

Brandriskanalys av flygvapnets motorprovhus

Sofia Haglund

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

**Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5098, Lund 2002

Brandriskanalys av flygvapnets motorprovhus

Sofia Haglund

Lund 2002

Brandriskanalys av flygvapnets motorprovhus

Sofia Haglund

Report 5098

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5098--SE

Number of pages: 114

Illustrations: Sofia Haglund

Keywords

hush house, fire hazards, risk analysis, JAS 39 Gripen, 37 Viggen, fire in an aircraft, pool fire.

Sökord

motorprovhus, brandrisker, riskanalys, JAS 39 Gripen, 37 Viggen, brand i flygplan, pölbländ.

Abstract

This report is the result of a risk analysis of fire hazards in hush houses in the Swedish air force. The results are based on computer simulations, calculations and discussions. Two main fire scenarios are evaluated and it is the worst probable scenarios. The main conclusion is that one technician will die every 20 000 year in a fire in a hush house if there is no fire brigade.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2000.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

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

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

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

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

SAMMANFATTNING

I flygvapnets motorprovhus testas flygplansmotorernas prestanda och kalibrering. Det är främst JAS 39 Gripen och 37 Viggen som testas idag. Flygplanet spännen fast i golvet i provhallen och körs med varierad effekt med en tekniker i cockpit.

Syftet med detta projekt är att fastställa brandriskerna vid motorkörning i motorprovhus avseende omfattning och frekvens. Projektet ska också påvisa skillnader mellan insats genomförd av flygplatsräddningstjänsten och den kommunala räddningstjänsten. Detta ska sedan tjäna som underlag till Försvarmaktens Högkvarters vidare handläggning i ärendet.

Två brandscenarier har utvärderats, dels brand i bränslepöl på golvet och dels brand i motorzon i flygplanet.

Resultaten visar att frekvensen för brand i motorzon är högre än för brand i bränslepöl på golvet. Frekvenserna är $1 \cdot 10^{-3}$ /år (en gång på 1 000 år) och $4 \cdot 10^{-5}$ /år (en gång på 25 000 år) för respektive brandscenario. Konsekvenserna av de två scenarierna är likvärdiga. Om inte flygplatsräddningstjänsten gör en insats och om inte förarplatsteknikern kan ta sig ut själv så kommer teknikern att omkomma. Om däremot flygplatsräddningstjänsten gör en lyckad insats så kommer förarplatsteknikern att överleva, men med svåra skador. Om förarplatsteknikern tar sig ut själv inom 60 s så kommer förarplatsteknikern att överleva med inga eller med endast mindre skador.

Den samlade riskbilden visar att frekvensen för att en förarplatstekniker ska omkomma är $5 \cdot 10^{-5}$ /år (en gång på 20 000 år) om inte flygplatsräddningstjänsten gör insatsen. Om däremot flygplatsräddningstjänsten gör en lyckad insats kommer förarplatsteknikern att överleva, men med svåra skador.

FÖRORD

I arbetet med detta projekt är det framförallt en person som jag vill tacka och det är Olof Tillhagen. Han är numer pensionär och bonde men var tidigare anställd som flygförare i flygvapnet. Han har gjort en faktainsamling om tidigare tillbud och incidenter som jag troligtvis hade haft svårt att göra själv eftersom jag inte har de kontakterna och de erfarenheter från flygvapnet som behövs. Han har också varit min högra hand under arbetets gång och ställt upp i ur och skur. Tack Olle!

Personer som jag vill tacka från Försvarets Halmstadskolor (FM HS) är Kenneth Narstam och Jörgen Ericsson samt de andra flygplansteknikerna som hjälpte till vid klassificeringen av de tillbud som har hänt i motorprovhus. Kenneth Narstam som är motorprovhuschef på FM HS har också ordnat ett par studiebesök under arbetets gång och delgivit mig och Olof sina erfarenheter från motorprovning i motorprovhus.

Jag vill också tacka Lars Norrman, utbildningsansvarig för JAS på FM HS, som ordnade ett studiebesök där jag fick se hur JAS-planet ser ut under skrovet, vilket förde arbetet framåt.

Personal på GSE-partners har även de varit till stor hjälp i arbetet då de har svarat på alla mina frågor angående motorprovhus. Tack!

Andra personer som jag vill tacka och som har gjort detta arbete genomförbart är mina handledare Göran Holmstedt från avdelningen för brandteknik vid LTH och Johan Åqvist från FMV.

Ett stort tack också till alla andra som har hjälpt till under arbetets gång och som bidragit till resultatet av detta projekt.

