamma.

Sedan sammanförs tidigare formler med undantag av formlerna för synfaktorerna. Detta ger:

$$E'' = \int_0^t h(T_g - T_s) dt + \int_0^t \left(\frac{(1-\chi) \cdot \dot{Q} \cdot F_{1-4} \cdot (1-\varepsilon)}{A_f} + \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_{g,u})^4 + \sigma \cdot (1-\varepsilon) \cdot (T_{w,u})^4 \cdot F_{1-2} + \sigma \cdot (1-\varepsilon) \cdot (T_{g,l})^4 \cdot F_{1-3} - \sigma \cdot \varepsilon_k \cdot (T_s)^4 \right) dt$$

Yttemperatur

Tidigare i *appendix A3* har det gjorts klart att infallande energidosen är mycket starkt beroende av yttemperaturen på det påverkade objektet, ökad yttemperatur ger minskad ökning av energidosen. Observera också att yttemperaturen i sin tur är beroende av den värme som påverkat objektet. Detta ger att ekvationerna måste lösas på numerisk väg genom iteration. Själva itereringen sker automatiskt i kalkylprogrammet och avslutas då ekvationerna når jämvikt.

Yttemperaturen på det utsatta objektet beräknas genom ett standard samband för hur yttemperaturen ökar vid konstant värmestrålning utan värmeövergångstal.¹ Sedan görs antagandet att den totala effekten, både strålning och konvektiv värmeöverföring, används för att räkna ut temperaturökningen under vissa tidssteg. Värmepåverkan varierar med tiden, men för att beräkna temperaturökningen antas den vara konstant under tidsstegen. Den totala yttemperaturökningen är alltså summan av samtliga tidsstegs temperaturhöjningar. Sambandet nedan gäller vid antagandet om halvoändlig vägg där värmetransporten endast sker tvådimensionellt i väggens genomskärning, enligt *figur A.12*.

$$T_{0,t} = T_{0,0} + \sum_i \left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot (q''_{conv} + q''_{rad})_i \cdot \sqrt{\frac{\Delta t_i}{k\rho C}} \right)$$

$T_{0,t}$ = Yttemperaturen på objektet vid tiden t [°C]

$T_{0,0}$ = Yttemperaturen på objektet vid t=0 [°C]

¹ Drysdale Douglas, *Fire Dynamics*, Edinburgh, 1993

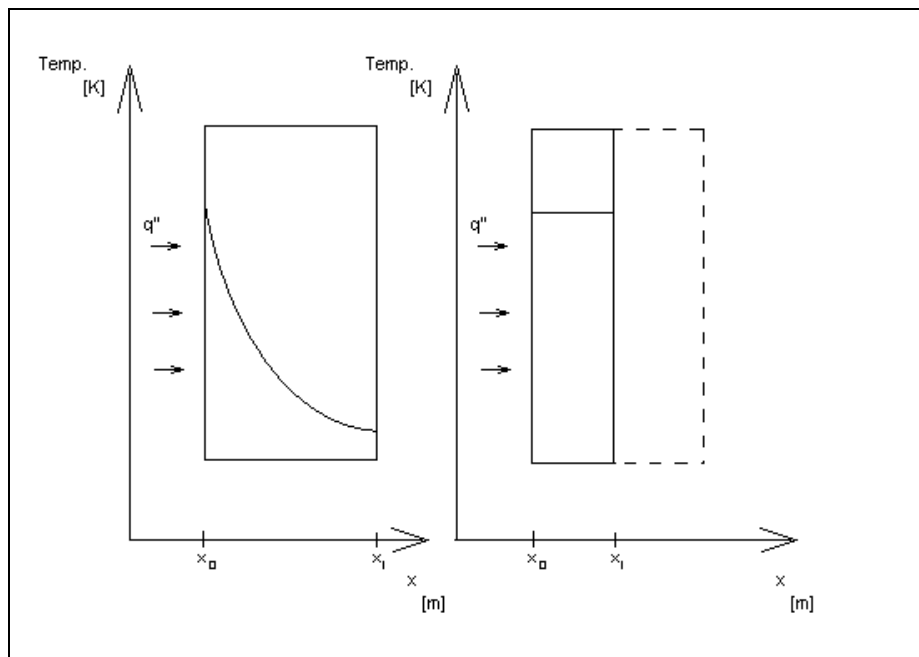
$k\rho C$	=	Objektets värmeupptagningsförmåga [$\text{kW}^2/\text{m}^4\text{C}^2$]
Δt_i	=	Tiden som passerat i aktuellt tidssteg [s]
$(q''_{conv} + q''_{rad})_i$	=	Total effektpåverkan i aktuellt tidssteg [kW/m^2]

Denna modell för att beräkna yttemperaturökningen har jämförts med nedanstående modell för att upptäcka skillnader som kanske pekar på fel i approximering av verkligheten.

Yttemperaturen på det utsatta objektet beräknas nu genom antagandet att energidosen som objektet redan utsatts för likformigt värmer upp en del av objektet.¹ Se *figur A.12*.

$$T_s = T_0 + \frac{E''}{\rho_s \cdot d \cdot C_{p_s}}$$

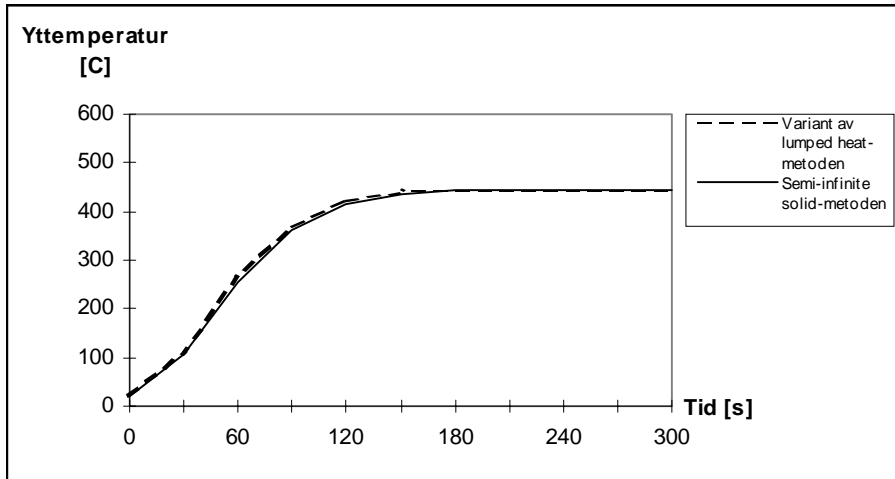
T_0	=	Start tempertur [$^{\circ}\text{C}$]
ρ_s	=	Densitet på objektet [kg/m^3]
d	=	Antagen tjocklek på påverkat objekt, se <i>figur A.12</i> . [m]
C_{p_s}	=	Specifik värmekapacitet hos materialet [$\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$]



Figur A.12. Temperatur fördelning, vid halvoändlig vägg, till vänster. Temperatur fördelning lumped heat capacity¹, till höger,

Resultaten av jämförelsen beror väldigt mycket av vilken påverkad tjocklek som väljs. Efter många försök iaktogs att under det inledande skedet av värmepåverkan ($t < 5$ min) med måttliga effekter bör $d=5$ mm användas för att få liknande yttemperatur vid samtliga tidpunkter. Samtliga olika scenarion gav liknande resultat innan övertändning skedde. Se *figur A.13*. Detta är inte ett bevis för att modellerna stämmer med verkligheten utan endast att de stämmer med varandra vid en viss tjocklek.

¹ Drysdale Douglas, *Fire Dynamics*, Edinburgh, 1993



Figur A.13. Exempel av jämförelse mellan olika ytemperaturmetoder.

Brandgasernas emissivitet

Brandgasernas förmåga att emittera energi beror av dess tjocklek och sotinnehåll och är ett mått på hur effektivt brandgaserna kan fungera som strålkälla/receptor¹.

$$\varepsilon = 1 - e^{-K \cdot L}$$

ε = Brandgasers emissivitet

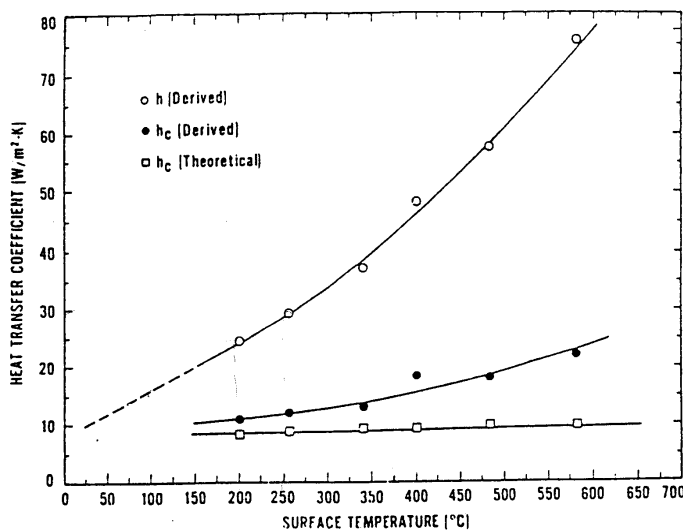
K = Effektiv emissionskoefficient för bränslet [m^{-1}]

L = Brandgasskiktets tjocklek [m]

Den effektiva emissionskoefficienten för brandgaser ligger runt $1.1 m^{-1}$, se senare avsnittet osäkerhetsanalys.

Värmeövergångstal

Det konvektiva värmeövergångstalet, h , är beroende av temperaturen och ökar med ökande temperatur, se figur A.14.



Figur A.14. Värmeövergångstalets beroende av temperaturen.

¹ Drysdale Douglas, *Fire Dynamics*, Edinburgh, 1993

Värmeövergångstalet beror också av bl.a. hastigheten på flödet förbi objektet. Allt detta gör att det är svårt att bedöma vilket värde som skall användas. Det finns dock några riktlinjer:

- Vid naturlig och mycket svagt påtvingad konvektion kan h väjas mellan 10-25 W/m²°C^{1,2}
- Vid påtvingad konvektion varierar h mellan 50-500 W/m²°C, men i de studerade fallen antas värmeövergångstalet variera mellan 50-150 W/m²°C p.g.a. att inte några extrema flöden uppkommer.

Då det är osäkert vilket värde som återspeglar verkligheten bäst därför görs en osäkerhetsanalys, vilken visas senare i detta appendix.

Konvektiv del av förbränningen

Den del av förbränningseffekten som avgår som strålning uppskattas vara ca 30% vilket medför att ca 70% är kvar som konvektion i gulfärgade flammor, vilka uppkommer i de studerade fallen.³

Förklaring av plympåverkan

Ett annat fall är om det påverkade objektet ligger direkt över branden så brandgasplymen träffar det på vägen upp mot taket. Då antas att den största faran är själva branden och dess plym och inte något brandgasskikt och påverkan ifrån varma väggar mm. Detta motiveras med att brandgaserna i plymen oftast är mycket mörka och har därmed en mycket hög emissivitet, vilket gör att mycket lite av den yttre strålningen passerar. Allt detta gäller också för fall med god ventilation då inget brandgasskikt bildas. Då riktas brandgasplymen ut genom ventilationsöppningarna och därmed påverkar komponenterna vid ventilationsöppningarna. Temperaturen på plymen viktas med temperaturen på ventilationsflödet för att beakta utspädningen av brandgasplymen.

De formler och samband som används är framtagna av Gunnar Heskestad.⁴

$$T_c = 9.1 \cdot \left(\frac{T_\infty + 273}{g \cdot C_p^2 \cdot \rho_\infty^2} \right)^{1/3} \cdot Q_c^{2/3} \cdot (z - z_0)^{-5/3} + T_\infty$$

$$z_0 = -1.6 + 0.094 \cdot Q_c^{2/5}$$

T_c = Temperaturen i centrum av plymen [°C]

T_∞ = Temperaturen i omgivningen [°C]

g = Gravitationskonstanten [m/s²]

C_p = Specifik värmekapacitet för luft [kJ/kg°C]

ρ_∞ = Luftens densitet [kg/m³]

Q_c = Konvektiv effekt [kW]

z = Höjden över bränslet [m]

z_0 = Höjden från bränslet till den virtuella början av plymen [m]

¹ Drysdale Douglas, *Fire Dynamics*, Edinburgh, 1993

² Bern Magnus, *Grundläggande brandfysik - en översikt*, Lund, 1989

³ Brandskyddslaget, LTH-brandteknik, *Brandskydd, teori och praktik*, Stockholm, 1994

⁴ Society for Fire Protection Engineers, *Fire protection engineering handbook*, 1995

Därefter används tidigare förklarade formler och samband för att fortsätta beräkningarna som leder fram till energidosen med endast några modifikationer.

Vid plympåverkan är:

$$q''_{conv} = h(T_c - T_s)$$

$$q''_{rad} = \sigma \cdot (T_c - T_s)^4$$

vilket ger annat slututtryck.

$$E'' = \int_0^t h(T_c - T_s) dt + \int_0^t (\sigma \cdot (T_c - T_s)^4) dt$$

Osäkerhetsanalys

Då det finns stora osäkerheter i viss indata till kalkylprogrammet analyseras dessa i en osäkerhetsanalys. Analysen ger hur resultaten av kalkylprogrammet kan variera då indatan antas variera på ett definierat sätt. Exempel på osäkra parametrar är effektiv emissionskoefficient, värmeövergångstal och modellosäkerheter i datorprogrammet CFAST.

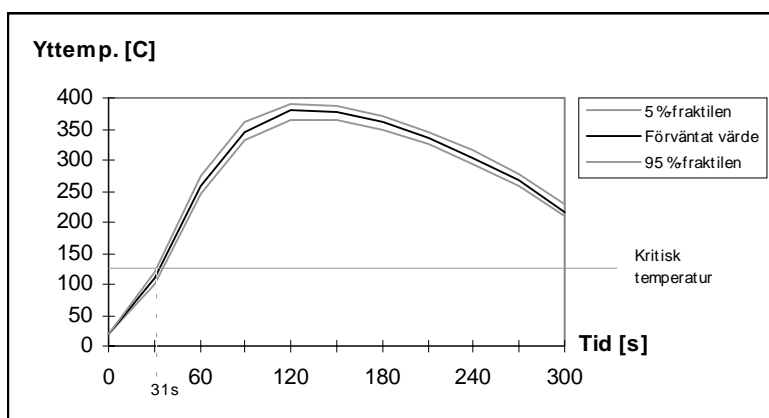
Osäkerheterna i indatan antas täckas in av definierade sannolikhetsfördelningar, vilka bygger på kunskap om hur indatan kan variera. Ju mer kunskap desto mindre osäkerheter, vilket i sin tur ger en mer definierad sannolikhetsfördelning.

Själva osäkerhetsanalysen utförs med @RISK och resultaten av denna blir resultaten av kalkylprogrammet.

Resultat av kalkylprogram

Resultaten av kalkylbladet redovisas som sannolikhetsfördelningar i varje tidpunkt för den valda dimensionerande parametern. För att uppnå tillfredsställande säkerhet för att påverkan av branden i scenariot inte överskrider det beräknade värdet väljs 95% fraktilen av den valda parametern som dimensionerande, se figur A.15.

Om kurvan över den förväntade påverkan väljs som den dimensionerande, har komponenten blivit obrukbar redan innan den kritiska tiden i 50 % av fallen vilket ger dålig säkerhet. Med avseende på detta väljs istället valt 95 %-fraktilen som den dimensionerande. Med 95 %-fraktilen menas att påverkan, t.ex. yttemperatur, på komponenten i 95 % av alla möjliga fall understiger den valda temperaturen.



Figur A.15.. Exempel på resultat från kalkylprogrammet.

APPENDIX B

I följande appendix behandlas olika steg i beräkningsgången, vilken indata som använts och resultat som kan presenteras.

B1: CFAST

I detta avsnitt ges information om vilka grundinställningar och antaganden som har gjorts för att simulera, respektive brandscenario, med hjälp av CFAST. Här belyses även vilka ventilationsfall som används.

Allmänna grundinställningar

I CFAST har följande antaganden använts.

Temperatur inne i containern.	-	21 °C
Temperatur utanför containern representerar medelutomhustemperaturen i Sverige.	-	15 °C
Trycket inne i containern och utanför antas vara normalt då exakt tryck inte är känt.	-	100 kPa
Längd	-	5.62 m
Bredd	-	2.18 m
Höjd	-	2.07 m
Innermåtten på containern är 5.62x2.18x2.07. Dessa värden är framtagna genom reducering av innervolymen i containern med 10% för att kompensera för all materiell i containern. Materiellen upptar egentligen en större volym, men eftersom den fortfarande kan uppta och leda bort värme kan de ej reduceras bort helt.		
Gångdörren är 0.8 m bred och 2.02 m hög.	-	1.6 m ²
Omslutande ytor i containern består av tunn plåt och mineralull. Då det i CFAST ej finns någon sådan kombination väljs och antas mineralull ha mest liknande värmeledningsegenskaper som omslutande ytor.		
Gränsen i syrekonzentrationen då flambranden går över i glödbrand.	-	10 %

Brand i dieselmotor

I simuleringen antas branden uppstå i dieselmotorn genom att en eller flera spridarrör vibrerar loss och finfördelad diesel kommer ut och antänds. För att få det värsta scenariot antas alla 6 spridar-rören vibrera loss.

För effektutveckling se *appendix D*.

Förbränningsvärmnet hos diesel	-	40 MJ/kg
Spjäll	-	0.81 m ²
Fläktarea, centrum av öppningen ligger 0.8 m över golvet.	-	1 m ²

6 olika fall har simulerats enligt nedan:

1) Dörren är stängd under hela simuleringen Spjällen är stängda. Otätheter i spjäll antas, läckage i procent av fullt öppna spjäll	-	10%
2) Dörren är öppen under hela simuleringen Spjällen är stängda. Otätheter i spjäll antas, läckage i procent av fullt öppna spjäll	-	10%
3) Dörren är öppen under hela simuleringen Spjällen är öppna Ventilation från LKE- och dieselfläkt	-	8.61 m ³ /s
4) Dörren är öppen under hela simuleringen Spjällen är öppna Installerad trumma, endast ventilation från dieselfläkt inne i containern.	-	4.72 m ³ /s
5) Dörren är stängd Spjällen är öppna Ventilation från LKE- och dieselfläkt	-	8.61 m ³ /s
6) Dörren är stängd Spjällen är öppna Installerad trumma, endast ventilation från dieselfläkt inne i containern.	-	4.72 m ³ /s

Brand i utspilld diesel

I denna simulering antas att en brand uppstår genom ett läckage av diesel från dieseltanken och en pöl bildas, cirka 1 liter, och antänds.

För effektutveckling se *appendix D*.

Förbränningsvärmets hos diesel	-	40 MJ/kg
Spjäll	-	0.81 m ²
Fläktarea, centrum av öppningen ligger 0.8 m över golvet	-	1 m ²

6 olika fall har simulerats enligt nedan

1) Dörren är stängd under hela simuleringen Spjällen är stängda. Otätheter i spjäll antas i procent av fullt öppna spjäll	-	10%
2) Dörren är öppen under hela simuleringen Spjällen är stängda. Otätheter i spjäll antas, läckage i procent av fullt öppna spjäll.	-	10%
3) Dörren är öppen under hela simuleringen Spjällen är öppna Ventilation från LKE- och dieselfläkt	-	8.61 m ³ /s
4) Dörren är öppen under hela simuleringen Spjällen är öppna Installerad trumma, endast ventilation från dieselfläkt inne i containern.	-	4.72 m ³ /s
5) Dörren är stängd Spjällen är öppna Ventilation från LKE- och dieselfläkt	-	8.61 m ³ /s
6) Dörren är stängd Spjällen är öppna Installerad trumma, endast ventilation från dieselfläkt inne i containern.	-	4.72 m ³ /s

Brand i kabel

Brand uppkommer genom att en ljusbåge bildas i en kabel med skadad isolering vilken antänder kabeln. Branden sprids vidare och antänder hela kabelstegen. Branden antas uppstå i den nedre delen av kabelstegen för att få värsta effektutvecklingen. Om istället branden uppstod i den övre delen av kabelstegen kommer brandgaserna dämpa effektutvecklingen och branden kan komma att dö ut.

För effektutveckling se *appendix D*.

Förbränningsvärmets hos kabel ¹	-	17 MJ/kg
Spjäll	-	0.81 m ²
Fläktarea, centrum av öppningen ligger 0.8 m över golvet	-	1 m ²

6 olika fall har simulerats enligt nedan:

1) Dörren är stängd Spjällen är stängda. Otätheter i spjäll antas, läckage i procent av fullt öppna spjäll.	-	10%
2) Dörren är öppen under hela simuleringen Spjällen är stängda. Otätheter i spjäll antas, läckage i procent av fullt öppna spjäll.	-	10%
3) Dörren är öppen under hela simuleringen Spjällen är öppna Ventilation från LKE- och dieselfläkt	-	8.61 m ³ /s
4) Dörren är öppen under hela simuleringen Spjällen är öppna Installerad trumma, endast ventilation från dieselfläkt inne i containern.	-	4.72 m ³ /s
5) Dörren är stängd Spjällen är öppna Ventilation från LKE- och dieselfläkt	-	8.61 m ³ /s
6) Dörren är stängd Spjällen är öppna Installerad trumma, endast ventilation från dieselfläkt inne i containern.	-	4.72 m ³ /s

¹ Van Hees Patrick, Thureson Per, *Burning behavior of cables - modelling of flame spread*, Borås, 1996

Brand i luftkylenheten

Branden uppkommer i luftkylenheten genom att oljefiltret blir mättat och finfördelad olja kommer ut och antänds av omkringliggande varma ledningar.

För effektutveckling se *appendix D*.

Förbränningsvärmets viktas mellan diesels och polyuretans värden då båda bränslena brinner samtidigt. - 35 MJ/kg

Öppning tilluft - 0.36 m²

Öppning frånluft - 0.36 m²

Fläkten sitter i anslutning till spjällen - 0.36 m²

2 fall har simulerats enligt nedan:

1) Öppningar till, till- och frånluft
Ingen ventilation

2) Öppningar till, till- och frånluft
Ventilation från LKE-fläkt - 3.89 m³/s

B2: Materialdata-skadekriterier

Detta avsnitt behandlar skadekriterier på specifik apparatur i containern efter en eventuell brand.

Skadekriterierna bestäms efter korttidsexponering av en brand. Anledningen till att skadekriterierna inte undersöks då komponenter utsätts för liten påverkan under en längre tid är att de brandförlopp som tagits upp, *kapitel 7.2 Riskidentifiering*, kommer att ha en snabb stegrande effektutveckling och anses bringa större skada.

För att kunna bestämma den kritiska tiden innan utsatt objekt blir obrukbart måste först objektets tålighet samt vilket skadekriterie som blir dimensionerande bestämmas.

Det är svårt att hitta information angående detta, på grund av att för lite forskning genomförts på området, men den som framkommit genom grundliga studier redovisas i *tabell B.1* nedan.

Komponent	Skadekriterier	Kommentar
Elektronik	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatur inne i elektronik 70 °C.^{1,2} 2. Inkommen energidos 600-900 kJ/m².³ 3. Information på datadiskett, 100 °C, Information på hårddisk, 400-500 °C.⁴ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kan ge irreversibla skador på elektronik. 2. Beroende på hur känslig elektroniken är, varierar energidosen därefter. För att vara på den säkra sidan används 600 kJ/m². 3. Det anses också vara möjligt att rädda information på disketter som utsatts för ca 100 °C och om data har lagrats på en hårddisk kan information räddas även om datautrustningen har utsatts för temperaturer upp till 400-500 °C.
Kablar (PVC)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Avspaltning av kabelns isolering börjar ske vid 120 °C.¹ 2. Isoleringen totalförstörs vid 300 °C.¹ 3. Kablar antänds mellan 180-320 °C.⁵ 4. Energidos 6000 kJ/m².³ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. - 2. PVC-kabel. 3. Om kabeln ej innehåller PVC gäller den lägre temperaturen. De flesta kablar som finns i containern innehåller PVC alltså bör en högre temperatur väljas. Vi har valt att den dimensionerande temperaturen för kablar skall vara 280 °C. 4. - 5. Då kablar kommer i kontakt med flammor tappar de sin funktion.

Tabell B.1, del 1. Skadekriterier för specifik apparatur i containern. Fortsättning på nästa sida.

¹ Arvidsson Tommy, *Brandgasers och släckmedels verkan på datorsystem*, 1986, Stockholm

² Arvidson Magnus, Person Henry, *Koldioxid (CO₂) påverkan på elektronik - släckning med låga koncentrationer*, 1993, Borås

³ Magnusson Sven-Erik, *Konsultation*, 1997

⁴ Brand och räddning 3/92

⁵ Van Hees Patrick, Thureson Per, *Burning behavior of cables - modelling of flame spread*, 1996, Borås

Komponent	Skadekriterier	Kommentar
IPC-dator (Polykarbonat)	<ol style="list-style-type: none"> Smälttemperatur 230 °C.¹ Antändningstemperatur 450 °C.² Sönderfallstemperatur 420 °C. 1,3 Inkommen energidos 600-900 kJ/m².⁴ 	<ol style="list-style-type: none"> Dimensionerande temperatur för material som består av polykarbonat sättes till 230 °C. - - Beroende på hur känslig elektroniken är, varierar energidosen därefter. För att vara på den säkra sidan används 600 kJ/m².
Reglage (Polyamid)	<ol style="list-style-type: none"> Smälttemperatur 260 °C.^{2,5} Sönderfallstemperatur 365 °C. 2 	<ol style="list-style-type: none"> Material av polyamid blir den dimensionerande temperaturen 260 °C. -
Visare, tryckknappar (Polykarbonat)	<ol style="list-style-type: none"> Smälttemperatur 230 °C.² Antändningstemperatur 450 °C.¹ Sönderfallstemperatur 420 °C. 1,2 	<ol style="list-style-type: none"> Dimensionerande temperatur för material som består av polykarbonat sätts till 230 °C. - -
Slangar (Teflon)	<ol style="list-style-type: none"> Max drifttemperatur 260 °C.⁶ Smälttemperatur 327 °C.⁵ 	<ol style="list-style-type: none"> Dimensionerande temperaturen för slangar av teflon antas vara 260 °C. -
Packning (Silicon)	<ol style="list-style-type: none"> Max drifttemperatur 120 °C.⁷ 	<ol style="list-style-type: none"> Dimensionerande temperaturen för packningar av silicon antas vara 120 °C.
Slang till kylvattennivåvå kten (EPDM- gummi)	<ol style="list-style-type: none"> Max drifttemperatur 125 °C.⁶ Smälttemperatur 275 °C.⁸ 	<ol style="list-style-type: none"> Dimensionerande temperaturen för slangar av EPDM-gummi antas vara 125 °C. -

Tabell B.1, del 2. Skadekriterier för specifik apparatur i containern

¹ Society for Fire Protection Engineers, *Fire protection engineering handbook*, 1995

² General electric, *produktkatalog*, 1997

³ Society for Fire Protection Engineers, *Fire protection engineering handbook*, 1995

⁴ Magnusson Sven-Erik, Konsultation, 1997

⁵ *Fire and materials vol 21*, 1997

⁶ Bohlender, *produktkatalog*, 1997

⁷ SCANIA Industrial & Marine Engines, *produktbeskrivning*, 1997

⁸ James Arthur M, Lord Mary P, *Macmillan's Chemical and Physical Data*, London, 1992

Värmeupptagningsförmåga

För att kunna beräkna den dimensionerade påverkan måste den mängd värme som leds in i materialet bestämmas. Den mängd värme som kan ledas in i ett material beror av densiteten, värmeledningsförmågan och slutligen den specifika värmekapaciteten. Ur produkten av dessa parametrar erhålls ett mått på ett materials benägenhet att ta upp värme. De olika materialens värmeupptagningsförmåga som används i beräkningarna presenteras i *tabell B.2*.

Material	$k\rho c_p$ [$\text{W}^2/\text{m}^4\text{K}^2$]	Kommentar
Hardrubber (polyisopren), EPDM	$3.4 \cdot 10^5$ - $3.5 \cdot 10^5$	Det lägre värdet har antagits i beräkningarna, $3.4 \cdot 10^5 \text{ W}^2/\text{m}^4\text{K}^2$.
Polyamid	$2.5 \cdot 10^6$	-
Polykarbonat	$2.8 \cdot 10^5$	-
PVC	$1.8 \cdot 10^5$ - $4.1 \cdot 10^5$	Det lägre värdet är för hård PVC och det högre för mjuk. För kabel antas att värmeupptagningsförmågan är $3.5 \cdot 10^5 \text{ W}^2/\text{m}^4\text{K}^2$.
Silicon	$2.2 \cdot 10^5$ - $1.2 \cdot 10^6$	Det högre värdet har antagits i beräkningarna, $1.2 \cdot 10^6 \text{ W}^2/\text{m}^4\text{K}^2$.
Teflon	$5.5 \cdot 10^5$ - $6.0 \cdot 10^5$	Det högre värdet har antagits i beräkningarna, $6.0 \cdot 10^5 \text{ W}^2/\text{m}^4\text{K}^2$.

Tabell B.2. Värmeupptagningsförmåga för olika material.^{1,2}

¹ Ondrus Julia, *Brandförlopp*, Lund, 1990

² James Arthur M et.al., *Macmillan's Chemical and Physical Data*, London, 1992

B3: Kalkylprogram

I detta appendix behandlas kalkylprogrammets indata.

Indata

För att kalkylprogrammet skall fungera krävs följande indata för samtliga tidssteg (varje 30:e sekund).

Från CFAST:

- Gastemperaturerna för både det övre och det undre gaslagret
- Väggtemperaturerna för samtliga väggar
- Brandgaslagrets höjd över golvet
- Den, i rummet, utvecklade brandeffekten
- Plymflödet in i övre brandgaslagret
- Trycket i rummet

Antagna korrektionskoefficienter för CFAST:

- Korrektionskoefficienten för gastemperaturen
- Korrektionskoefficienten för brandgaslagrets höjd

Geometri:

- Takhöjd
- Avstånden från flamman till samtliga väggar
- Avståndet från flamman till påverkad komponent
- Flammans ungefärliga dimensioner

Ventilation:

- Ventilationsflöde genom containern

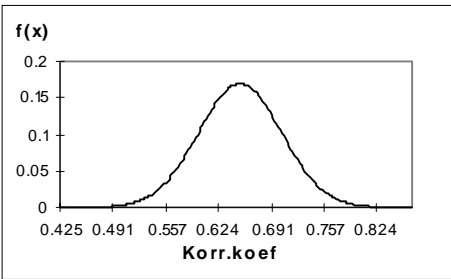
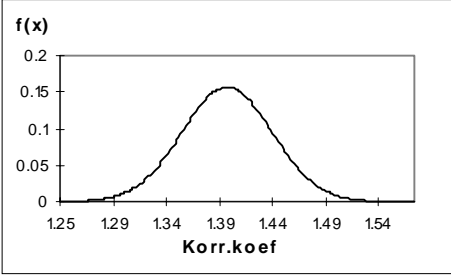
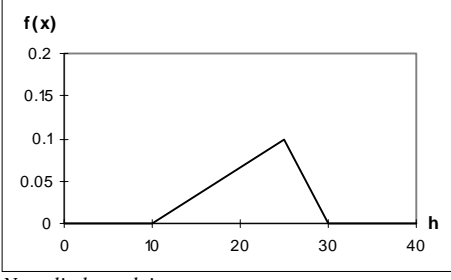
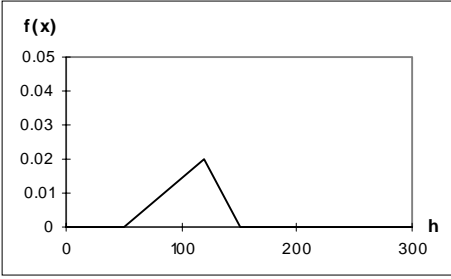
Materialdata på komponenten

- Materialets värmeupptagningsförmåga

Övriga antaganden:

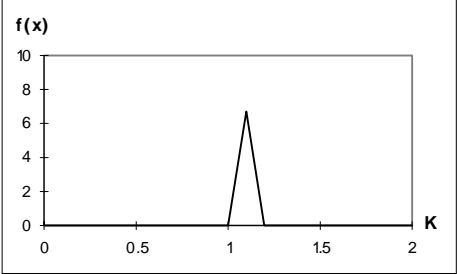
- Värmeövergångstalet, h
- Effektiv emissionskoefficient, κ
- Flammans area, A_f
- Emissiviteten för påverkat objekt, ϵ_k

Viss använd indata presenteras i *tabell B.3*.

Indata	Kommentar	Antagen fördelning
Korrektionskoefficienten för gastemperaturen	CFAST har en tendens att överprediktera verkligheten. För en brand i golvnivå i ett rum har en korrektions-koefficient tagits fram. ¹	 <p>A normal distribution plot showing the probability density function $f(x)$ for the correction coefficient. The x-axis is labeled 'Korr.koef' and has tick marks at 0.425, 0.491, 0.557, 0.624, 0.691, 0.757, and 0.824. The y-axis is labeled $f(x)$ and ranges from 0 to 0.2. The curve is bell-shaped and centered around 0.65.</p> <p>@RISK, RiskNormal(0.65,0.052)</p>
Korrektionskoefficienten för brandgaslagrets höjd	CFAST har en tendens att överprediktera verkligheten. För en brand i golvnivå i ett rum har en korrektions-koefficient tagits fram. ¹	 <p>A normal distribution plot showing the probability density function $f(x)$ for the correction coefficient. The x-axis is labeled 'Korr.koef' and has tick marks at 1.25, 1.29, 1.34, 1.39, 1.44, 1.49, and 1.54. The y-axis is labeled $f(x)$ and ranges from 0 to 0.2. The curve is bell-shaped and centered around 1.4.</p> <p>@RISK, RiskNormal(1.4, 0.042)</p>
Takhöjd	2.07 m	
Ventilationsflöde genom containern	0 m ³ /s, 4.72 m ³ /s eller 8.61 m ³ /s	Flödet är beroende av delscenario.
Materialets värmeupptagningsförmåga		Beror på vilken komponent som är aktuell, se <i>tabell B.2</i> .
Värmeövergångstalet, h	<p>Beror av delscenario.</p> <p>Den naturliga konvektionen varierar mellan 10-25 W/m²°C men då det råder ett svagt påtvingat flöde i containern utökas gränsen till 30. Det mest troliga värdet är dock 25 W/m²°C.</p> <p>Den påtvingade konvektionen varierar mellan 50-500 W/m²°C men i de studerade fallen antas värmeövergångstalet endast variera mellan 50-150 W/m²°C då inte några extrema flöden uppkommer. Det mest sannolika värdet är 120 W/m²°C.</p>	 <p>A triangular distribution plot showing the probability density function $f(x)$ for the heat transfer coefficient h. The x-axis is labeled h and has tick marks at 0, 10, 20, 30, and 40. The y-axis is labeled $f(x)$ and ranges from 0 to 0.2. The distribution is a triangle with its peak at $h = 25$.</p> <p>Naturlig konvektion @RISK, RiskTriang(10,25,30)</p>  <p>A triangular distribution plot showing the probability density function $f(x)$ for the heat transfer coefficient h. The x-axis is labeled h and has tick marks at 0, 100, 200, and 300. The y-axis is labeled $f(x)$ and ranges from 0 to 0.05. The distribution is a triangle with its peak at $h = 120$.</p> <p>Påtvångad konvektion @RISK, RiskTriang(50,120,150)</p>

Tabell B.3, del 1. Del av indata i kalkylblad. Fortsättning på nästa sida.

¹ Lundin Johan, *Uncertainty in smoke transport models*, Lund, 1997

Indata	Kommentar	Antagen fördelning
Flammans area	Uppskattas till 1m^2 för det dimensionerande brandscenariot.	
Emissiviteten för påverkat objekt	Antas till 1.0 för att vara på den säkra sidan då den är svår att bedöma.	
Effektiv emissionskoefficient, κ	Runt 1.1 m^{-1} . Brandgasers effektiva emissionskoefficient beror av hur mörka och täta brandgaserna är. Då detta varierar antas det ligga mellan $1-1.2\text{ m}^{-1}$ med det, enligt Ove Pettersson, mest troliga värdet 1.1 m^{-1} .	 <p>@RISK, RiskTriang(1,1.1,1.2)</p>

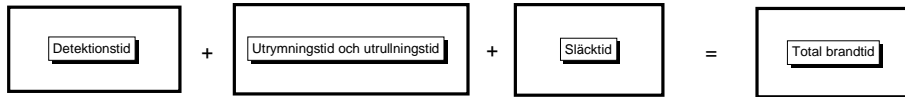
Tabell B.3, del 2. Del av indata i kalkylblad.

¹ Drysdale Dougal, *Fire Dynamics*, Edinburgh, 1993

B4: Total brandtid

Följande avsnitt behandlar begreppet total brandtid och hur den tas fram.

Den totala brandtiden beräknas som summan av detektionstid och släcktid samt i vissa fall utrullningstid och utrymningstid, se *figur B.1*.



Figur B.1. Total brandtid

Om ventilation används måste spjällen och kylfläkten till LKE:n stängas innan släckmedlet kan påföras. Denna fördröjning kallas här för utrullningstid och måste tas med i beräkningarna då det är troligt att stora delar av släckmedlet går förlorade om påföringen påbörjas innan spjällen och kylfläkten till luftkylenheten är stängda. I de fall då släckmedel med toxiska effekter på människan används bör tid avsättas för att personer skall kunna sätta sig i säkerhet innan påföringen påbörjas. För dessa tider se *tabell B.4*.

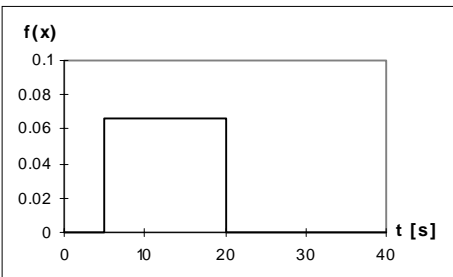
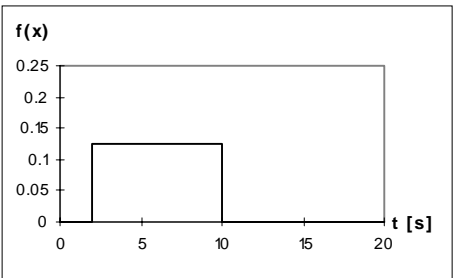
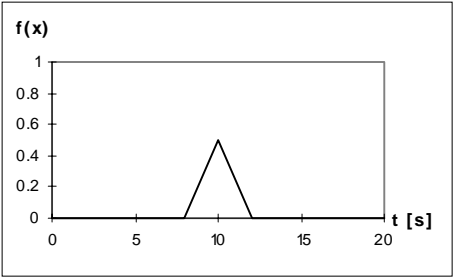
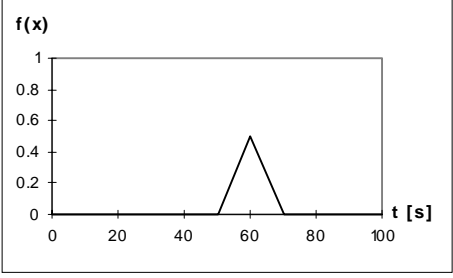
Utrullningstid	Utrymningstid
Spjällen stängs på 10 s Kylfläkten stängs på 10 s.	Personlig utrymning på 10 s.