Sofia Haglund

Lund, maj 2002

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Metod	1
1.4	Avgränsningar	3
1.5	Rapportens disposition	4
2	Objektbeskrivning	5
2.1	Byggnad	5
2.2	Provhall	5
2.3	Avgassystem	7
2.4	Inkörsportar	7
2.5	Kontrollrum	7
2.6	Rutiner vid motorprovning	8
2.7	Motorprovning utomhus	8
3	Brandskydd	9
3.1	Allmänt om befintligt skumsystem	9
3.1.1	Systemets funktion	9
3.1.2	Skumuppbyggnad	10
3.2	Flygplatsräddningstjänst	10
4	Allmänt om flygplanen	11
4.1	Flygplan 37 Viggen	11
4.2	JAS 39 Gripen	12
4.2.1	Turbojetmotorn RM 12	12
4.3	Skillnader på planen	14
4.4	Flygbränsle MC 75	15
5	Regler	17
5.1	OSM	17
5.2	UHB	18
6	Skador på människa och flygplan	19
6.1	Skador på människa	19
6.1.1	Toxiska effekter	19
6.1.2	Värme och brännskador	20
6.1.3	Personalens skyddskläder	22
6.1.4	Personrisker med lättskum	24
6.2	Skador på flygplan	24
6.3	Valda skadenivåer	25
7	Utrymning	27
7.1	Människors beteende vid brand	27
7.2	Nuvarande utrymningssituation för förarplatstekniker	27
7.3	Utrymning vid utomhusprovning	29
8	Tidigare tillbud och erfarenheter	31
8.1	DA-BAS	31
8.2	DA-FLYG	32
8.3	RBRT	32
8.4	Enkätundersökning	33
8.5	Övriga uppgiftslämnare	34
8.5.1	Information från US NAVY	34
8.5.2	Information från Hughes Associates (HA)	35
8.5.3	Vidtagna åtgärder på Bodö-basen	35

9	Brandscenarier	37
9.1	Tänkbara brandscenarier	37
9.2	Valda brandscenarier	38
9.2.1	Scenario 1 - Brand i motorzon	38
9.2.2	Scenario 2 - Brand i bränsle på golvet	38
9.3	Händelseträäd	39
9.3.1	Utrymning	39
9.3.2	Brandskyddssystem	39
9.3.3	Händelseträäd	40
9.3.4	Räddningstjänsten	41
10	Konsekvensanalys	43
10.1	Scenario 1 – Brand i motorzon	43
10.1.1	Handberäkningar och diskussioner	43
10.1.2	Datorsimuleringar i Hazard	44
10.1.3	Resultat – konsekvensanalys scenario 1	46
10.2	Scenario 2 – Brand i bränslepöl på golvet	48
10.2.1	Handberäkningar och diskussioner	48
10.2.2	Datorsimuleringar i Hazard	48
10.2.3	Resultat – konsekvensanalys scenario 2	51
11	Känslighetsanalys	53
11.1	Scenario 1	53
11.2	Scenario 2	53
11.2.1	Bränslemängd	53
11.2.2	Flamtemperatur	54
11.3	Sammanfattning av känslighetsanalys	55
11.3.1	Scenario 1	55
11.3.2	Scenario 2	55
12	Sannolikheter och frekvenser	57
12.1	Sannolikheter	57
12.1.1	Utrymningen	57
12.1.2	Släcksystem	58
12.2	Frekvenser	58
12.2.1	Scenario 1	59
12.2.2	Scenario 2	60
12.2.3	Diskussion om frekvenser	61
13	Resultat – samlad riskbild	63
13.1	Händelseträäd	63
13.2	Skador på människa	64
13.3	Skador på flygplan	65
14	Slutsatser	67
	REFERENSER	69
	INNEHÅLLSFÖRTECKNING BILAGOR	71

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I flygvapnets motorprovhus testas bl.a. JAS 39 Gripen- och 37 Viggen-motorernas prestanda och kalibrering. Flygplanet spännes fast i golvet och körs med varierad effekt med en tekniker i cockpit. Motorprovhus finns på alla flygflottiljer och på Försvarmaktens Halmstadskolor (FM HS).

I början av 1990-talet infördes bestämmelsen att flygplatsräddningstjänsten, förutom insats mot havererat flygplan, även skulle kunna utföra insats mot motorprovhus med samma insattid. En av anledningarna till detta beslut var en olycka som inträffade i ett motorprovhus på Bodö-basen i Norge. Olyckan finns beskriven i bilaga 1. En annan anledning var att flygplatsräddningstjänst fanns på varje flygflottilj. Flygplatsräddningstjänsten kunde då ha uppgiften att göra insats mot motorprovhus utan extra kostnader för flygvapnet. Idag har inte FM HS någon militär flygplatsräddningstjänst, det innebär att de måste hyra in en räddningsstyrka när motorprovning görs, vilket innebär extra kostnader för flygvapnet.