Tabell B.4. Utrullnings- och utrymningstid.

Då det finns osäkerheter i exakt när detektionsystemen reagerar samt släcksystemen släcker utförs en osäkerhetsanalys i @RISK Analysen utförs genom anta olika sannolikhetsfördelningar för olika systems responstider. Se *tabell B.5*.

	Aktivering/inerteringstid	Antagen fördelning
Rökdetektor	Det är osäkert exakt när rökdetektorer aktiveras. Genom beräkningar och konsultation av expertis har det framkommit att det är troligt att detektion kommer att ske mellan <u>20-60 s</u> efter brandens uppkomst. P.g.a. att mer information ej finns att tillgå bedöms det vara lika stor sannolikhet för aktivering i alla tidpunkter inom tidsintervallet.	<p>The graph shows a uniform distribution function $f(x)$ on the y-axis (ranging from 0 to 0.05) against time t in seconds on the x-axis (ranging from 0 to 80). A rectangular pulse is shown between $t = 20$ and $t = 60$ seconds, with a constant height of 0.025. Below the graph, the text reads: '@RISK, RiskUniform(20,60)'</p>

Tabell B.5, del 1. Sammanställning av detektions- och släcksystemens responstider. Fortsättning på nästa sida

	Aktivering/inerteringstid	Antagen fördelning
Samplad rökdetektor	Det är osäkert när en samplad rökdetektor aktiveras. Genom konsultation av expertis har det framkommit att det är troligt att detektion kommer att ske mellan <u>5-20 s</u> efter brandens uppkomst. På samma sätt som ovan bedöms det vara lika stor sannolikhet för aktivering i alla tidpunkter inom tidsintervallet.	 <p>@RISK, RiskUniform(5,20)</p>
Flamdetektor	Det osäkert när en flamdetektor aktiveras. Genom konsultation av expertis har det framkommit att det är troligt att detektion kommer att ske mellan <u>2-10 s</u> efter brandens uppkomst. På samma sätt som ovan bedöms det vara lika stor sannolikhet för aktivering i alla tidpunkter inom tidsintervallet.	 <p>@RISK, RiskUniform(2,10)</p>
Halotron	Litteraturstudier och konsultation av expertis visar att halotronsystäm med största sannolikhet släcker en brand efter 10 s. Då detta är en medeltid för en mängd försök antas systemet ibland släcka lite tidigare (8-10 s) eller senare (10-12).	 <p>@RISK, RiskTriang(8,10,12)</p>
Koldioxid och de komprimerade gaserna, Inergen® och Argonite®.	Litteraturstudier och konsultation av expertis visar att system med koldioxid, Inergen® eller Argonite® med största sannolikhet släcker en brand efter 60 s. Då detta är en medeltid för en mängd försök antas systemet ibland släcka lite tidigare (50-60 s) eller senare (60-70).	 <p>@RISK, RiskTriang(50,60,70)</p>

Tabell B.5, del 2. Sammanställning av detektions- och släcksystemens responstider.

B5: Enskilda komponenters återställningstid

Här följer information om olika komponenters återställningstid.

Uppgifterna, i *tabell B.6* bygger på materieluppgifter från huvudleverantören, Elektromatik power generation AB.¹ De har i sin tur baserat tiderna på erfarenheter, tester och egna uppskattningar.

Det är viktigt att notera att tiderna är predikterade värden och att de gäller endast ifall nödvändig expertis och materiel redan finns på plats. Tiden det tar att ta fram materiell och expertis behandlas ej närmare.

Vidare gäller tiderna bara för varje enskild komponent om den skulle ersättas. Om flera delar skulle gå sönder kommer antagligen den totala återställningstiden att bli mindre än summan av de ingående delarnas utbyttestider.. Dock är det svårt att uppskatta hur pass mycket snabbare det skulle ta att återställa containern, därför antas att de obrukbara komponenternas återställningstider är additiva.

Föremål	Återställningstid [h]	Komentar
Dieselmotor Scania	5	Ifall hela dieselmotorn havererar tar det ca 5 timmar att byta ut denna. Övriga delar tar mellan 0.1-2 timmar att byta ut, där termostat tar 0.1 timmar och vattenpumpen 2 timmar.
Turbo	1	
Insprutningspump	1	
Övrigt	0.1-2	
Batteri+laddare+kablar	5	Att byta ut hela batteripaketet tar 5 timmar.
Spjällmotor	0.2	–
Spjäll på kylluftskanal	1	
Säkerhetsbrytare till:		
Omformare	0.3	–
Lyftkylenhet	0.3	
Kylvattennivåvakt	1	
Packning	1	–
Gummislang	0.5	
Kablar till:		Tiden det tar att byta ut en kabel varierar beroende till stor del på var den sitter.
LKE-säk.brytare	1	
Säk.brytare-elskåp LKE	2	
Omformare-säk.brytare	0.5	
Säk.brytare-elskåp omf.	1.5	
Kabelstege	20	
Mätare till luftfilter	2	
Slang till mätare för luft-filtret	0.25	–
Omformare	2	Att byta ut omformaren tar 2 timmar.
LKE	4	Om LKE: demoleras tar det 4 timmar att ersätta denna. Skall endast mindre delar bytas ut tar det mellan 0.1-0.5 timmar beroende på vilken del som berörs.
Huvudkylare	3	
Kompressor	2	
Oljeslang	0.1	
Slangklammer	0.1	
Oljefilter	0.1	
Temperaturgivare	0.2	
Ventiler	0.1-0.5	

Tabell B.6, del 1. Tider för att byta ut skadad apparatur. Fortsättning på nästa sida.

¹ Elektromatik Power Generation AB, *Materialuppgifter för Kraggcont 037/039/T*, 1997

Föremål	Återställningstid [h]	Komentar
Elskåp G/Nät Effektbrytare Vridströmställare Automatsäkringslåda Tryckknappar Visare	1 0.5 1 0.2 0.4	All apparatur som finns på elskåp G/Nät tar mellan 0.5-1 timme att byta ut beroende på vilken del som skall ersättas.
Elskåp Elverk IPC + Mil Reglerenhet Vridströmställare	1.5 0.5-1 0.5	All apparatur som finns på elskåp Elverk tar mellan 0.5-1 timme att byta ut beroende på vilken del som skall ersättas, förutom IPC + Mill som tar 1.5 timmar.
Elskåp LKE Vridströmställare Vridpotentiometrar Automatsäkringslåda Larmtablå Natek styrenhet Natek temp. Instr	0.5 0.5 1 1 1.5 0.5	All apparatur som finns på elskåp LKE tar mellan 0.5-1 timme att byta ut beroende på vilken del som skall ersättas.
Elskåp Omformare Nyckelvred Vridströmställare Vridpotentiometer Larmtablå Automatsäkringslåda	0.5 0.5 0.5 1 1	All apparatur som finns på elskåp Omformare tar mellan 0.5-1 timme att byta ut beroende på vilken del som skall ersättas.

Tabell B.6, del 2. Tider för att byta ut skadad apparatur.

I tabell B.6 tas ej närmare hänsyn till de komponenter som sitter inne i elskåpen. Den apparatur och de komponenter som valts att ta upp i tabellen är de som finns på utsidan av elskåpen. Anledningen till detta är att utanpåliggande utrustning antagligen kommer att bli obrukbar före den som finns inuti elskåpen.

B6: Händelseträäd

I detta avsnitt presenteras indata som används i händelseträden samt utseendet av samtliga händelseträäd.

Efter konsultation med tillverkare, FMV-prov och flygflottiljen i Såtenäs har uppskattningar gjorts angående sannolikheter för hur ofta dörren och spjällen är öppna samt hur ofta fläktarna är på.

- Dörren in till containern är öppen ca 10 minuter per dygn
- Kylfläkten till dieselmotorn är endast på i mobilt tillstånd och använd då ca 4 timmar per dygn
- Spjällen till kylfläkten är endast öppna vid drift av kylfläkten och är då ändå stängda ca 5 min per dygn

Sannolikheterna räknas fram genom att dividera ovanstående tider med totala tiden under ett dygn och presenteras i *tabell B.7*.

Sannolikheterna för att detektions- och släcksystemen fungerar är skattade från ett statistiskt underlag.¹ Anledningen till att en så hög sannolikhet som 98 % väljs är att det är en militär anläggning och att en utveckling av de dagliga tillsynsrutinerna skulle kunna innefatta även en koll på brandsäkerhetssystemen. Se *tabell B.7*.

	Sannolikhet hangardrift	Sannolikhet mobildrift	Sannolikhet Luftkylenhet
Dörren öppen	0.7 %	0.7 %	-
Fläktarna påslagna	0 %	20 % om dörren är stängd. 50 % om dörren är öppen	20 %
Spjällen öppna	-	98 % om fläktarna är påslagna. 0 % om fläktarna är avslagna.	-
Detektion fungerar	98 %	98 %	98 %
Släcksystemet fungerar	98 %	98 %	98 %

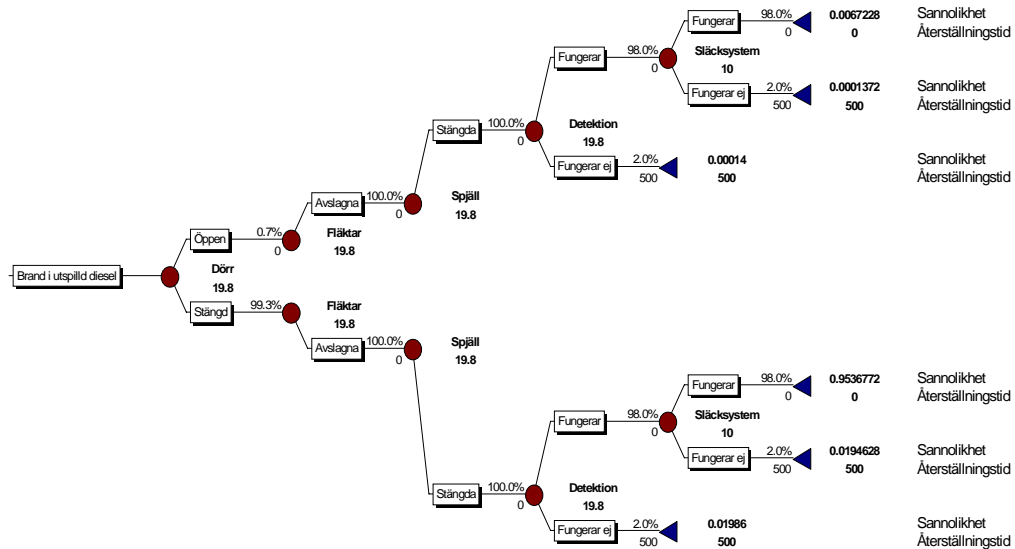
Tabell B.7. Sannolikheter för händelseträden.

Då övertändning sker eller systemen ej fungerar antas ett fiktivt värde på antalet timmar det krävs för att reparera de skadade komponenterna, vilket har satts till 500 timmar i fallen ute i containern och 10 timmar i luftkylenheten. Med andra ord betyder detta att om övertändning sker eller systemen ej fungerar kommer stora delar av containern att slås ut. Det fiktiva värdet på 500 timmar används alltså ej i själva dimensioneringen. Värdet visar endast att så stora skador har uppstått att det ej är möjligt att återställa containern utan att en helt ny container krävs.

¹ Bukowski R, *Balanced Design Concepts*, NIST

Användning vid hangar

Sluthändelseträdet nedan, se *figur B.2*, visar alla tänkbara sluthändelser som kan kunna tänkas uppkomma för det dimensionerande brandscenariot i de fall då containern står vid hangar.

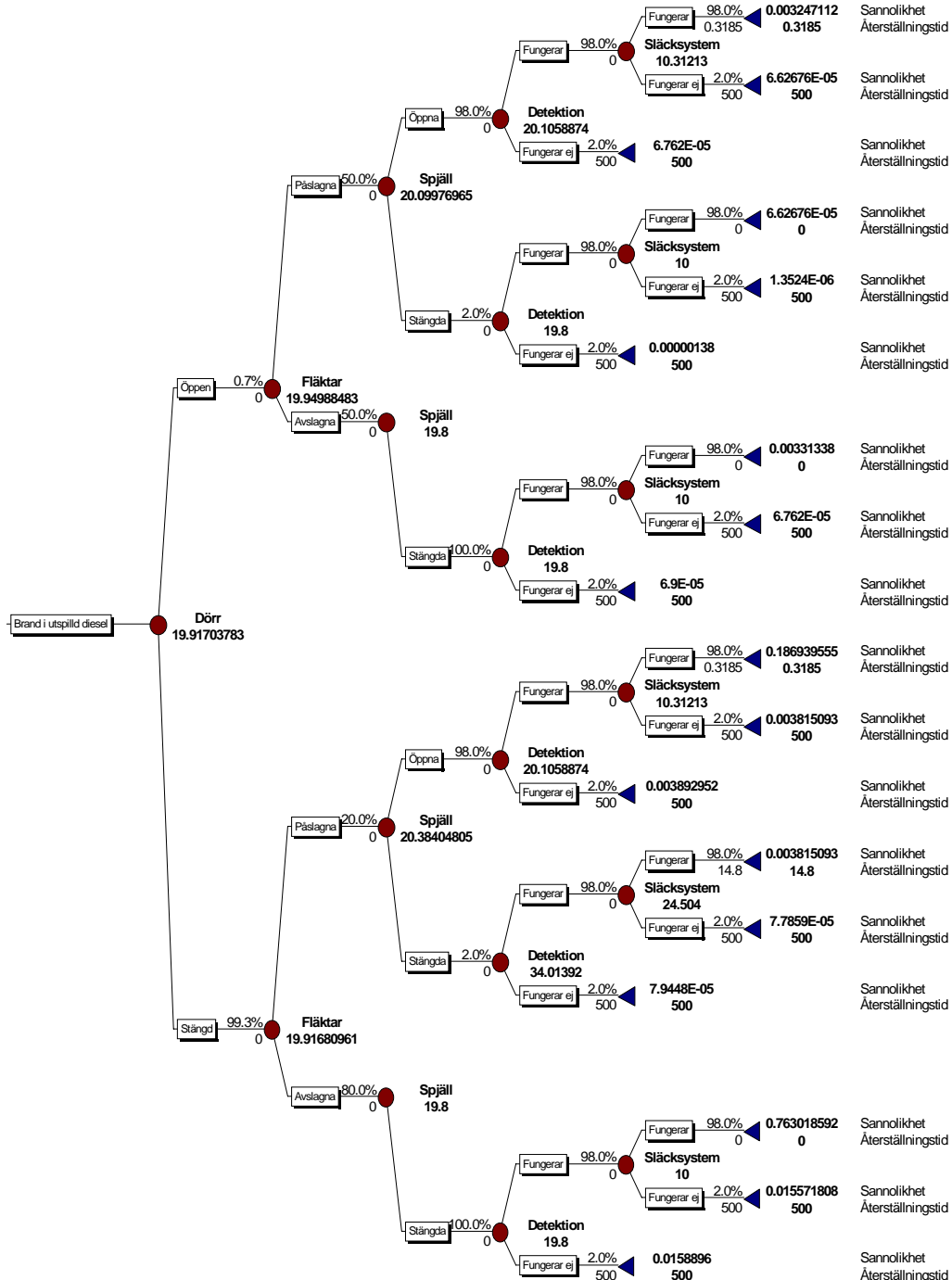


Figur B.2. Händelsetråd för användning vid hangar.

Samtliga konsekvenser har enheten antal timmar och beskriver den förväntade återställningstiden för containern. Konsekvenserna i händelseträdet ändras då de olika detektion/släcksystemen utreds. Konsekvenserna i *figur B.2* motsvarar då flamdetektor används tillsammans med ett halogeniserat släckmedel.

Mobil användning

Sluthändelseträdet nedan, se figur B.3, visar alla tänkbara sluthändelser som kan kunna tänkas uppkomma för det dimensionerande brandscenariot i de fall då containern är mobil.

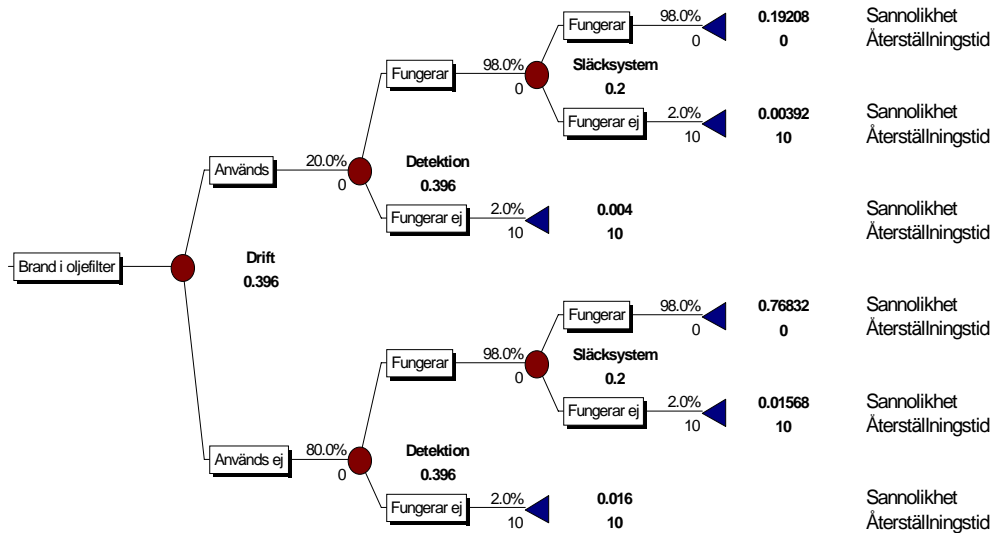


Figur B.3. Händelseträd för mobil användning av containern.

Samtliga konsekvenser har enheten antal timmar och beskriver den förväntade återställningstiden för containern. Konsekvenserna i händelseträdet ändras då de olika detektion/släcksystemen utreds. Konsekvenserna i figur B.3 motsvarar då flamdetektor används tillsammans med ett halogeniserat släckmedel.

Brand i luftkylenheten

Sluthändelseträdet nedan, se *figur B.4*, visar alla tänkbara sluthändelser som kan kunna tänkas uppkomma för brandscenariot i luftkylenheten.



Figur B.4. Händelseträd för luftkylenheten.

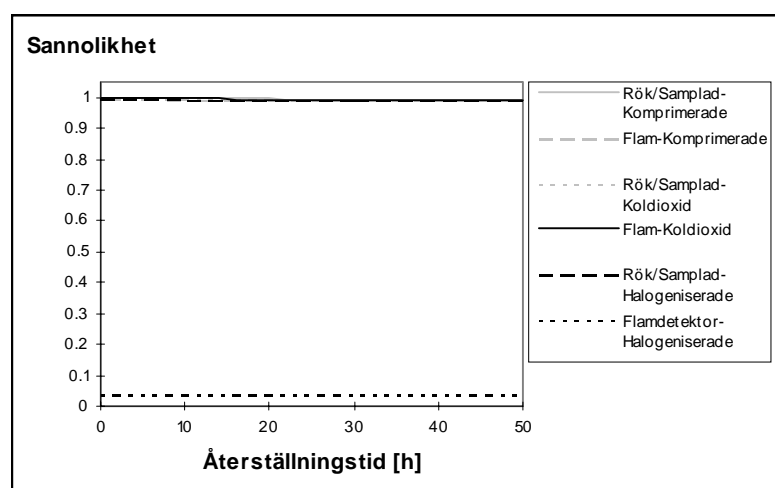
Samtliga konsekvenser har enheten antal timmar och beskriver den förväntade återställningstiden för containern. Konsekvenserna i händelseträdet ändras då de olika detektion/släcksystemen utreds. Konsekvenserna i *figur B.4* motsvarar då flamdetektor används tillsammans med ett halogeniserat släckmedel.

B7: Riskprofil

Här visas samtliga riskprofiler.

I alla brandscenarierna finns en viss sannolikhet för att övertändning sker. Detta kan ske genom att detektionssystemet och släckmedelssystemet är för långsamma eller inte fungerar alls. Om detta sker blir återställningstiden lång, men ett exakt värde är svårt att uppskatta. Då det inte är intressant att studera återställning av en helt övertänd container har vi valt att inte presentera återställningstider längre än 50 timmar ute i containern och 10 timmar i fallet med luftkylenheten.

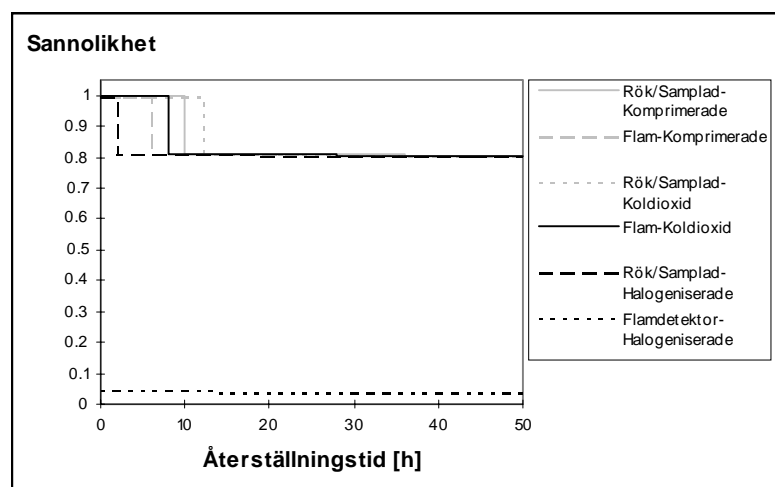
Användning vid hangar



Figur B.5. Riskprofil för sannolikheten av olika återställningstider då containern står vid hangar.

För alla kombinationer av detektion/släcksystem då containern används vid en hangar är det cirka 100% sannolikhet att detektion- och släcksystemen inte hinner släcka i tid, resultatet blir övertändning, vilket i sin tur leder till lång återställningstid. Detta gäller dock ej för fallet då flamdetektor kombineras med halogeniserat släckmedel. Se även *figur B.5*.

Mobil användning



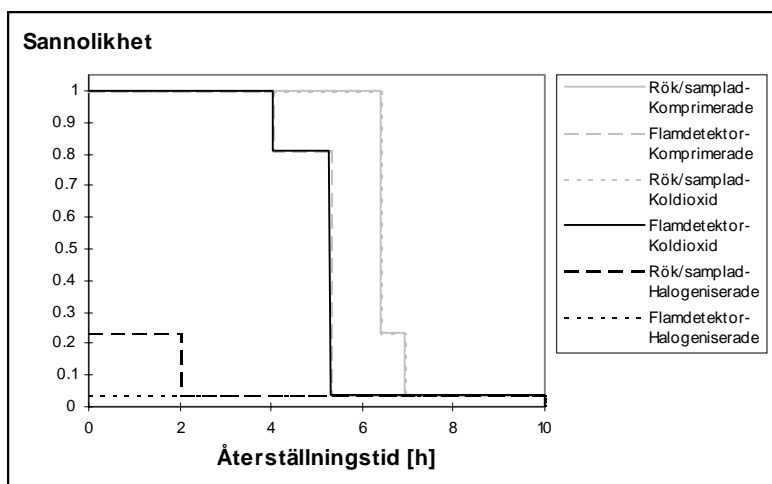
Figur B.6. Riskprofil för sannolikheten av olika återställningstider då containern är mobil.

Även vid mobil användning är det mest effektiva systemet att använda flamdetektor i kombination med ett halogeniserat släckmedel. Från riskprofilen kan det utläsas att sannolikheten är endast 4% för att få någon skada över huvud taget på hela containern vid användning av den kombinationen.

Skada uppkommer i det fallet endast då detektionssystemet eller släcksystemet inte fungerar, vilket ger lång total återställningstid. Se *figur B.6*.

Med rök/samplad detektor samt ett kondenserande släcksystem är det 100% sannolikhet att någon form av skada uppkommer givet att det valda brandscenariot har uppkommit. Det kan även utläsas att det är 83% sannolikhet att reparationstiden blir mer än 10 timmar. Se *figur B.6*.

Brand i luftkylenheten



Figur B.7. Riskprofil för sannolikheten av olika återställningstider för brand i luftkylenheten.

När luftkylenheten skall brandskyddas visas återigen att kombinationen flamdetektor tillsammans med ett halogeniserat släckmedel är det effektivaste valet. Dock visas även att rökdetektor kombinerad med en samplad rökdetektor fungerar bra tillsammans med ett halogeniserat släckmedel, enligt *figur B.7*.

APPENDIX C

Följande appendix visar hur sannolikheterna för de olika brandscenariorna tas fram.

Sannolikheter

Alla sannolikheter har enheten *uppkomst av brand per år*.

Brand i dieselmotor

Brand i dieselmotor uppkommer genom att ett eller flera spridarrör vibrerar loss. Kosekvensen blir att finfördelad dieselspray kommer i kontakt med heta ytor och antänds omedelbart. Avgasrörssystemet vid motorn är 400 - 500 °C vilket ger direkt antändning.

Under senare år har det förekommit att spridarrör har vibrerat loss. Därför har daglig säkerhetskontroll av systemet införts. Detta reducerar sannolikheten för att något händer men fortfarande anses den vara stor.

Sannolikheten för att en ventil i ett rörsystem går sönder är $\approx 1E^{-4}$.¹ Vibrationen gör att sannolikheten ökar men den dagliga tillsynen gör att den minskar något.

Totalt anses det att sannolikheten för felet ökar med faktor 10 som ger slutgiltig sannolikhet på $1E^{-3}$.

Sannolikheten för antändning anses vara hög på grund av de varma ytorna, vilken då sätts till 0,9.

Sannolikheten för att en brand skall uppstå i dieselmotorn minskar när den ej är i drift. Detta beror dels av att inget flöde av diesel och inga vibrationer uppkommer dels av att inga heta ytor finns i närheten.

Läckage i dieseltank

Sannolikheten för att ett spetsigt föremål eller dylikt skulle göra hål på tanken är liten.¹ Det är mer troligt att någon koppling från tanken ger ett läckage, därigenom kan sannolikheten uppskattas till att vara $1E^{-4}$ som innan.¹ Den lilla hävert som bildas i och med höjdskillnaden mellan bränslerörets lägsta punkt och mynningen i tanken gör att antagligen endast en begränsad mängd diesel läcker ut. Den antas vara ca. 1 liter.

Sannolikheten att pölen antänds är $1E^{-2}$ - $1E^{-1}$.¹ Detta gäller emellertid för ”flammable gas-liquid spill” som är utomhus. Eftersom vi har brandscenariot inne i containern och dieseltanken är placerad relativt nära till dieselmotorn gör att sannolikheten för antändning ökar. Det bör dock tas i beaktande att diesel anses vara mindre antändbar. Vägs dessa parametrar samman anses det att sannolikheten är $5E^{-2}$ för antändning.

Kabelbrand

Kabelbrand kan uppkomma på många olika sätt. Brand kan starta p.g.a. en ljusbåge från en kabel med skadad isolering eller från upphettning i en koppling p.g.a. kontaktresistans. Åska kan också göra att kabel börjar brinna. Risken för detta kan minskas med att åskledning installeras. Dessa olika händelser mynnar ut i liknande scenarion och dess sammanvägda sannolikhet sätts här till $1E^{-6}$.

¹ Cox F:P et.al., *Classifications of Hazardous Locations*, London, 1993

Brand i LKE

I detta scenario antas att brand uppkommer i luftkylenhetens oljefilter. I filtret finns det ca 1 liter olja då det är mättat. Detta sker efter 200 timmars drift. Sannolikheten för att filtret blir mättat är svårt att uppskatta. Sannolikheten för ”filter failure” kan dock uppskattas till $2-200E^{-7}$.¹ per drift timme. Containern antas vara i drift ca. 2000 timmar per år som ger sannolikhet för fel ca $4-400E^{-4}$ per år. Dagligen iakttogs eventuella spår av oljeläckage under LKE:n. Varje vecka töms oljefiltret genom att en gång försiktigt pressa ned locket mot filtrets botten. Därför antas sannolikheten för läckage till $4E^{-3}$.

När LKE:n är igång uppnår rören i processen temperaturer upp till 200 °C vilket kan leda till antändning av läckande olja. Sannolikheten för antändning uppskattas till $1E^{-1}$.

Sannolikheten för att en brand skall uppstå i luftkylenhetens oljefilter minskar när den ej är i drift. Detta beror dels av att inget flöde av olja sker, men även av att inga heta rör finns i närheten.

Överhettning i apparatskåp

Blixtnedslag är en av de största orsakerna till brand i elektronik. Elutrustning står för omkring 10% av alla bränder.² Hur detta översätts till sannolikhet för händelse per år är svårt att uppskatta eftersom det beror på hur många potentiella föremål som kan brinna.

Sannolikheten för brand i en ”Electrical Engineering Factory”, på en motsvarande yta som containerns, är $a*(P/A)^b = 0,0006*(0,035/A)^{0,59} = 1,7E^{-5}$.³

Sannolikheten för brand uppkomst uppskattas till $1E^{-6}$.

Kortslutning i omformare

Det finns många dokumenterade fall av brand i elmotorer och generatorer men detta scenario kommer inte bli dimensionerade då brandbelastningen är ringa. Sannolikheten för uppkomst av denna brand överensstämmer ganska väl med överhettning i apparatskåp. Därför görs liknande resonemang som ovan, vilket leder till att sannolikheten för uppkomst av brand uppskattas till $1E^{-6}$.

¹ Scarrone M et. Al, *A reliability data bank for the natural gas distribution industry*

² NIFRS, *National Estimates Summary of fire cause categories for structure occupancy classes*

³ British Standards Institute -Fire, *BSI standards*, Cheshire, 1997

APPENDIX D

I följande appendix visas hur de olika brandsceniornas effektutveckling tas fram.

Effektkonstruktioner

I följande avsnitt kommer fyra olika brandscenarier att behandlas angående dess brandförlopp och därigenom hur effektutvecklingen framtagits. Dessa är grundfallen. Känslighetsanalyser kommer att utföras på effektkonstruktionerna.

För att få en uppfattning storleksordning hos de tänkta brandsceniornas effektutvecklingar har *tabell D.1* konstruerats som jämförelse.

Brandeffekt [kW]	Föremål
0.005	Brinnande cigarett
0.06	En normal glödlampa
100	Brinnande papperskorg
1000	Brinnande fåtölj
2000	Brinnande soffa
3300	1 m ² bensinpöl
15 000	SJ-pallar staplade till en höjd av 3 meter
550 000	En reaktor i Barsebäck

Tabell D.1. Exempel på effektutveckling

Brand i dieselmotor

I samtliga scenarion som behandlar brand i dieselmotorn har följande brandförlopp använts.

Scania DS 11.68 A har sex cylindrar vilket innebär att den har sex spridarrör, en till var cylinder. Som nämnts i *kapitel 7.2 Riskidentifiering*, är det troligast att en motorbrand uppkommer genom att spridarledningar vibrerar loss och utsprutande diesel antänds genom kontakt med det heta avgassystemet.

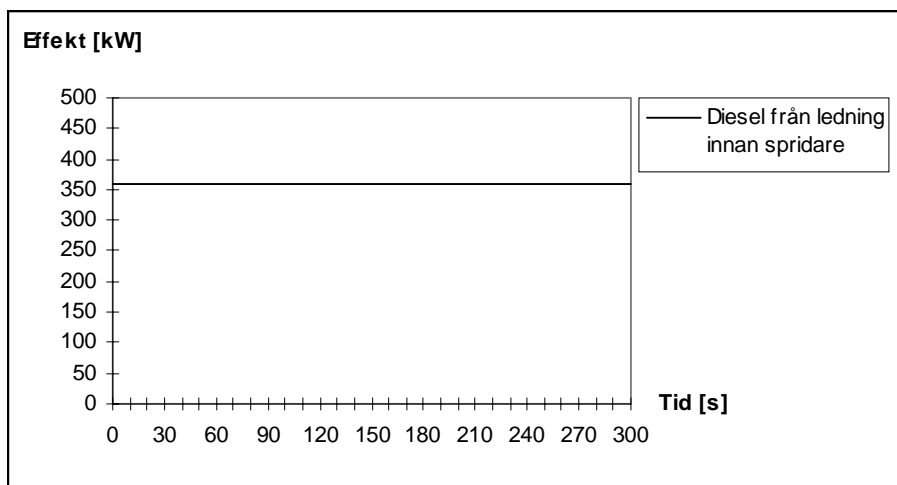
Det finns tidigare dokumenterade fall av brand i dieselmotorer inom bl.a. marinen. Dessa brandförlopp har varit häftiga då finfördelad diesel förbränns upp till 100 gånger snabbare än motsvarande mängd i en polbrand.¹ Effektutvecklingen når därför sitt max omedelbart efter antändning.

Efter konsultation med Scania i Södertälje har det framkommit att det är teoretiskt möjligt att motorn fortfarande kan fungera med endast en fungerande cylinder även vid tillfällena utan yttre belastning. Detta medför att det kan finnas brott på upp till fem spridarledningar utan att dieselflödet upphör. Efter närmare eftertanke är det inte troligt att alla går av samtidigt. Det är troligare att röret innan spridaren vibrerar loss, vilket ger lite större dieselöde. Det är dock osäkert hur länge detta flöde fortgår då cylindrarna inte får något bränsle och motorn stannar.

Då det är mer intressant att studera det värsta tänkbara fallet används maximalt och konstant dieselöde med avseende på ovanstående stycke.

¹ Tuovinen Heimo, *Släckning av oljespraybränder genom vattenblandning*, Borås, 1989

Effektutvecklingen bestäms genom att först beräkna bränsle förbrukningen vid normaldrift vilket sedan multipliceras med bränslets förbränningsvärme. Se *figur D.1*.



Figur D.1. Effektutveckling av brand i från motor utströmmande diesel.

Brand i utspild diesel

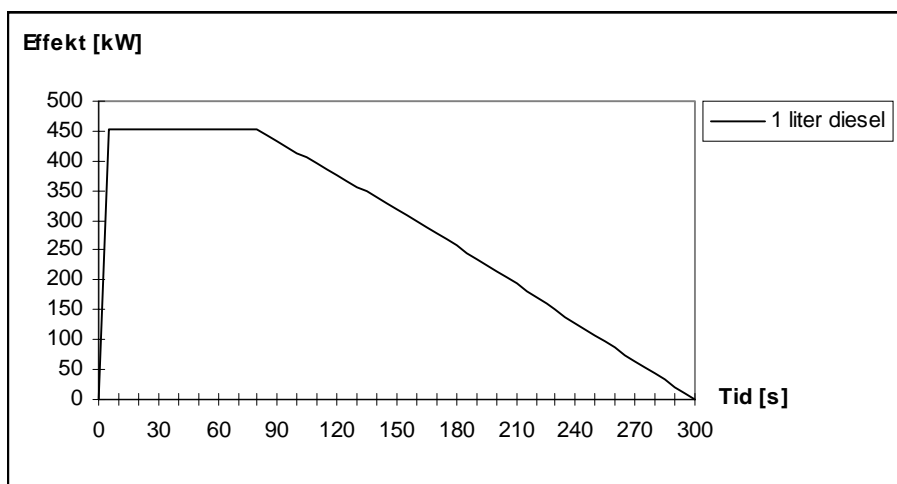
Dieseltanken rymmer 200 liter bränsle. Efter närmare studier av tanken anses att brott på tanken inte är sannolikt. Som det finns beskrivet i *kapitel 3.2.1 Bränsletank*, är risken för spill obefintlig inne i containern vid hantering av bränslet. Den troligaste orsaken till att diesel läcker ur tanken är brott eller otätheter på rör samt kopplingar mellan tank och motor. Då de pådrivande krafterna för läckaget anses vara små, *kapitel 7.2 Riskidentifiering*, kommer antagligen endast ringa mängder diesel läcka ut.

Därför antas det i samtliga scenarion att 1 liter diesel läcker ut och antänds.

För att uppskatta pölens diameter har försök gjorts där nämnd volym vätska hållts ut på en plan yta. Därefter mättes pölens diameter.

Med hjälp av pölens diameter, materialkonstanter och bränslets förbränningsvärme kan effektutvecklingen bestämmas.

Då en polbrand antänds når den maximal effekt efter en mycket kort tid. Det antas att en pöl med 0.65 meter i diameter erhåller maxeffekt efter 5 sekunder och behåller denna tills dess att bränslet börjar ta slut. Detta sker efter 60-80 sekunder. Effektkurvans form efter denna tidpunkt bygger på att det finns osäkerheter i hur förångningen av bränslet tar sig i slutögonblicket. Därför anses det säkrare att successivt minska effekten under resten av förloppet. Se *figur D.2*.



Figur D.2. Effektutveckling av brand i 1 liter utspild diesel.

Diesel anses vara svårantändlig med en flampunkt på 55-65°C, vilket också ger att verklighetens effektkurva kommer att nå maxeffekt senare än den som presenteras i *figur D.2*. För att vara på den säkra sidan överdimensioneras dock effektkurvan då den verkliga effektutvecklingen är osäker.

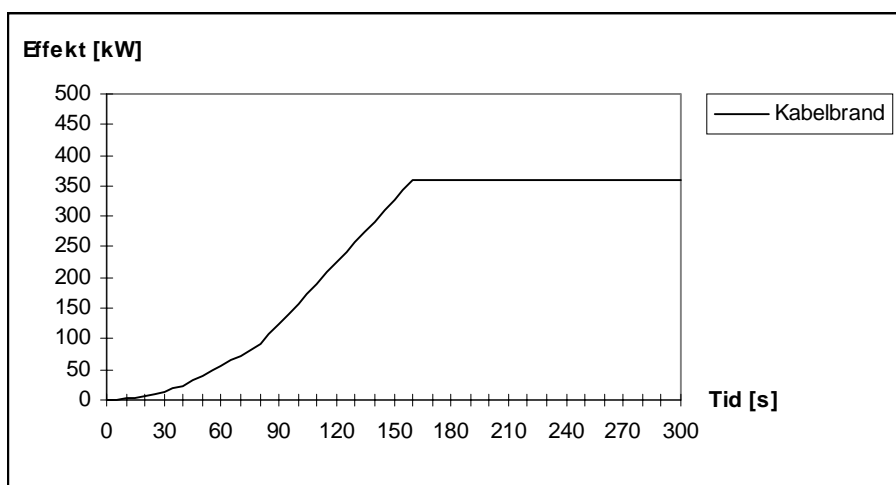
Brand i kablar

I scenarion där brand i kablar behandlas antas branden innefatta hela kabelstegens bredd.