Försvarets materielverk (FMV) har uppdragit Lunds tekniska högskola (LTH) att utarbeta en säkerhets- och sårbarhetsanalys inom brand- och räddningsområdet vid motorkörning i motorprovhus. Utredningen ska belysa riskerna främst för personal som tjänstgör vid motorprovning. Den ska också beakta befintligt släcksystem, olika brandförlopp, utrymning, analys av tidigare incidenter såväl nationella som internationella, samt hur en eventuell räddningsstyrka ska sättas samman.

Projektet består av två huvuddelar, statistikinsamling samt riskanalys.

Statistikinsamlingen har genomförts av Olof Tillhagen, tidigare anställd som flygförare i Försvarmakten.

Riskanalysdelen har utförts som ett projektarbete i kursen Problembaserad brandteknisk riskvärdering, som ges av avdelningen för brandteknik vid Lunds tekniska högskola (LTH). I denna rapport redovisas resultatet av båda delarna som en sammanhängande rapport.

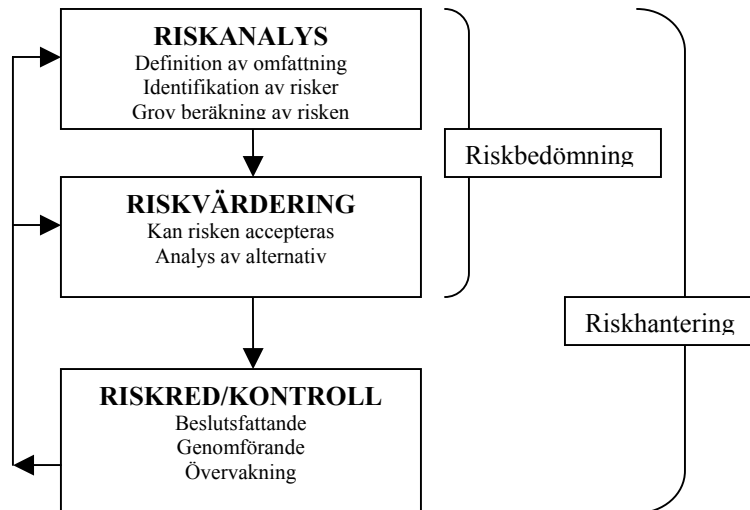
1.2 Syfte

Syftet med projektet är att fastställa riskerna vid motorkörning avseende omfattning och frekvens. Projektet ska också påvisa skillnader mellan insats genomförd av flygplatsräddningstjänsten och den kommunala räddningstjänsten. Detta materiel ska tjäna som underlag till Försvarmaktens Högkvarterets vidare handläggning i ärendet.

1.3 Metod

Riskhantering är, enligt International Electrotechnical Commission (IEC), ett begrepp som innefattar hela processen från det att risker och riskkällor identifierats till det att beslut tas om vilka åtgärder som ska vidtas mot dem. Riskhanteringen delas in i riskanalys, riskvärdering och riskreduktion/kontroll.¹ Hur de förhåller sig till varandra redovisas i figur 1. I detta projekt är det bara riskanalysdelen som beaktas. Riskvärderingen och riskreduktionen/kontrollen kommer att genomföras av andra instanser.

¹ *Risk analysis of technological systems*, IEC, 1995



figur 1: Riskhanteringsprocessen

En riskanalys kan dels belysa tekniska aspekter och dels sociala, psykologiska och kulturella aspekter. I denna riskanalys kommer endast den tekniska delen att undersökas där konsekvenser och sannolikheter kommer att studeras.

En teknisk riskanalys ska svara på tre frågor:¹

- Vad kan hända?
- Hur troligt är det att det händer?
- Vilka är konsekvenserna av händelsen?

För att identifiera olika tänkbara scenarier då brand inträffar kommer händelsetråd att användas. I händelseträden illustreras även sannolikheter och konsekvenser för de olika scenarierna. Händelseträden ligger sedan till grund för att framställa en riskprofil, som används för att illustrera riskbilden rent grafiskt.

Oftast är det ett stort mått av antaganden som ligger till grund för en riskanalys, det betyder att det finns en osäkerhet inbyggd i resultatet. Det är därför viktigt att redogöra för alla antaganden och analysera osäkerheterna för att kunna bedöma riskanalysens riktighet.