Då kablaget till största delen består av PVC-kablar beräknas effektutvecklingen som om allt består av PVC.

Många bränder växer exponentiellt med tiden. Detta är också fallet med kabelbränder. Efter studier av fullskale-försök har brandtillväxten av bränder i PVC-kablar uppskattats till att vara medelsnabb till snabb.^{1,2}

Den maximala effektutvecklingen antas uppnås efter ca 2.5 min. Sedan behålls effektutvecklingen tills dess att bränsletillgången minskar. Då det värsta fallet är av störst intresse samt att kabeltillgången är god, antas att maxeffekten bibehålls under resten av brandförloppet. Se *figur D.3*.



Figur D.3. Effektutveckling av brand i kablar.

Brand i LKE

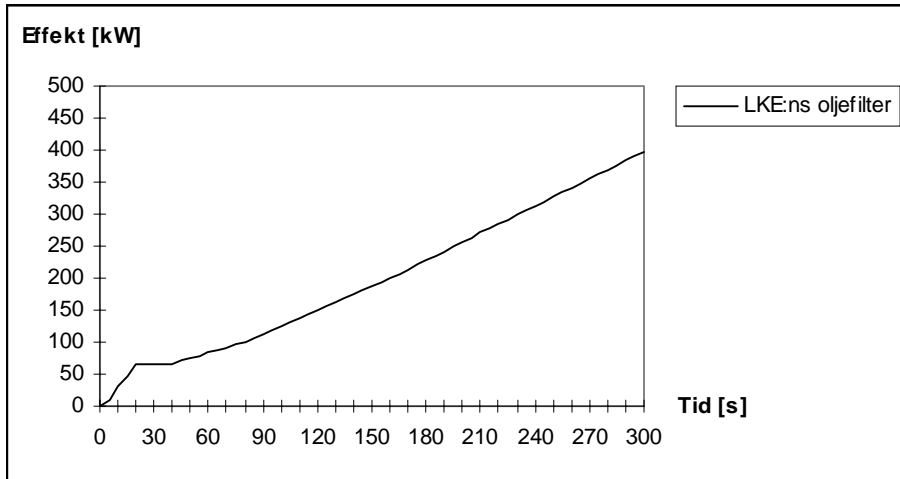
Enligt *kapitel 7.2, Riskidentifiering*, antas brand uppkomma i LKE:ns oljefilter som i värsta fall är indränkt i 1 liter olja. Hela filtret brinner efter ca 20 s. Efter ytterligare 20 s antas branden spridas till isoleringen i LKE:ns väggar. Förbränningsvärmets för hela förloppet viktas mellan olja och polyuretanskum.

Effektutvecklingen för enbart oljefiltret beräknas genom att anta att filtret brinner som en polbrand där filtrets mantelyta motsvaras av en lika stor polarea. Sedan beräknas effektutvecklingen med hjälp av diametern, materialkonstanter och bränslets förbränningsvärme.

Efter det att branden spridits till isoleringen ökar effekten svagt under hela förloppet. Se *figur D.4*.

¹ Van Hees Patrick, Thureson Per, *Burning behavior of cables - modelling of flame spread*, Borås, 1996

² Seiman Matti et al., *Halonersättning vid provplats FMV:ProvFFK*, 1996



Figur D.4. Effektutveckling av brand i LKE:ns oljefiltet med spridning till isoleringsmaterial.

Beräkningar

Brand i dieselmotor

$$\dot{Q} = \Delta H_c \cdot \frac{E_{motor} \cdot B \cdot m}{3600}$$

\dot{Q} = Effektutveckling från brand [kW]

ΔH_c = Diesels förbränningsvärme [kJ/kg], antaget ur SFPE, 40 MJ/kg

E_{motor} = Motorns effektutveckling [kW], från Scania, 207 kW

B = Motorns belastning, andel av full belastning, från Scania, 3/4

m = Motorns bränsleförbrukning vid använd belastning [kg/kWh], från Scania, 0.206 kg/kWh

$$\dot{Q} = 40000 \cdot \frac{207 \cdot \frac{3}{4} \cdot 0.206}{3600} = 355.35 \approx 360 \text{ kW}$$

Brand i utspild diesel

$$\dot{Q} = \Delta H_c \cdot A \cdot m'' \cdot (1 - e^{-k\beta D})$$

\dot{Q} = Effektutveckling från brand [kW]

ΔH_c = Diesels förbränningsvärme [kJ/kg], antaget ur SFPE, 40 MJ/kg

A = Pölens area [m²], 0.33 m²

m'' = Förångning av diesel från en oändlig pöl [kg/sm²], antaget ur SFPE, 0.04 kg/sm²

$k\beta$ = Materialkonstanter [m⁻¹], 3 m⁻¹

D = Pölens diameter [m], 0.65 m

$$\dot{Q}_{\max} = 40000 \cdot 0.33 \cdot 0.04 \cdot (1 - e^{-3 \cdot 0.65}) = 453 \text{ kW}$$

Brand i kablar

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$$

\dot{Q} = Effektutveckling från brand [kW]

α = Brandtillväxtfaktor [kW/s²], efter studier av fullskaleförsök, 0.016 kW/s²

t = Tid efter antändning [s]

$$\dot{Q}_{\max} = 0.016 \cdot 150^2 = 360 \text{ kW}$$

Brand i LKE

Effektkonstruktionen delas upp i två faser.

1. Brand i enbart oljefilter 0-40 s
Maxeffekt nås efter 20 s då hela filtret brinner.

$$\dot{Q} = \Delta H_c \cdot A \cdot m''_{\infty} \cdot (1 - e^{-k\beta D})$$

\dot{Q} = Effektutveckling från brand [kW]

ΔH_c = Viktat förbränningsvärme [kJ/kg], antaget ur SFPE, 35 MJ/kg

A = Filtrets omslutningsarea [m²], 0.079 m²

m''_{∞} = Förångning av olja från en oändlig pol [kg/sm²], antaget ur SFPE, 0.041 kg/sm²

$k\beta$ = Materialkonstanter [m⁻¹], 2.8 m⁻¹

D = Den tänkta polens diameter [m], omräknad från omslutningsarean för filtret, 0.32 m

$$\dot{Q}_{\max} = 35000 \cdot 0.079 \cdot 0.041 \cdot (1 - e^{-2.8 \cdot 0.32}) = 67.09 \approx 67 \text{ kW}$$

2. Branden sprids till isolering
Effekten ökar svagt då isoleringen är förhållandevis kompakt. Ökningen bibehålls under resten av förloppet.

APPENDIX E

I detta appendix beskrivs fyra grundtyper av detektorer.

Värmedetektor

Värmedetektorer upptäcker en förhöjd temperatur eller en temperaturökning i luften. De reagerar framförallt mot konvektiv energi.

När en brandgasplym i det första skedet når taket och börjar spridas utåt, kommer så mycket som 90 % av energin som finns i brandgaslagret förloras till taket. Detta är en av anledningarna varför värmedetektorer är långsammast av detektorerna.¹

I och med den reagerar mest långsamt är den inte att föredra då en snabb detektering krävs.

Rökdetektor

Rökdetektor upptäcker aerosoler (brandgaspartiklar). Det finns två huvudtyper av rökdetektorer, joniserande och fotoelektriska. Den joniserade detekterar bäst små partiklar mellan 0.1-0.2 µm, det vill säga en öppen brand med flammor.² Den optiska detektorn är ofta den enda som säkert detekterar pyrolys och glödbränder, till exempel kabelbränder. Dessa partiklar är större, 0.4-1.0 µm.²

I containern finns stora luftflöden och omrörningar vilket kan skapa problem genom att detektorn ej lyckas känna av att det brinner. Då kan samplade detektorer användas vilka tar in en del av luftflödet som passerar förbi detektorn. Denna bestämmer sedan rökkoncentrationen i det tagna provet, *sample*, genom att räkna antalet observerade partiklar som är typisk för rök.

Andra problem kan uppstå när en brand skall detekteras i tättslutande skåp, i vårt fall elskåpen. Här kan det uppstå temperaturskiktningar vilka ger till följd att brandgaserna kan ha svårt att nå upp till rökdetektorn vilket således ger en fördröjd detektion.³

Vid en brand som föregås av en rökutveckling är en rökdetektor att föredra framför en flamdetektor.

Flamdetektor

Flamdetektorer upptäcker infraröd och/eller ultraviolett strålning. IR- och UV-strålning är oftast den faktor som kan detekteras tidigast från en brand.

Flamdetektorers nackdel är att den måste kunna "se" branden. I containern finns många skymda utrymmen vilket medför svårigheter att placera denna på lämpligt ställe. Den kan också ha svårt att tränga igenom tjock rök eftersom en glödande brand producerar stor mängd rök innan strålningsenergin är producerad, vilket kan innebära fördröjd eller utebliven detektion från flamdetektorer.

En annan nackdel är att flamdetektorer är känsliga för smuts. Den kan då upphöra att fungera. Detta gäller framförallt för UV- detektorn som är mer känslig för smuts än vad IR- detektorn är. För att kringgå detta problem görs en periodisk tillsyn där detektorn rengörs.

Då snabb detektion av en brand krävs är ofta det enda alternativet en flamdetektor. Innan installation bör detektorns nackdelar och begränsningar uppmärksammas vilka beskrivits enligt ovan.

¹ Bukowski Richard W, O'Laughlin Robert J, *Fire and signaling systems*, Boston, 1994

² Holmstedt Göran et.al., *Detector environment and detector response, A survey*, Lund, 1987

³ Blomqvist Jan, *Konsultation*, 1997

Gasdetektor

Gasdetektorn märker om det sker en förändring i gassammansättningen.

Dessa förändringar i sammansättningen beror oftast på att det tillkommer gaser som inte tillhör den normala sammansättningen eller att förhöjda nivåer fås av någon gas, till exempel kol-monoxid.

Idag används den bland annat till att detektera en brand i lagrat material där djupt liggande glödande bränder kan tänkas uppkomma.

I containern finns inga förutsättningar för att sådana bränder kan tänkas uppkomma. Därför rekommenderas ej gasdetektorn att användas då denna ej kommer till sin rätt.

APPENDIX F

Appendix F beskriver olika släckmedel. Samtliga släcktider är tumregler och gäller för ett rätt dimensionerat släcksystem.

Komprimerade gaser

Till komprimerade gaser hör bland annat Inergen®, Argonite® och kvävgas. Med komprimerade gaser menas att de förvaras i gasfas under högt tryck.

Med dessa gaser kan släckning erhållas efter 60 sekunder med Inergen® och Argonite® respektive vid 100 sekunder med kvävgas efter påbörjat utflöde. Dock dämpas brandförloppet under hela utströmningsfasen. Försök har visat att släckning kan ske långt tidigare vid exakt rätt dimensionering och utplacering av dysor.¹

För att inertera krävs mellan 30-50 vol% släckmedel i brandrummet. Detta gör att stora lagringsvolymerna krävs, speciellt då gaserna inte kan kondenseras utan måste lagras i komprimerat tillstånd. Skillnaden mellan komprimerad och kondenserad gas är att kokpunkten är så låg för de komprimerade gaserna att det normalt inte är möjligt att lagra gasen under så högt tryck att den kondenseras, d.v.s. övergår till vätskefas. Det behövs 10-40 gånger större förvaringsutrymme än för ett likvärdigt Halon-system.

Inergen®, Argonite® och kvävgas är rena släckmedel som ej kräver sanering. De ger heller inga miljöeffekter, dock blir syrgashalten så låg vid inerteringskoncentrationer att människor inte kan vistas där. Framförallt kvävgasen kan även ge köldskador på kroppsvävnader som kommer i nära kontakt med utflödena.

Gaserna har bra åtkomlighet mot brand i trånga utrymmen. Eftersom väldiga mängder måste fördelas i rummet, under kort tid, bildas ett enormt övertryck. Denna tryckupbyggnad kan skada tryckkänslig utrustning, vilket gör att installation av tryckavlastningsluckor är ett måste i containern.

Kondenserade gaser

Koldioxid är en kondenserad gas.

Med CO₂-system kan inertering ske efter ca 60 sekunder.

Koldioxid förvaras i kondenserad form. Den förgasas då den strömmar ut på grund av trycksänkningen.

Släckmedlet kräver ingen sanering. Viss försiktighet måste iaktas då statisk elektricitet bildas vid utflöde ur munstycket. Koldioxiden ger ingen direkt kemisk skada på elektronisk utrustning. Däremot kan temperaturen sjunka till mycket låga värden. Detta kan leda till köldskador på såväl människor som på apparatur.²

Fler uppgifter talar för att koldioxid inte ger några negativa effekter på elektronisk utrustning finns tillgängliga i en databas som tillhör Navy Safety Center. Där samlas alla incidenter som är relaterade till säkerhet från amerikanska flottan. Sedan 1984 samlas uppgifter även från andra vapengrenar. I rapporten redovisas 32 felutlösningar med koldioxid i lokaler med elektronik under åren 1980-1990 där inte någon utlösning sägs ha förorsakat några skador. I rapporten omnämns även 17 dokumenterade felutlösningar i amerikanska kärnkraftverk som inte heller de skall ha lett till någon skada.³

¹ Försök av Statens Provninganstalt

² Arvidsson Tommy, *Brandgasers och släckmedels verkan på datorsystem*, Stockholm, 1986

³ Arvidsson Magnus, Persson Henry, *Koldioxidens (CO₂) påverkan på elektronik - släckning med låga koncentrationer*, Borås, 1993

För inertering skall ske behövs ca 34 vol- % CO₂. Vid en tredjedel av släckande koncentration kommer människor efter någon minut att bli medvetlösa och sedan avlida.

Till koldioxids nackdel, förutom dess toxicitet, hör också tryckuppbyggnaden som följer då stora släckmedels-mängder krävs för inertering. För att kringgå detta problem måste tryckavlastningsluckor installeras.

Halon

Halon förbjuds från och med utgången av 1997 på grund av dess nedbrytande effekt på atmosfärens ozonskikt dvs det har ett högt ODP-värde, Ozone Depletion Potential.

Halon släcker redan efter 10 sekunder. Det är ett rent släckmedel vid falskutlösning och har liten lagringsvolym.

Detta släckmedel är det absolut det mest effektiva av de gasformiga släckmedel idag vad det gäller släckeffekt per volymsenhet.

Vid släckning av en brand med Halon bildas produkter som verkar korroderande på omgivningen, framförallt saltsyra, HCl.

Halogeniserade

Bland de halogeniserande släckmedlerna hör FM-200® och Halotron®

Dessa släckmedel är nästan lika effektiva som Halon, inerteringskoncentration på 11-12 vol-%, och släcker efter ca 10 sekunder.

Förvaringsvolymen är också förhållandevis liten eftersom de är kondenserade gaser med låg släckande koncentration. Volymen är endast 1.5-2 gånger större än för Haloner.

Halogeniserade släckmedel anses vara rena vid falskutlösning. Vid släckning bildas dock s.k. HF-föreningar, väte och flouridföreningar, som verkar korrosivt vilket gör att viss sanering krävs. Hur mycket HF som bildas beror på brandens storlek och släcktiden. För att inte HF-koncentrationen ska bli för hög krävs: snabb detektering, släckning, rätt släckmedelskoncentration (ligga nära inerteringsgräns). Det skall dock beaktas att branden i sig producerar toxiska nedbrytningsprodukter om den inte släcks. Släckmedlet ökar brandeffekten någon sekund innan släckning.¹

Halogeniserade släckmedel är ej elektriskt ledande och ofarliga för människor vid släckande koncentrationer. Den har ingen ODP-effekt men den påverkar i viss utsträckning växthuseffekten.

Dessa släckmedel släcker i gasform och tränger därmed in i svåråtkomliga utrymmen dock är de dyrare än andra släckmedel.²

Pulver

Pulver släcker bäst det vill säga att det är per viktsenhet mest effektiv och har liten lagringsvolym.

Orsaker till att pulver inte kan användas i de allra flesta fall är att det kräver mycket omfattande och tidskrävande sanering. Pulver kan vara lätt korrosiva och ger ofta upphov till besvärliga kontamineringar.

Pulver är ofarligt, men kan ge upphov till obehag och besvär för människor vid släckande koncentrationer. Pulver har ej några påtagliga miljöeffekter.

¹ Andersson Jan et.al., *Alternative agent combustion product formation, flame suppression and flammability characteristics*, Albuquerque, 1993

² Andersson Jan et.al., *Scale effect on flame extinguishing and inertation concentration and thermal decomposition products formation of halon alternatives*,

Då saneringen kommer att bli omfattande utesluter det möjligheten att använda pulver som släckmedel i containern.

Skum

Skum släcker effektivt vid stora öppna ytor men påföringen är ofta tidskrävande.

Skum har svårt att tränga in i små utrymmen och kräver sanering.

I sådan miljö där det finns elektrisk utrustning måste försiktighet iakttas innan skum påförs då risk finns att elektriska strömmar uppkommer.¹

Fukt och korrosionsskador uppkommer då skum påförs både på oskyddade och skyddade metallytor.²

Det ej lämpligt att använda skum som släckmedel i containern eftersom containerns invändiga geometri gör att skum antagligen har det svårt att tränga in i alla utrymmen.

Vatten

Vattnets effektivitet som släckmedel är svårt att bedöma på grund av att den bestäms av vattendropparnas storlek. Vidare har ett system med vatten väldigt svårt att släcka en brand, då vattendropparna ej lyckas penetrera flammorna utan endast kontrollerar den. Vid användning som punktskydd släcker dock system med vatten.

Då mängden vatten som behövs är osäker samt att det ej är tillgängligt i fält är nästan användningen av vatten omöjlig i en mobilanläggning som KRAGGCONT.

Fukt ger upphov till korrosion speciellt då den innehåller lösta brandgaser typ HCl, HBr, mm. Tidig sanering krävs alltså för att motverka korrosions- och vattensskador. Om till exempel datorer är strömsatta när vatten påförs kan skador uppkomma på de elektriska komponenterna som gör dem obrukbara.³

Vid användning av system med vattendimma av typen med överhettat vatten finns risk för brännskador på oskyddad hud. Övriga system är ej skadliga på varken människa eller miljö.

Övriga problem som kan uppstå då vatten används är bland annat frysrisk i kalla miljöer, då containern ej är i drift. För att undvika detta problem måste någon slags installation göras i containern så att vattnet inte skall frysa.

Det har gjorts en del fullskaleförsök med olika vattendimsystem i en container. Resultaten visar att systemen betedde sig mer som punktskydd än som rumsskydd. "Dolda bränder" som inte direkt träffades av sprayen från något munstycke var svåra att släcka eller kunde ej släckas.^{4, 5, 6}

Det huvudsakliga problemet vilken var grunden till att släckning ej lyckades så väl var att vattentätheten i luften genomgående var för låg. Alla släcksystem producerade för lite vatten i rätt droppstorleksområde.

¹ Ärlebrant JA, *Skum för brandbekämpning*, 1986

² Jamison W.B, *The key to effective high expansion foam, part 2*, Fire technology 6.140, 1970

³ Arvidsson Tommy, *Brandgasers och släckmedels verkan på datorsystem*, Stockholm, 1986

⁴ Anderson Petra et.al., *Fullskaliga släckförsök med olika vattendimsystem i container 50 m³ i Karlskrona 26/8-29/8 1996*, Lund, 1996

⁵ NIST, *Protection of data processing equipment with fine water sprays*

⁶ Anderson Petra et.al., *Small scale experiments and theoretical aspects of flame extinguishment with water mist*, Lund, 1996

De droppar som kan användas för total flooding ska vara $< 15 \mu\text{m}$ för att kunna följa de brandinducerade flödena i rummet. Droppar $> 15 \mu\text{m}$ i diameter kommer att fastna på väggar, golv etc på grund av gravitationskrafter.^{1,2}

¹ Anderson Petra et.al., *Fullskaliga släckförsök med olika vattendimsystem i container 50 m³ i Karlskrona 26/8-29/8 1996*, Lund, 1996

² Anderson Petra et.al., *Small scale experiments and theoretical aspects of flame extinguishment with water mist*, Lund, 1996

APPENDIX G

Appendix G innehåller känslighetsanalyser mellan olika brandscenarier, effektutveckling och värmeövergångstal.

Känslighetsanalys

Känslighetsanalys utförs på de parametrar som anses vara osäkra. Om resultatet påverkas delvis eller mycket av den analyserade parametern utförs senare en osäkerhetsanalys på parametern. Detta gäller dock ej på känslighetsanalysen som utförs mellan de olika brandscenariorna. Denna utförs istället för att ta fram bestämma vilket scenario som blir dimensionerande.

Dimensionerande brandscenario

För att bedöma vilket brandscenario som blir dimensionerande för detektion/släcksystemet görs en känslighetsanalys där påverkan på tre olika komponenter undersöks.

De tre godtyckligt utvalda komponenterna är:

1. Vridströmsställare på apparatskåpens utsida. Tillverkad i polyamidplast.
2. Spänningsvisare på apparatskåpet. Tillverkad i polykarbonatplast.
3. Kabel i kabelstege, strax under tak. Tillverkad i PVC-plast.

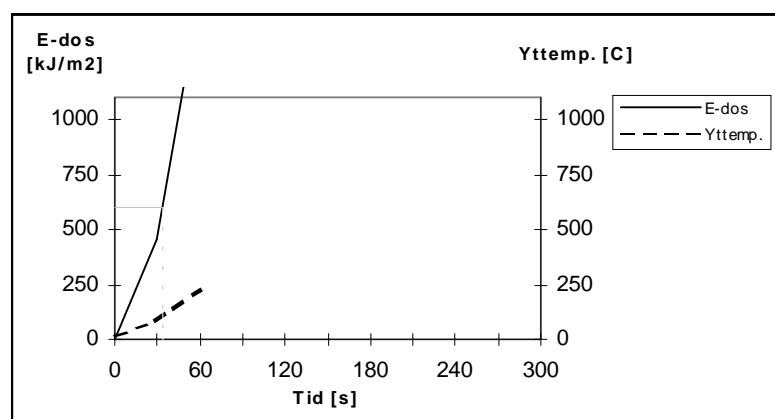
För att jämföra resultaten av de olika brandscenariorna väljs $h = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$. Analysen görs för samtliga ventilationsfall. Dock redovisas endast två här. Det ena är då alla öppningar är stängda samt ventilationen avstängd medan det andra är då ventilationen är fullt påslagen.

För att välja ut det dimensionerande brandscenariot jämförs tiderna som det tar innan kritiska förhållanden uppnås. De uppnådda kritiska förhållandena markeras med ett horisontellt streck i diagrammen.

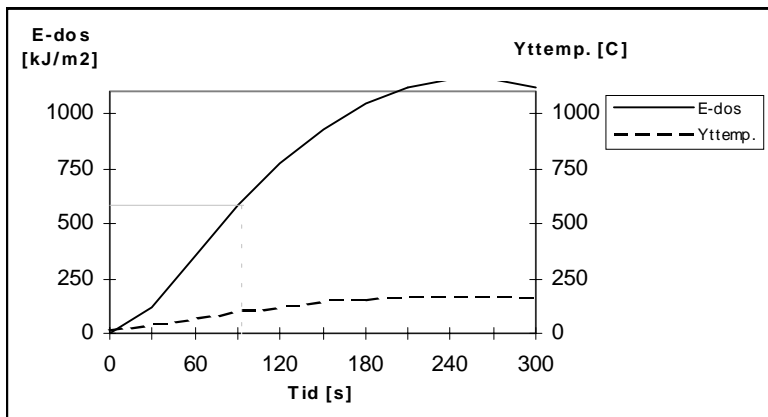
Påverkan på vridströmsställare

Kritisk ytemperatur: $260 \text{ }^\circ\text{C}$

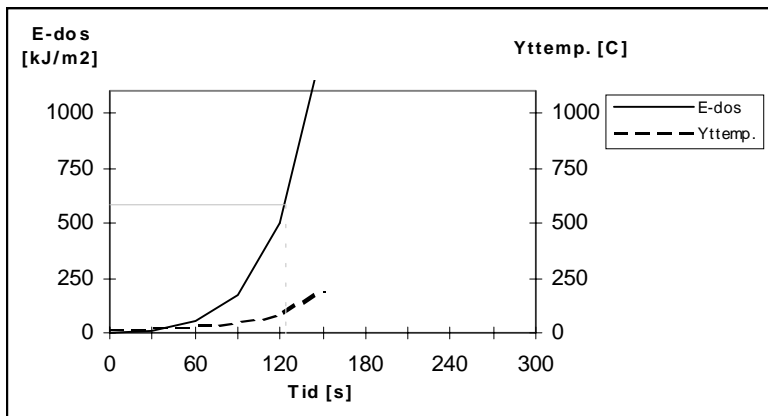
Kritisk energidos: 600 kJ/m^2



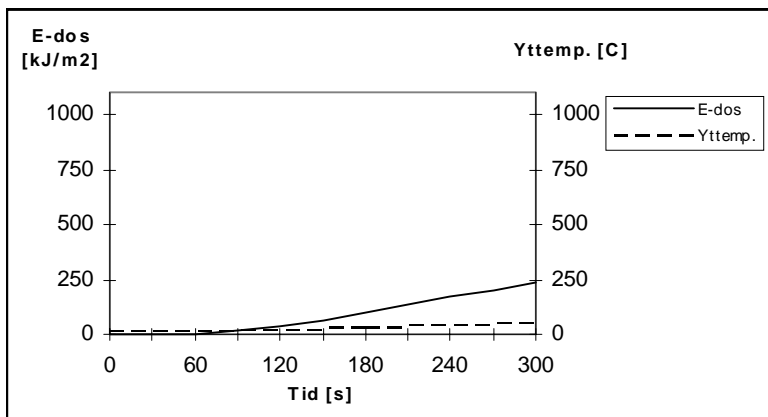
Figur G.1. Påverkan på vridströmsställare. Brand i 1 liter diesel. Allt stängt, ingen ventilation.



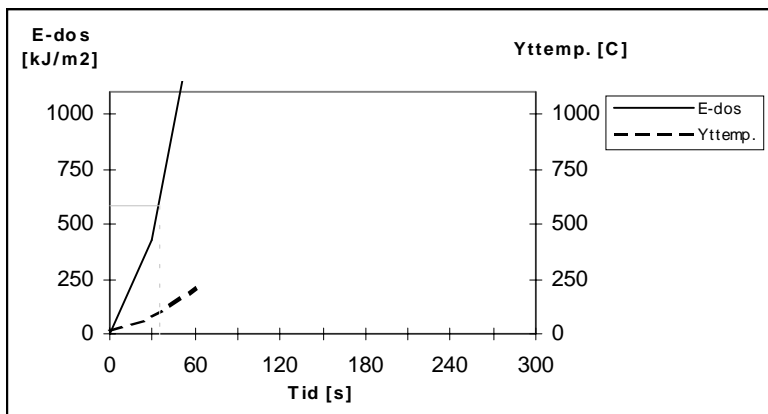
Figur G.2. Påverkan på vridströmsställare. Brand i 1 liter diesel. Ventilation.



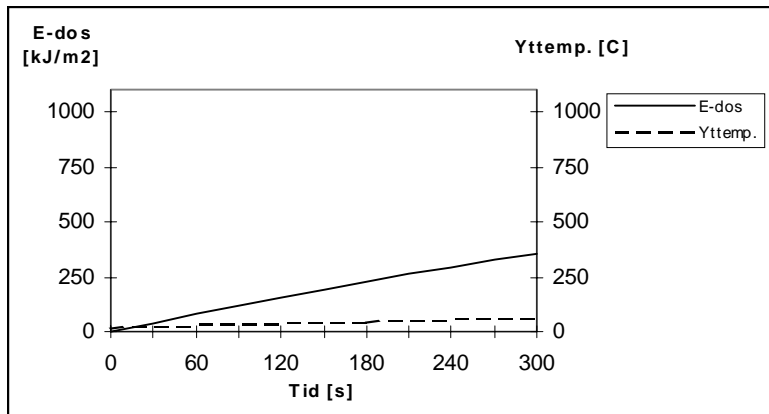
Figur G.3. Påverkan på vridströmsställare. Brand i kablar. Allt stängt, ingen ventilation.



Figur G.4. Påverkan på vridströmsställare. Brand i kablar. Ventilation.



Figur G.5. Påverkan på vridströmsställare. Brand i motor. Allt stängt, ingen ventilation.



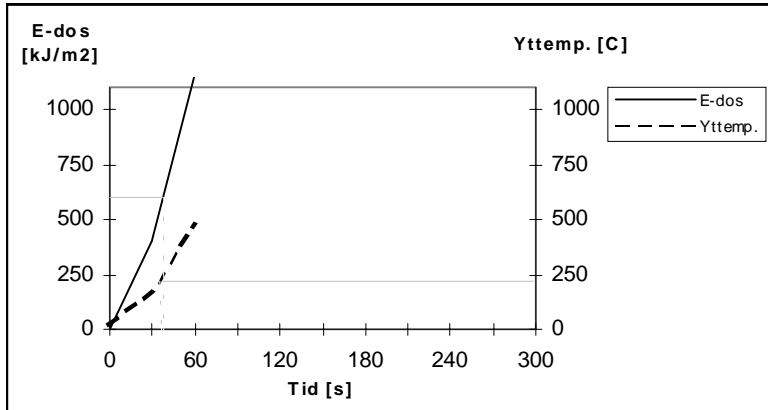
Figur G.6. Påverkan på vridströmsställare. Brand i motor. Ventilation.

Slutsats, vridströmställare

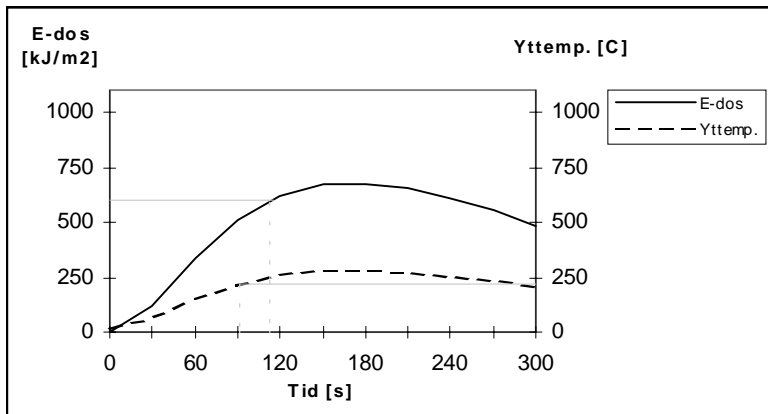
Brand i utspild diesel påverkar vridströmställaren mest vid båda ventilationsfallen. I fallet med brand i motor uppnås dock lika snabbt, utan ventilation, kritiska förhållanden på vridströmställaren.

Påverkan på spänningsvisare

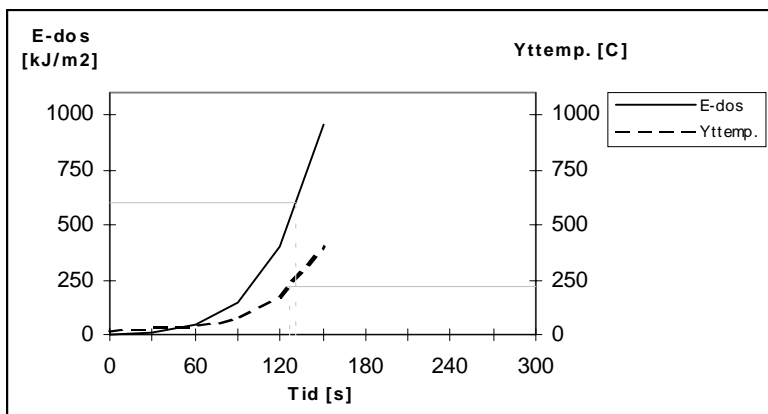
Kritisk yttemperatur: 230 °C

Kritisk energidos: 600 kJ/m²

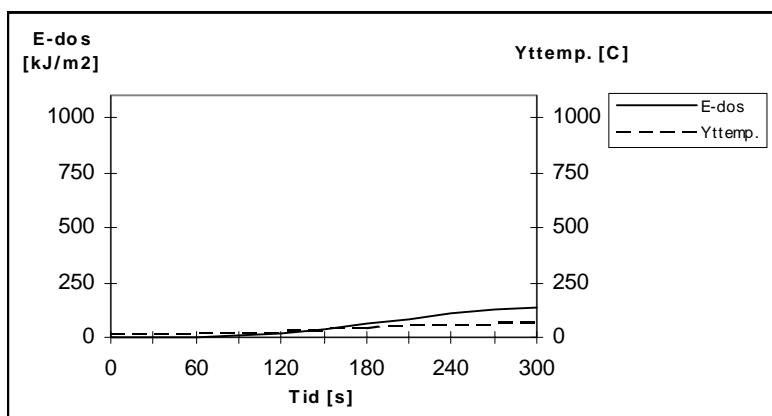
Figur G.7. Påverkan på spänningsvisare. Brand i 1 liter diesel. Allt stängt, ingen ventilation.



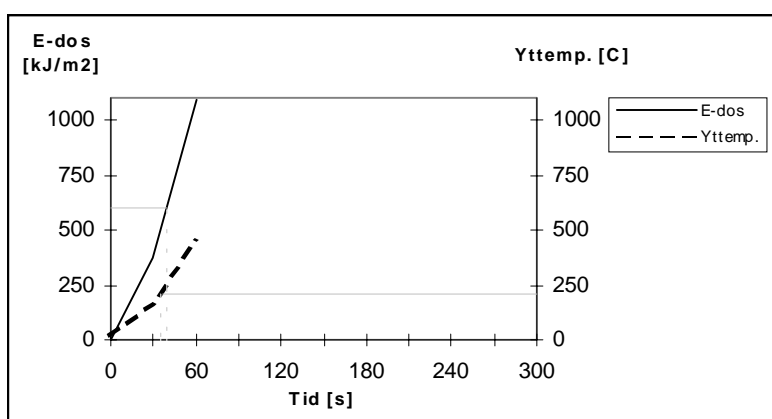
Figur G.8. Påverkan på spänningsvisare. Brand i 1 liter diesel. Ventilation.



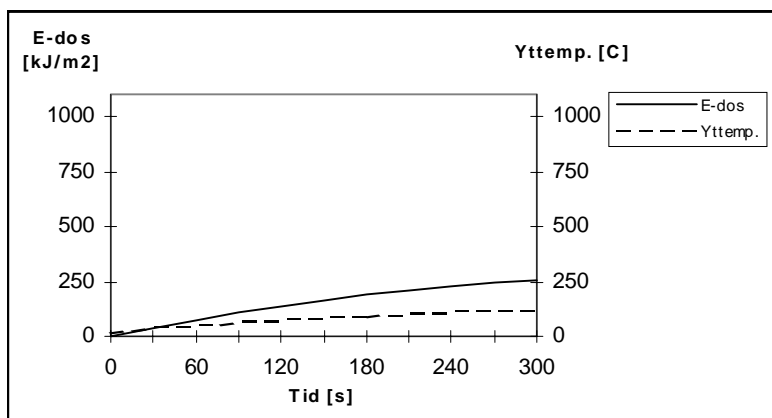
Figur G.9. Påverkan på spänningsvisare. Brand i kablar. Allt stängt, ingen ventilation.



Figur G.10. Påverkan på spänningsvisare. Brand i kablar. Ventilation.



Figur G.11. Påverkan på spänningsvisare. Brand i motor. Allt stängt, ingen ventilation.



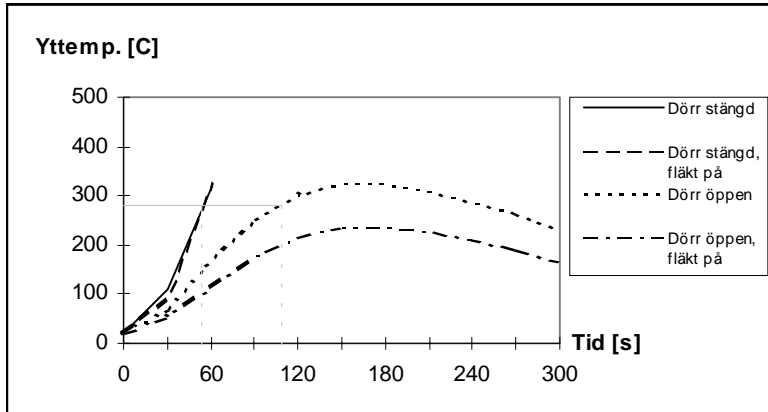
Figur G.12. Påverkan på spänningsvisare. Brand i motor. Ventilation.

Slutsats, spänningsvisare

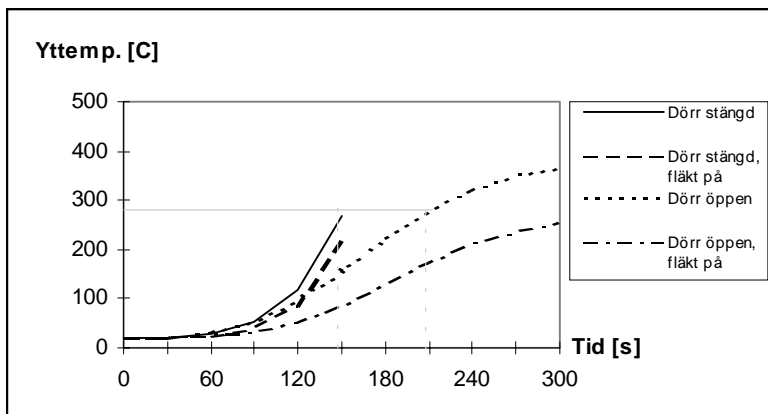
Brand i utspilld diesel påverkar spänningsvisaren mest vid båda ventilationsfallen. I fallet med brand i motor uppnås dock lika snabbt, utan ventilation, kritiska förhållanden på spänningsvisaren.