I detta projekt kommer en känslighetsanalys att genomföras där det framhävs hur osäkerhet i indata påverkar resultatet.

¹ J. Nilsson, *Introduktion till riskanalysmetoder*, 2001

IEC anger en standardiserad procedur för hur en riskanalys för tekniska system ska genomföras. Den fullständiga proceduren är uppdelad i sex steg, men den kan avbrytas vid något steg beroende på vilket syfte riskanalysen har.¹ I hela projektet används de första fem stegen varav denna rapport utgör de tre första. De första fem stegen är följande:

1. Definition av omfattning

I detta steg ska orsakerna till analysen beskrivas. Systemet som ska studeras identifieras och avgränsas. Tekniska, miljömässiga, organisatoriska och övriga aspekter som är relevanta för problemet studeras. Viktiga antaganden och begränsningar ska fastställas. I projektet ska detta steg genomföras genom studiebesök, intervjuer och diskussioner med experter.

2. Identifikation av riskkällor och genomförande av en initial konsekvensvärdering

I detta steg ska riskkällorna identifieras och signifikansen av dem bedömas. Syftet är att bestämma vilka scenarier som är relevanta att utvärdera närmare. Riskkällorna i detta projekt ska tas fram genom statistikinsamling och genom diskussioner.

3. Riskuppskattning

Riskuppskattningen ska kvantifiera konsekvenser, sannolikheter och frekvenser. Detta görs genom att en frekvensanalys och en konsekvensanalys genomförs. Dessa sätts sedan samman och en samlad riskbild kan redovisas. Eftersom osäkerheterna ofta är stora i beräkningarna är det viktigt att i detta steg genomföra en osäkerhetsanalys/konsekvensanalys. Detta steg kommer att genomföras med hjälp av datorsimuleringar, handberäkningar, litteraturstudier och genom diskussioner.

4. Verifikation

I detta steg ska en granskning av riskanalysen göras av någon från projektet utomstående person. Detta ska göras för att riskanalysens integritet ska bekräftas. Detta steg kommer att uppfyllas genom att en opponering av projektet kommer att genomföras och att rapporten ska granskas och godkännas av handledare vid avdelningen för brandteknik vid LTH.

5. Dokumentation

Riskanalysen ska vara väl dokumenterad där alla steg i riskanalysprocessen ska vara med. Rapporten ska vara skriven på ett sätt som gör att målgruppen förstår den. Målgruppen i detta projekt är personer i Forsvarsmaktens ledning som ska handlägga ärendet vidare. Dessa personer tros inte ha några djupare brandkunskaper, därför kommer rapporten innehålla en del grundläggande beskrivande delar.

1.4 Avgränsningar

- Endast risker förknippade med brand utvärderas.
- Inga fullskaleförsök genomförs utan handberäkningar, datasimuleringar och mindre experiment ligger till grund för resultaten.
- Det är främst motorprovning inomhus som utvärderas. Utomhusprovning studeras endast i mindre omfattning.
- Inga kostnadsanalyser genomförs.
- Främst brandrisker med JAS 39 Gripen utvärderas eftersom hela flygvapnet anpassar sig efter det flygplanet och att alla flygplan 37 Viggen ska vara utbytta år 2006.

¹ Risk analysis of technological systems, IEC, 1995

1.5 Rapportens disposition

Rapportens disposition och syfte med de olika kapitlen redovisas i tabell 1.

tabell 1: Rapportens disposition

Del av riskanalys	Kapitel		Syfte med kapitel. Läsaren ska:
Definition av omfattning	1	Inledning	genom bakgrund, syfte, metod och avgränsningar komma in i ämnet och få en bra grund till fortsatt läsning av rapporten.
	2	Objektsbeskrivning	få en bild av hur objektet ser ut.
	3	Brandskydd	få kunskaper om befintligt brandskydd på objektet.
	4	Allmänt om flygplanen	få en översiktlig kunskap om de aktuella flygplanen.
	5	Regler	få inblick i vilka regler som gäller vid aktuell verksamhet.
	6	Skador på människa och flygplan	förstå hur människor kan skadas vid en brand. få kännedom om vilka skadenivåer på människa och flygplan som valts i projektet.
	7	Utrymning	få en förståelse för utrymningssituationen som råder på objektet.
Identifikation av riskkällor och genomförande av en initial konsekvensvärdering	8	Tidigare tillbud och erfarenheter	genom vetskap om tidigare incidenter och tillbud erhålla kunskap om vilka riskkällor som finns.
	9	Brandscenarier	genom beskrivning av valda brandscenarier få inblick i vilka brandscenarier som ligger till grund för riskbedömningen.
Riskuppskattning	10	Konsekvensanalys	genom handberäkningar, datorsimuleringar och diskussioner få kunskap om vilka konsekvenser de olika scenarierna ger.
	11	Känslighetsanalys	få insikt i hur osäkerhet i indata påverkar resultatet av konsekvensanalysen.
	12	Sannolikheter och frekvenser	genom statistikinsamling och tidigare erfarenheter få insikt i hur ofta en brand kan inträffa.
	13	Resultat – samlad riskbild	få resultatet sammanställt i form av en samlad riskbild.
	14	Slutsatser	få en kortfattad beskrivning av de viktigaste resultaten och slutsatserna.