Påverkan på kablar

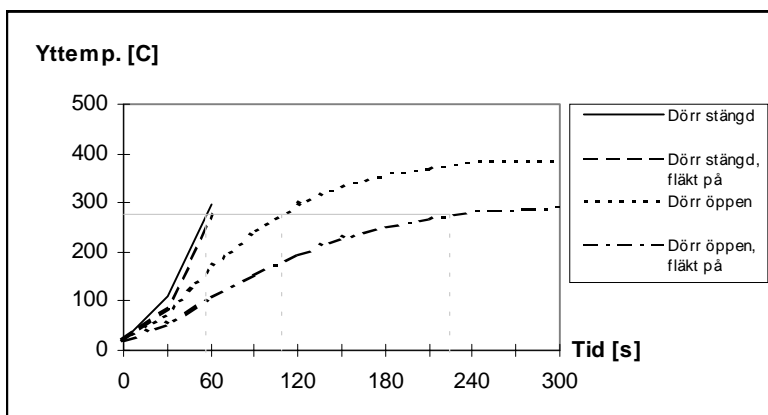
Kritisk ytemperatur: 280 °C

Kritisk energidos: 600 kJ/m²

Figur G.13. Påverkan på kablar. Brand i 1 liter diesel.



Figur G.14. Påverkan på kablar. Brand i kablar.



Figur G.15. Påverkan på kablar. Brand i motor

Slutsats, kablar

Brand i utspilld diesel påverkar kablarna mest vid de flesta ventilationsfallen. I fallet med brand i motor uppnås dock, nästan lika snabbt, kritiska förhållanden på kablarna.

Slutsats

Brand i utspilld diesel används som dimensionerande brandscenario då kritiska nivåer på påverkan uppnås snabbast på samtliga komponenter.

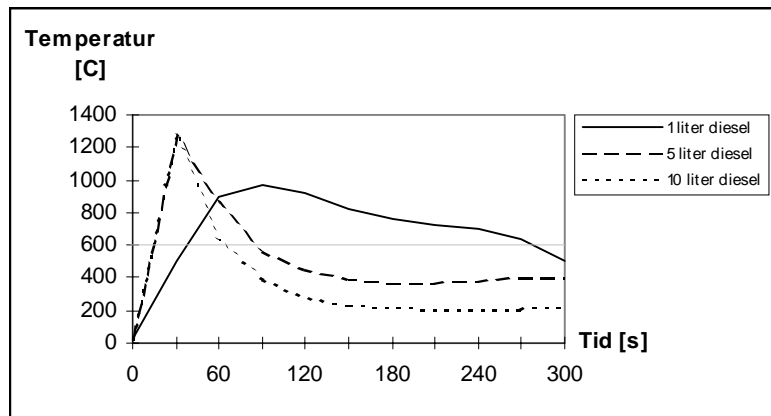
Effektutveckling

Samtliga brandförlopp, förutom i fallet med utspild diesel, är väldefinierade i den intressanta delen av förloppet. Bränslets brännbarhet och mängd är helt enkelt kända.

I scenarierna med brand i utspild diesel är det istället osäkert hur mycket som har läckt ut. Det antas att 1 liter är rimligt. För att se hur brandförloppet påverkas då större mängder bränsle läckt ut görs en känslighetsanalys. Dessa större bränsleläckage kan uppkomma till följd av t.ex. mänskliga faktorer såsom sabotage eller allmän ouppmärksamhet.

Därför görs det jämförelser då 1, 5 och 10 liter diesel brinner. Varför 10 liter väljs som maxläckage är p.g.a. att brandeffekten inte beror av mängden utan av arean på dieselpölen. Vid större läckage kommer hela golvytan täckas av bränsle. Alltså blir skillnaden mellan 10 liter och t.ex. 100 liter bara den att en brand i det större läckaget kan fortgå under en mycket längre tid innan bränslet tar slut.

Känslighetsanalysen koncentrerar sig på brandgastemperaturen för att se om och i så fall när övertändning inträffar. Övertändning antas inträffa då brandgaserna uppnår 600 °C, vilket innebär att all materiell blir förstörd. Då CFAST ej är definierat för förlopp efter övertändning är heller ej följande temperaturkurvor giltiga efter det att de når 600 °C.

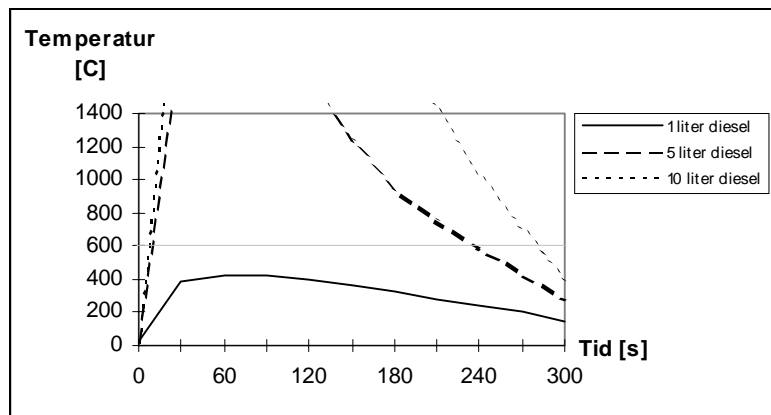


Figur G.16. Brand i utspild diesel. Alla öppningar stängda, fläktarna avstängda.

Kommentar:

Övertändning sker efter ca 15 s i fallen med 5 och 10 liter samt efter ca 40 s då 1 liter brinner.

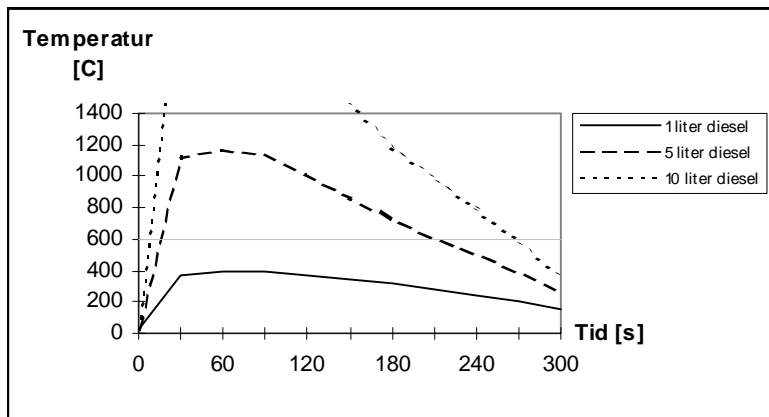
Den tidiga nedgången i brandgastemperaturen i 5 och 10 liters bränderna beror på att de blir ventilationskontrollerade.



Figur G.17. Brand i spilld diesel. Dörren är öppen, i övrigt allt stängt. Fläktarna avstängda.

Kommentar:

Övertändning sker efter ca 10 s med 5 eller 10 liters bränder.



Figur G.18. Brand i spilld diesel. Spjällen och dörren öppna. Motorns kylfläkt påslagen.

Kommentar:

Övertändning sker efter ca 10 s med 10 liter och efter ca 20 s med 5 liter diesel.

Slutsats

Då en större mängd diesel läckt ut kommer övertändning ske efter 10-15 sekunder. Detta gör att det blir mycket svårt att dimensionera en släckanläggning som skall skydda mot skador på omkringliggande apparatur.

Självklart måste dessa resultat på något sätt beaktas, men då de större dieselläckagen är mindre sannolika inriktas utredningen på det mest troliga scenariot med 1 liter utspilld diesel.

Värmeövergångstal

För att klargöra hur resultaten beror av antaget värmeövergångstal görs en känslighetsanalys där ett godtyckligt brandscenario testas för $h=10-25 \text{ W/m}^2\text{C}$. I detta fall används scenariot, brand i utspild diesel.

Samtliga ventilationsfall prövas med avseende på påverkan mot komponenter på apparatskåpens utsida. Det antas att påverkad apparatur har liknande värmeupptagningsförmåga som PVC-plast, $k\rho C = 0.21 \text{ kW}^2\text{s/m}^4\text{C}^2$.

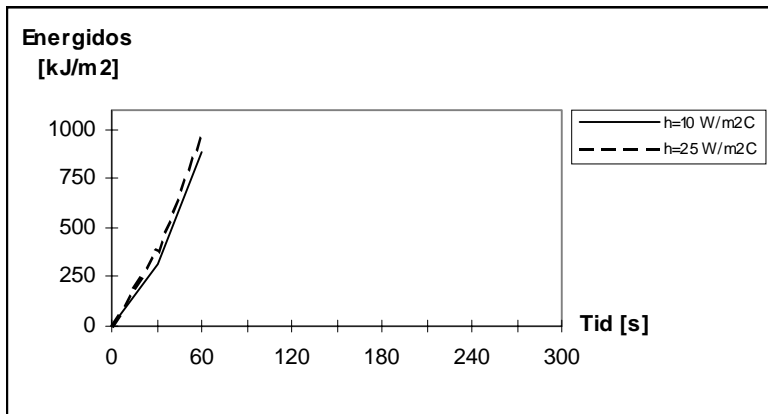
För att testa hur resultaten varierar vid de kraftiga flödena vid ventilationsöppningarna görs också känslighetsanalyser där värmeövergångstalet varieras mellan $100-140 \text{ W/m}^2\text{C}$. I dessa fall beaktas påverkan mot elektronik intill ventilationsöppningarna.

Testade scenarion som behandlar påverkan på elektroniken i apparatskåpens dörrar är uppdelade i två delar.

1. Den första delen innehåller scenariot där påverkan sker genom såväl strålning från flammen, heta väggar och brandgaser samt genom konvektiv värmeöverföring från brandgaserna. Denna delen innehåller dock en grupp fall där ventilationen är så kraftig att den ventilerar bort brandgaserna innan de hinner spridas i rummet. I dessa fall kommer enbart flamstrålningen beaktas.
2. Den andra delen innehåller de scenarion där branden är sådan att brandgasplymen omsluter apparatskåpen på sin väg mot taket. Påverkan sker då genom strålning och konvektion från brandgaserna i plymen.

Brand i utspild diesel

I följande scenarion antas att 1 liter diesel har läckt ut på golvet och på något sätt antänts.

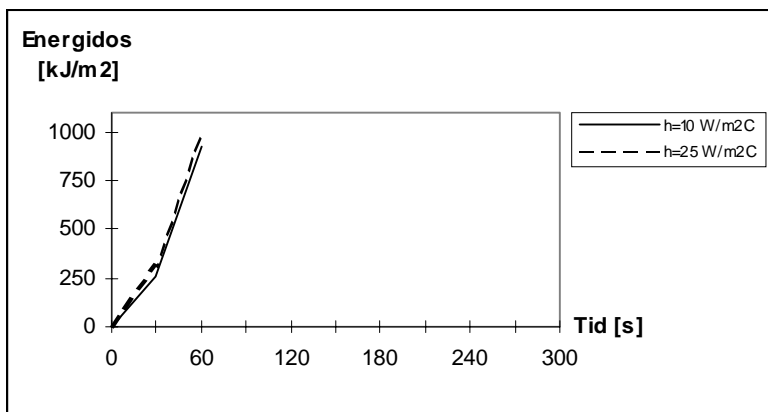


Figur G.19. Brand i utspild diesel. Alla öppningar stängda, fläktarna avstängda.

Kommentar:

Övertändning inträffar efter ca 1 min, därav kurvornas slut.

Den obetydliga skillnaden mellan de olika kurvorna ger slutsatsen att värmeövergångstalet har väldigt liten betydelse i scenariot.

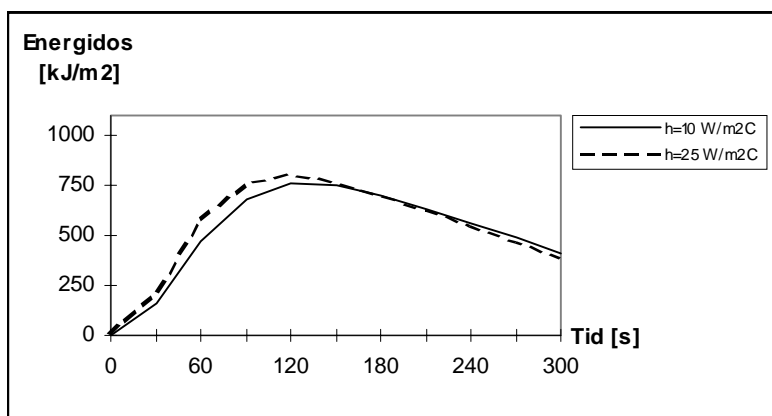


Figur G.20. Brand i utspild diesel. Alla öppningar stängda, fläktarna på.

Kommentar:

Övertändning inträffar efter ca 1 min.

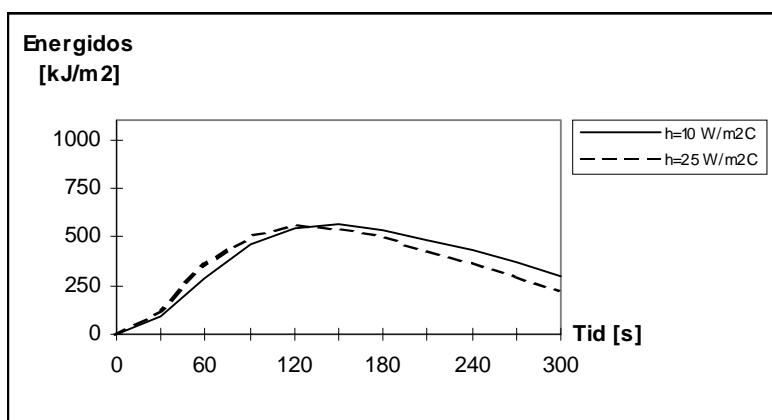
Omrörningen av brandgaserna påverkar inte inverkan av h -värdet, jämför med figur G.19



Figur G.21. Brand i spilld diesel. Dörren är öppen, i övrigt allt stängt. Fläktarna avstängda.

Kommentar:

Skillnaderna ökar då kallare uteluft kan sugas in i undre skiktet. Skillnaderna är dock fortfarande väldigt begränsade.



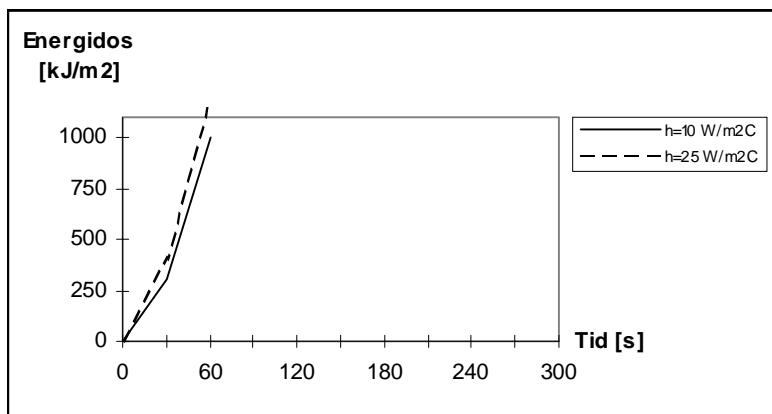
Figur G.22. Brand i utspilld diesel. Dörren är öppen, i övrigt allt stängt. Fläktarna på.

Kommentar:

Differensen mellan kurvorna fortsätter att vara små.

Brand i utspilld diesel, plympåverkan

I följande scenarion antas en dieselläcka ha bildat en 1 liters pöl precis under apparatskåpen. Denna antänds och brandgasplymen som bildas omsluter framsidan av skåpen.



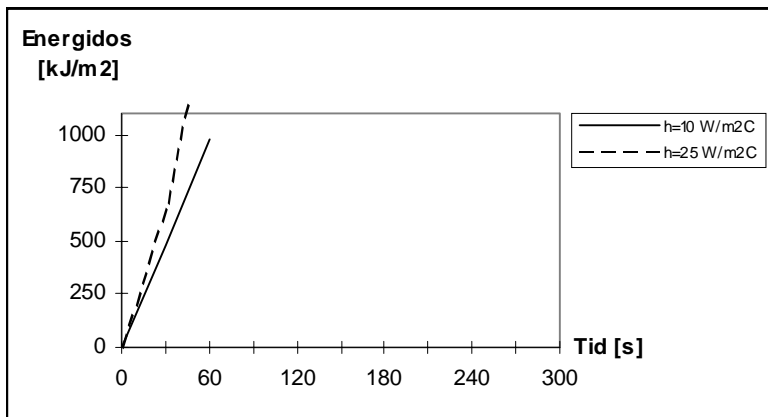
Figur G.23. Brand i spilld diesel precis under. Alla öppningar stängda, fläktarna avstängda.

Kommentar:

Övertändning sker efter ca 1 min.

Vid direkt påverkan från brandgasplymen får värmeövergångstalet lite större betydelse, dock fortfarande obetydlig.

Jämför med figur G.19.

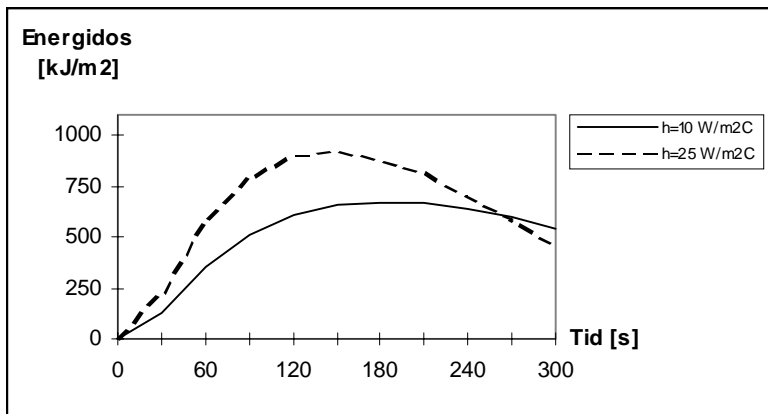


Figur G.24. Brand i spilld diesel precis under. Alla öppningar stängda, fläktarna på.

Kommentar:

Övertändning sker efter ca 1 min.

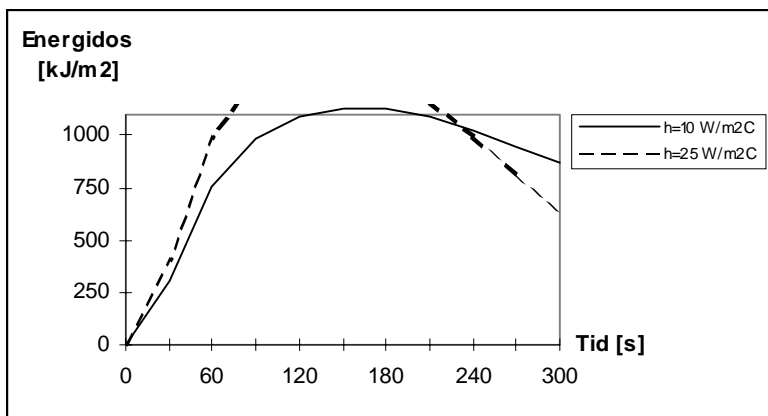
Skillnaderna ökar med omrörningen av brandgaserna. Jämför figur G.23



Figur G.25. Brand i spilld diesel precis under. Dörren är öppen, i övrigt allt stängt. Fläktarna avstängda.

Kommentar:

Tydliga differenser i resultaten mellan de olika värmeövergångstalen börjar uppkomma.



Figur G.26. Brand i spilld diesel precis under. Dörren är öppen, i övrigt allt stängt. Fläktarna på.

Kommentar:

Skillnaden ökar med tiden för att sedan minska igen.

Slutsats

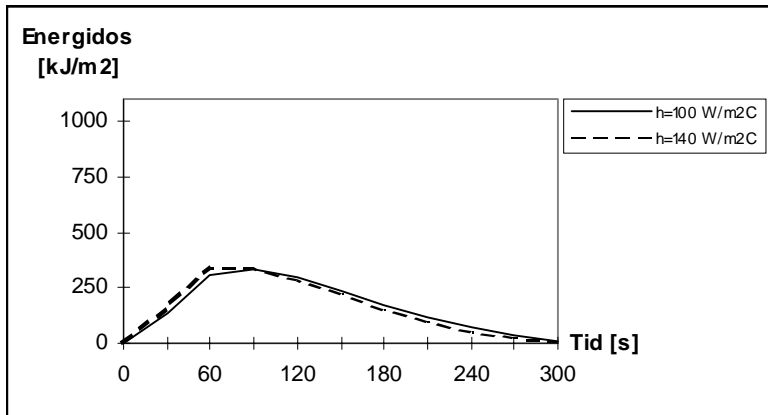
De båda olika modellerna som används för att approximera inkomna energidoser och yttemperaturer bygger på olika andelar konvektion och strålning, där enbart konvektionen är beroende värmeövergångstalet.

I den första delen, då direkt plympåverkan inte föreligger, påvisas mindre skillnader i resultaten än i fallen med direkt plympåverkan. Detta grundar sig i att konvektionen oftast dominerar vid direkt plympåverkan.

Då resultatet i många fall påverkas av värmeövergångstalet anses det vara nödvändigt att utföra en osäkerhets där värmeövergångstalet varieras över hela intervall, se appendix B3.

Brand i utspilld diesel, påverkan vid utflöden

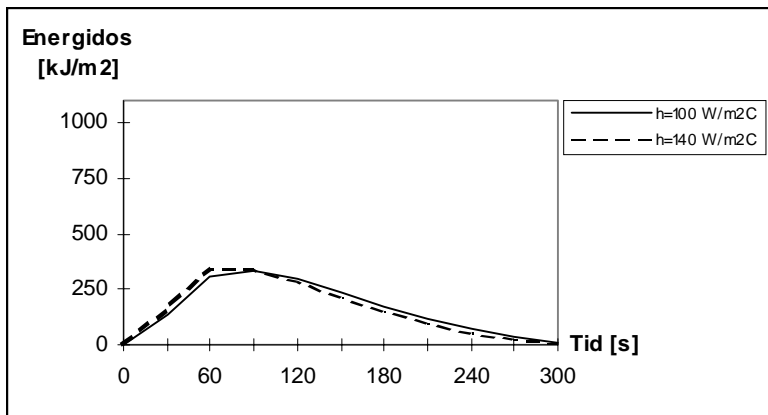
I följande fall antas 1 liter diesel ha läckt ut och antänts ca 0.75 meter ifrån fläkten. Plymen sugas alltså ut genom öppningen och påverkar därigenom intilliggande apparatur.



Figur G.27. Brand i spilld diesel. Fullt ventilationsflöde utan LKE:ns frånluft.

Kommentar:

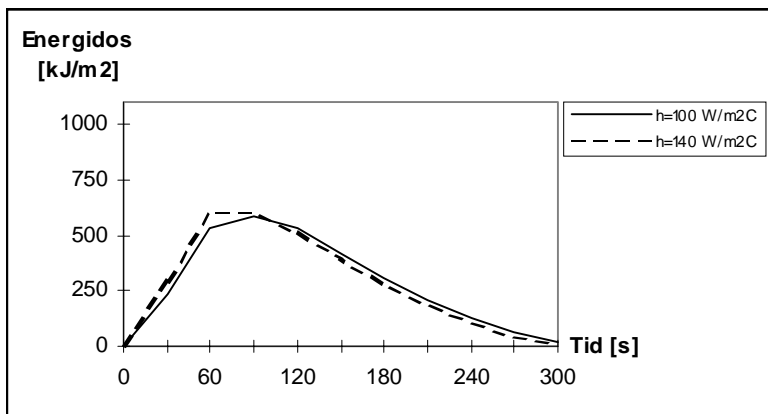
Minimala skillnader mellan de båda fallen.



Figur G.28. Brand i diesel. Fullt ventilationsflöde utan LKE:ns frånluft. Dörren öppen.

Kommentar:

Skillnaderna är fortfarande minimala även då dörren är öppen. Jämför med figur G.27.

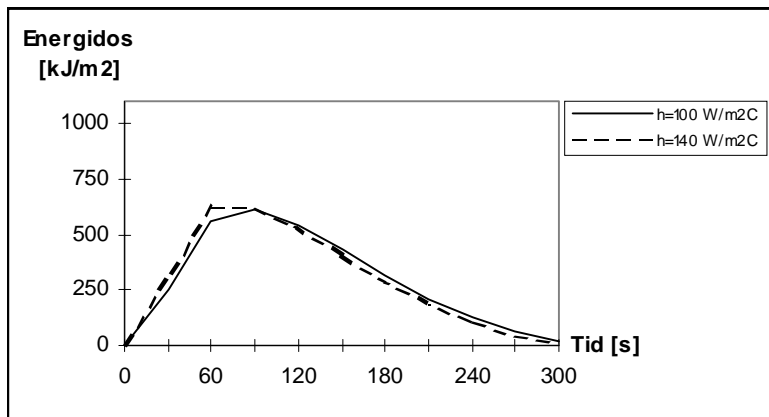


Figur G.29. Brand i spilld diesel. Fullt ventilationsflöde med LKE:ns frånluft.

Kommentar:

Den högre energidosen, än i tidigare fall, grundar sig i att ventilationsflödet genom containern är mindre, vilket ger mindre utspädning av plymen.

Differensen mellan kurvorna är dock fortfarande liten.



Kommentar:

För kommentar se figur G.29.

Figur G.30. Brand i diesel. Fullt ventilationsflöde med LKE:ns frånluft. Dörren öppen.

Slutsats

Även om flödena är stora, vilket resulterar i höga värmeövergångstal, blir skillnaderna i upptagen energidos små. De skillnader som dock noteras är att tiden för upptagningen av energin samt för avsvälningen är något kortare i fallen med högre värmeövergångstal.

I dessa fall visar det sig att värmeövergångstalet har en underordnad betydelse på resultatet. Då samma beräkningsgång kommer att användas, som för påverkan på andra komponenter än de i ventilationsöppningarna, görs även här en osäkerhetsanalys.

APPENDIX H

För att på ett enkelt sätt åskådliggöra hur beräkningsgången används följer i detta appendix ett beräkningsexempel.

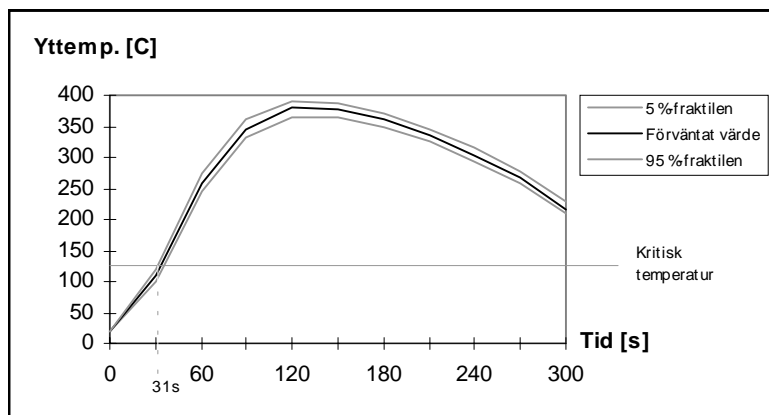
Beräkningsexempel

För att åskådliggöra beräkningsgången följer nu ett exempel där den förväntade återställningstiden för ett utvalt objekt beräknas. Sedan visas också hur den totala förväntade återställningstiden för alla delscenarior används för att producera ett beslutsunderlag i form av en riskprofil.

I första delen av exemplet används scenariot där en liter utspild diesel antänds på golvet precis bredvid tanken och apparatskåpen. Dörren till containern är öppen men fläktarna och spjällen är stängda. Komponenten, som beräkningsexemplet koncentrerar sig på under den här delen av exemplet är en gummislang till en nivåvakt för ett kylsystem. Detektionsystemet antas vara uppbyggt av rökdetektorer. Som släcksystem antas ett system med halogeniserad gas av något slag.

Punkterna nedan följer ej den generella arbetsgången som beskrivs i *kapitel 6.2.1*.

- Välj ut dimensionerande brand.
- Defineras brandscenariot och simuleringar görs i CFAST. Utdatan som är av vidare intresse (gas-temperatur i undre och övre lagret, väggtemperaturerna i rummet, brandgaslagrets höjd över marken, brandens effektutveckling, plymflödet samt trycket i rummet) sparas i Excelformat. Se *appendix B1* för indata.
- Parallellt med CFAST-simuleringarna tas materialdata fram för gummislangen. Intressant materialdata är slangens värmeupptagningsförmåga, kpc , samt den kritiska nivån på, i detta fallet, yttemperaturen för objektet. För gummislangen fås: $kpc = 0.34 \text{ kW}^2\text{s/m}^4\text{K}^2$, $T_{\text{crit}}=125^\circ\text{C}$. Se *appendix B2*.
- Lägg in CFAST-utdatan i kalkylprogrammet där yttemperaturen beräknas över tiden 0-300 s. Geometrin i brandrummet läggs också in tillsammans med värmeupptagningsförmågan hos gummislangen.
Efter det att alla indata är inmatade görs en monte carlo-simulering med hjälp av @Risk. Se *appendix B3*.
Resultatet av simuleringen bearbetas och presenteras i ett diagram, se *figur H.1*.



Figur H.1. Yttemperatur hos gummislang.

- Om sedan kurvan över det förväntade värdet väljs som den dimensionerande, har gummislangen blivit obrukbar redan innan den kritiska tiden i 50 % av fallen vilket ger dålig säkerhet. Med avseende på detta väljs istället valt 95 %-fraktilen som den dimensionerande. Med 95 %-fraktilen menas att yttemperaturen på komponenten i 95 % av alla möjliga fall understiger den valda temperaturen.

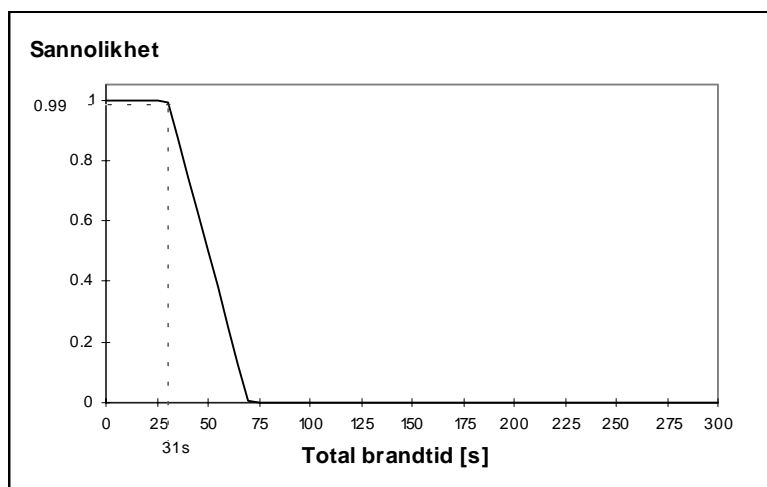
När dimensionerande yttemperatur-tidkurvan har tagits fram fås tiden till det att gummislangen blir obrukbar i detta scenario, 31 s..

- Vid sidan av undersökningen av den kritiska tiden för gummislangen görs en bedömning av tiden till detektion och släckning.

Detektionstiden för rökdetektorer bedöms vara mellan 20-60 s, se *tabell B.5*, och släcktiden för halogenerade släckmedel ligger med stor säkerhet mellan 8-12 s, se *tabell B.5*. Dessa tidsintervall antas vara fördelningar. Summan av dessa kallas total brandtid, se *appendix B4*. Den totala brandtiden monte carlo-simuleras med hjälp av @Risk och inga pålägg med avseende på utrullnings- och utrymningstider görs då inga spjäll behöver stängas och ingen extratid för säker utrymning behövs.

Den totala brandtiden presenteras sedan som en CCDF-kurva, se *figur H.2*.

- Sedan sätts den kritiska tiden 31 s in i fördelningskurvan och sannolikheten, för att branden fortfarande pågår, läses av i *figur G.2*.



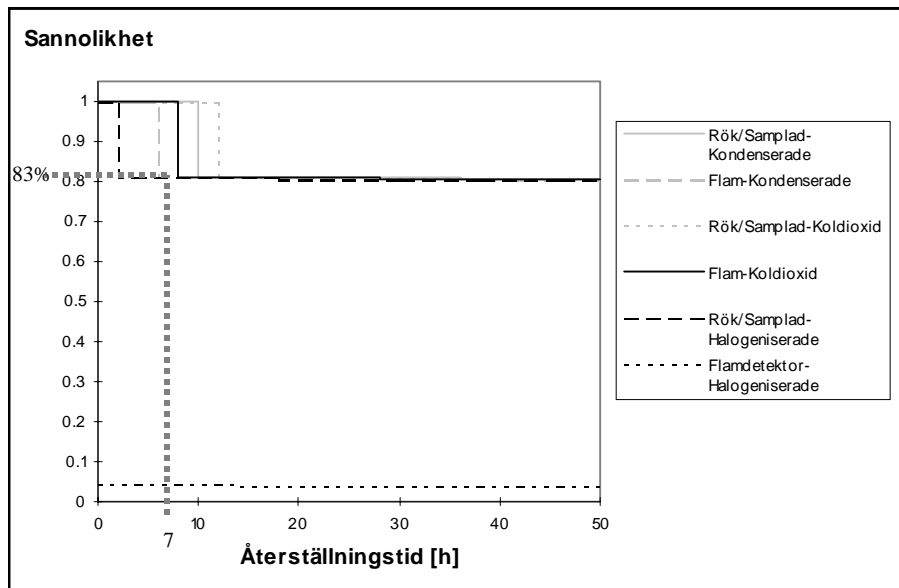
Figur H.2. Sannolikheten att branden inte är släckt.

I detta fallet är det 99 % chans att det fortfarande brinner.

- Reparationstiden för att få komponenten fungerande igen bedöms av leverantörer och tillverkare.

I fallet med gummislangen tar det ca 0.5 h. Se *appendix B5*.

- Multiplicera sedan reparationstiden med sannolikheten att branden fortfarande pågår. Det som då fås ut är den förväntade återställningstiden för komponenten i detta scenario.
- Välj nya komponenter och börja om från början.
- När sedan samtliga förväntade återställningstider för alla relevanta komponenter i scenariot summerats erhålls slutkonsekvensen för en arm i sluthändelseträdet.
- Beräkna de övriga slutkonsekvenserna på samma sätt och för in dem i sluthändelseträdet. Se *appendix B6*.
- Gör sedan en riskprofil för sluthändelseträdet. Se *appendix B7*.
- Välj nya detektion/släcksystems kombinationer och gör en nya riskprofiler.
- Jämför riskprofilerna.



Figur H.3. Riskprofil för sannolikheten av olika återställningstider då containern är mobil.

Ur figur H.3 kan det exempelvis utläsas att det är 83 % sannolikhet att återställningstiden blir längre än 7 timmar i fallen med rök/samplad detektion samt ett halogeniserat släckmedel och flamdetektor samt en komprimerad gas som släckmedel.

REFERENSER

Andersson Jan, Andersson Petra, Holmstedt Göran, *Scale effect on flame extinguishing and inertation concentration and thermal decomposition products formation of halon alternatives*

Andersson Petra, Arvidson Magnus, Holmstedt Göran, *Small scale experiments and theoretical aspects of flame extinguishment with water mist*, Report 3080, Lund, May 1996

Andersson Jan, Holmstedt Göran, *Alternative agent condustion product formation, flame suppression and flammability characteristics*, Proc. Halon Alternatives Technical working Conference, Report 83-105, Albuquerque, 11-13 May 1993.

Anderson Petra, Holmstedt Göran, *Fullskaliga släckförsök med olika vattendimsystem i container 50 m³ i Karlskrona 26/8 - 29/8 1996*, Report 3089, Lund, 1996

Arvidsson Tommy, *Brandgasers och släckmedels verkan på datorsystem*, Brandforsk, Stockholm, Maj 1986

Arvidson Magnus, Person Henry, *Koldioxid (CO₂) påverkan på elektronik - släckning med låga koncentrationer*, SP rapport 1993:20, Borås, 1993

Bern Magnus, *Grundläggande brandfysik - en översikt*, Elevrapport Brandingenjörslinjen, Lund, 1989

Blomqvist, Jan, *konsultation*, 1997.

Bohlender, *produktkatalog*, 1997

Brand och räddning 3/92

Brandskyddslaget, LTH-brandteknik, *Brandskydd, teori och praktik*, Stockholm 1994.

British Standards Institute - Fire, *BSI standards*, Cheshire, 1997

Bukowski Richard W, *Balanced Design Concepts*, NIST

Bukowski Richard W, O'Laughlin Robert J, *Fire alarm signaling systems*, Boston, 1994.

Center for chemical process safety, *Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989

Cox F.P. et al, *Classifications of CFASTous Locations*, London 1993.

Drysdale Dougal, *Fire Dynamics*, Edinburgh 1993

Elektromatik Power Generation AB, *Materialuppgifter för Kraggcont 037/039/T*, 1997

Elektromatik Power Generation AB, *Underhållsföreskrift för Kraggcont 037/039/T*

Fire and materials vol 21, 1997

General electric, *produktkatalog*, 1997

Hamilton Gustaf, *Risk Management 2000*, Lund, 1996

Holmstedt Göran, Magnusson Sven-Erik, Thomas PH, *Detector environment and detector response, A survey*, Report 3039, Lund, 1987

Holmstedt G, Isaksson S, Simonsson M, *Gasformiga alternativ till halon som släckmedel*, SP Rapport 1997:10, Borås, 1997

James Arthur M, Lord Mary P, *Macmillan's Chemical and Physical Data*, London, 1992

Jamison W.B, *The key to effective high expansion foam, part 2*, Fire technology 6.140, 1970

Lundin Johan, *Uncertainty in smoke transport models*, Report 3086, Lund, 1997

Magnusson Sven-Erik, *konsultation*, 1997.

NIFRS, *National Estimates Summary of fire cause categories for structure occupancy classes*

NIST, *Protection of data processing equipment with fine water sprays*, NISTIR 5514

Ondrus Julia, *Brandförlopp*, Lund, 1990

Palisade Corporation, *Precision Tree, User's guide*, 1996

Palisade Corporation, *@RISK, User's guide*, 1996

SCANIA Industrial & Marine Engines, *produktbeskrivning*, 1997

Scarrone, M, et.al., *A reliability data bank for the natural gas distribution industry*

Seiman Matti, Nordberg Pontus, *Halonersättning vid provplats FMV:ProvFFK*, 1996

Society for Fire Protection Engineers, *Fire Protection Engineering Handbook*, 1995

Tuovinen Heimo, *Släckning av oljespraybränder genom vatteninblandning*, Arbetsrapport 1989:70, Borås, 1989

Van Hees Patrick, Thureson Per, *Burning behavior of cables - modelling of flame spread*, SP rapport 1996:30, Borås, 1996

Ärlebrant JA, *Skum för brandbekämpning*, Elevrapport Brandingenjörslinjen, Lund, 1986