2 Objektbeskrivning

2.1 Byggnad

I Försvarsmaktens motorprovsningsanläggningar testas flygplan och deras system. De flygplan som används i svenska försvaret idag är JAS 39 Gripen och flygplan 37 Viggen. Tanken är att endast JAS 39 Gripen ska användas efter år 2006.

Motorprovhus finns på alla flygflottiljer och på Försvarsmaktens Halmstadskolor (FM HS). Byggnaderna ser något olika ut, men de viktiga delarna för detta projekt är lika och fungerar på liknade sätt. Byggnaderna består av en provhall där planet förankras och provkörs. Förutom provhallen finns ett kontrollrum där anläggningen styrs och övervakas.

Andra utrymmen är brandsläckningsrum, förråd, kompressorum, pannrum, fläktrum och omklädningsrum. Dessutom finns ett avgassystem ansluten till provhallen. Avgassystemet består av två torn, sekundärluftintagstorn och utloppstorn. Däremellan finns en ejektor, en avgastub och en basket. Alla ytterväggar är utvändigt klädda med 0,6 mm trapetskorrigerad stålplåt på 45 mm ”Z”-reglar och 45 mm mineralull.

En mer detaljerad ritning över anläggningen finns i bilaga 2 och den är till stor hjälp i detta kapitel för att få en bra bild över hur anläggningen ser ut. Bilagan bör därför användas aktivt vid läsning av detta kapitel. Alla positioner i provhallen anges utifrån flygriktningen. En schematisk bild över byggnaden finns på bild 1.

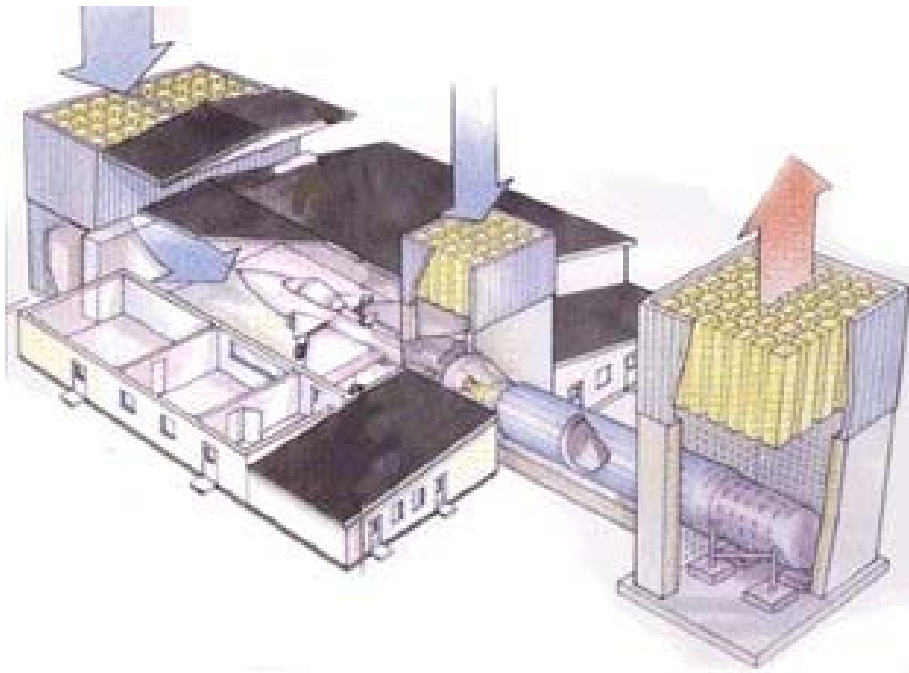


bild 1: Schematisk bild över ett motorprovhus

2.2 Provhall

Det är i provhallen som planet förankras och provkörs. Provhallen har en yta av cirka $14,7 \text{ m} \times 23,3 \text{ m} = 343 \text{ m}^2$. Taket är 6,2 m högt i mitten och går i bågform ut mot väggarna där höjden är 4,5 m. Detta ger en volym på $1\,835 \text{ m}^3$. Grundplattan är av 20 cm tjock betong

med dubbla armeringsmattor. Plattan under flygplanet är separerad från den övriga byggnaden med en dilatationsfog.

Luftintaget sker framifrån genom portarna som är 2,5 m djupa. Luften kommer från primärluftintagstornet som finns ovanför portarna. För att luften ska träffa motorens luftintag horisontellt måste luften vinklas, vilket görs genom ett par ledskenor i portarna.

I primärluftintagstornet finns också ett sekundärluftintag. Intaget ska förse övriga hallen med kylluft och ejektorluft som flygplanets avgaser suger med sig in i ljuddämparen.

På primärluftintagstornet finns en lucka som ska vara stängd då motorkörning inte pågår för att hindra regn och snö att komma in.

Under flygplanet finns en 30 cm bred och 10 cm djup ränna som är täckt med gallerduk. Rännan är i form av ett "T" där tvärlinjen finns i höjd med flygplanets luftintag. Det finns två golvbrunnar i rännan som ska leda bort bränsle- och oljespill från flygplanet. Längst bak i rännan finns en fläkt, som ska suga ut de gaser som bildas av spillet. Ytterligare en ränna finns i den främre delen av provhallen som ska samla upp eventuellt regnvatten eftersom takluckan är öppen under körning.

Golvbeläggningen i hela provhallen består av Acrydur-membran. Det är en fyra 4 mm tjock plastmassa som strukits ut och ovanpå förseglats med lack. Under denna plastmatta finns ett gummiliknande membran som applicerats på betongen. Väggar och tak är försedda med ljudisolerande kassetter av mineralull och målad, perforerad stålplåt.

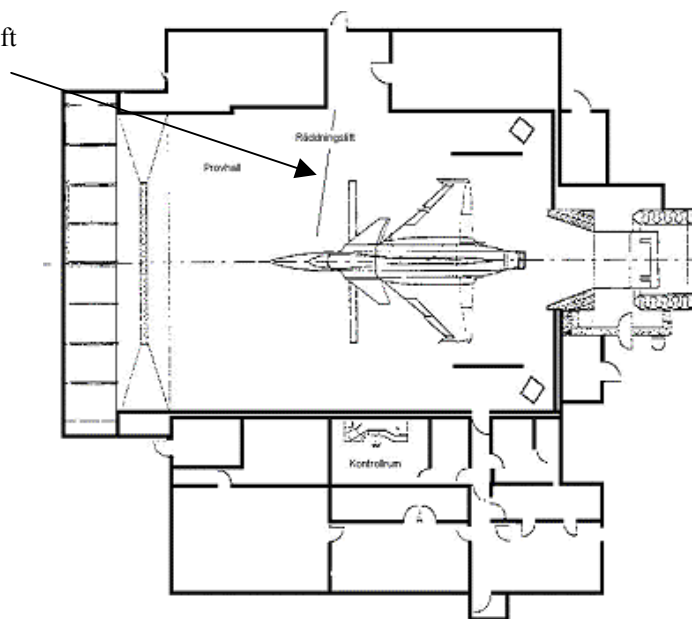
I provhallen finns en räddningslift i taket som ska ta förarplatsteknikern till utrymningsvägen på högra sidan vid en utrymningssituation. Utgångsdörren är försedd med en panikregel, vilket gör att det är lätt att ta sig ut även om dörren är låst. Räddningsliften finns markerad i bild 2 och figur 2.

En viktig sak att poängtera är att alla elledningar till bl.a. släcksystemet är dragna runt väggarna i provhallen och en stor del av kablarna är placerade ovanför avgastuben.



bild 2: Provhallen sedd framifrån

Räddningslift



figur 2: Ritning över motorprovet med räddningsliften markerad

2.3 Avgassystem

Avgaserna från flygplanet leds först genom en 2,5 m lång ljuddämpartub och sedan vidare genom ett 3 m långt ejektorrör. Det är med ejektorns hjälp som kylluft från sekundärluftintagstornet sugts ner och blandas med de heta gaserna från flygplanet. Ejektorn är kalibrerad för att temperaturen i avgastuben inte ska överskrida 450 °C.

Avgastuben är 20 m lång med en utvändigt diameter på 5 m och en invändigt på 3,5 m. Den är gjord av stål. Mitt i avgastuben sitter infraljuddämparen som omvandlar infraljudvågorna till dämpbara frekvenser. Den ser också till att det sker en riktig omblandning av kylluft och avgaser. Bakre delen av avgastuben innehåller en diffusor och en basket vars respektive uppgifter är att sänka gashastigheten och omvandla frekvensen på ljudvågorna.

2.4 Inkörsportar

Inkörning av flygplan sker genom inkörsportarna, vilka också är huvudangreppsväg för räddningstjänsten. Det är två inkörsportar som vardera är 8,5 m breda, 2,5 m djupa och 6,5 m höga. De väger 8 ton/styck. Portarna står på fyra hjul, varav två är drivande. Hjulen i sin tur vilar på två ingjutna rälsar som värms upp elektriskt för att förhindra snö och isbildning. Portarna öppnas normalt med en tvåhastighets elmotor, men om den inte skulle fungera finns möjlighet att för hand, med hjälp av en vev, öppna portarna. Drivmaskineriet är åtkomligt utifrån. Varje port är indelad i fyra sektioner som var och en innehåller två ledskenor. Deras uppgift är att vinkla luften från primärluftintagstornet så att luften träffar flygplanets luftintag på rätt sätt.

2.5 Kontrollrum

Det är kontrollrummet som är anläggningens ”hjärna”, därifrån styrs och övervakas anläggningen. Rummet är 3,6 m x 6 m. Genom ett observationsfönster kan nästan hela provhallen övervakas visuellt. De delar som inte syns kan istället övervakas med någon av de två TV-monitorerna. När ett flygplan provkörts styrs anläggningen med hjälp av en pekskärm. När alla kriterier för motorkörning är uppfylla visas indikeringen ”KLART START” på skärmen. Rummet övertrycksätts med termostatstyrd fläkt och kanalvärmeaggregat.

Om en brand utbryter vid motorkörning ska anläggningens skumsläcksystem utlösas manuellt från kontrollrummet. Det är också i detta rum som larmcentralen för branddetektorerna finns. Det finns även ett nödstopp för motorn i detta rum.



bild 3: Övervakning av motorprovning av Viggen från kontrollrummet

2.6 Rutiner vid motorprovning

I samband med motorprovning ska räddningsstyrkan inta beredskap enligt MIL FRÄD (Militär Flygräddningstjänst). Vid motorprovning ska tre personer vara närvarande; körledare, förarplatstekniker och biträdande tekniker. I OSM (ordnings- och säkerhetsföreskrifter för flygmaterieltjänst) kapitel 5.2, finns reglerat de olika personernas ansvarsområden. Flygplanet placeras i provhallen med hjälp av linjer på golvet för att det ska hamna rätt.

När planet är på plats prepareras flygplanet för motorprovning. Slangar och kablar fästs på mätpunkter på flygplanet och de kopplas till en mätbox. I mätboxen finns kretskort som omvandlar flygplanets mätvärden till optiska impulser och genom fiberoptik överförs de till kontrollrummet. Innan motorprovning utförs förankras och jordas flygplanet. Ett nödstopp för motorn kopplas också in. Förarplatsteknikern kliver in i flygplanet och stänger huven medan biträdande teknikern tar bort stegen och gör de sista förberedelserna för motorprovning. När det är klart går biträdande teknikern ut ur provhallen och motorprovningen kan starta.

2.7 Motorprovning utomhus

Ibland behöver Gripen- och Viggenmotorernas prestanda testas under mer fältmässiga förhållanden, då finns utrustning att genomföra motorprovning även utomhus. En mobil vagn där den viktigaste utrustningen från kontrollrummet finns att tillgå gör detta möjligt.

Det är inte så vanligt att motorprovning med flygplanen sker utomhus, men däremot alla motorprovningar på helikopter sker utomhus. Vid motorprovning av helikopter förankras den inte i underlaget vilket leder till att helikoptern ibland girar vilket är ett riskmoment. Vid motorprovning av flygplan utomhus förankras planet liksom inomhus och provningen går till på samma sätt som i motorprovhuset.

3 Brandskydd

I motorprovsningsanläggningen finns ett skumsläckningssystem som består av två lättskumsaggregat placerade i vardera bakre hörnet av provhallen, samt en mellanskumkanon placerad mitt på högra väggen i provhallen. För att lättare förstå släcksystemets uppbyggnad och funktion kommer först en allmän beskrivning om skum att ges i bilaga 3.

Övrig släckutrustning i provhallen är en 70 kg pulversläckare, en kolsyresläckare och fyra 12 kg pulversläckare.

3.1 Allmänt om befintligt skumsystem

Det finns två typer av skumgeneratorer i provhallen, en mellanskumkanon och två lättskumsaggregat.

Lättskumssystemet är dimensionerat för att få en snabb släckinsats i början av en brand eller vid bränsläckage.

Mellanskumkanonen är dimensionerad för att förhindra att lågor och värme ska nå teknikern under dennes färd med räddningsliften mot nödutgången.

Hela systemet är dimensionerat efter det att räddningsstyrkan ska vara insatsberedd 90 s efter larm. Utlösningen för skumsläckningssystemet görs helt manuellt från kontrollrummet, systemet har alltså ingen koppling till brandlarmet. I samband med att skumsläckningssystemet utlöses, går inkörsportarna upp för att räddningsstyrkan snabbt ska kunna ta sig in och agera. Efter 40 s stängs en jalousi för avgastuben för att skummet inte ska försvinna den vägen.

Skumvätskan är av HOT FOAM - typ vilket innebär att inomhusluft och varma brandgaser kan användas för skumproduktion. Skumtalet för lättskummet är, enligt uppgifter från systemets tillverkare, cirka 1 000.

3.1.1 Systemets funktion

Huvuddelarna i släcksystemet är två lättskumsgeneratorer, en mellanskumkanon, två tryckstegringspumpar, en motorventil, en magnetventil, en vattentank, två skumväsketankar och tre injektorer.

Lättskumsaggregaten är fast monterade i den bakre delen av provhallen och mellanskumkanonen är monterad vid nödutgången, mitt på högra provhallsväggen. Systemet är indelat i två system, ett vänster och ett höger, sett i flygplansriktningen. De två sidorna har varsin skumväsketank.

Den vänstra sidan innehåller det vänstra lättskumsaggregatet och det får sitt vatten från det kommunala vattenledningsnätet. Vattnet går via en magnetventil och tryckstegringspump till en injektor och sedan vidare till skumgeneratören. Det vänstra aggregatet producerar 250 m³ expanderat skum/min.

Den högra sidan innehåller det högra lättskumsaggregatet samt mellanskumkanonen. Vattenförsörjningen till den sidan sker genom en 3 m³ stor tank. Vattentanken har kapacitet för 9 – 10 min skumproduktion. En separat pump med elmotor suger vatten från tanken och sedan vidare genom injektorn och skumgeneratören. Lättskumsaggregatet och mellanskumkanonen har separata injektorer. Det högra lättskumsaggregatets skumkapacitet är 300 m³ expanderat skum/min.

3.1.2 Skumuppbyggnad

Provrummets golvyta är 343 m² och volymen är cirka 1 835 m³. Lättskumsaggregatens kapacitet är 550 m³/min. Det betyder att påföringshastigheten är 550/343 = 1,6 m/min.

Vid en brand sker dock inte skumuppbyggnaden så snabbt utan nedbrytning av skummet och svårigheter att passera hinder i lokalen gör att skumuppbyggnaden sker med en lägre hastighet än påföringshastigheten. Den dimensionerande volymen kan multipliceras med en faktor 1,34 för att kompensera för nedbrytande krafter.¹ I detta fall skulle det innebära att den dimensionerande volymen är 1,6/1,34 = 1,2 m/min. En total fyllnad av provhallen kommer inte att ske eftersom inkörspportarna öppnas när släcksystemet utlöses. Om portarna inte skulle öppnas skulle total skumfyllnad av lokalen erhållas efter cirka 4,5 min (skumuppbyggnadshastighet 1,2 m/min).

Vid jämförelse med försök med utlösning av släcksystemet verkar den beräknade påföringshastigheten stämma väl överens med den verkliga.² Under försöket observerades att den högra sidan täcktes med skum mycket fortare än den vänstra. Efter 1 min var den högra sidan av planet täckt upp till vingarna medan den vänstra sidan bara var täckt med skum på vissa ställen. Vid försöket tog det 30 s för skummet att nå framkanten på flygplanet på den högra sidan av provhallen och 50 s på den vänstra sidan. Det innebär att det tar mellan 30 och 50 s innan en pölbrand under flygplanet är under kontroll. Detta kan förklaras med den högre påföringshastigheten på höger lättskumsaggregat. Ett annat försök där släcksystemet sattes igång medan motorn på planet fortfarande var igång visade att skumuppbyggnaden uteblev helt.¹ Allt skum följde med avgaserna in i avgastuben.

3.2 Flygplatsräddningstjänst

Vid en olycka i motorprovhus har flygplatsräddningstjänsten samma tidskrav som gäller vid insats mot haveri av flygplan inom banområdet. Vid ett larm har räddningsstyrkan en anspänningstid på 20 s och en körtid på 70 s till förfogande, vilket innebär att motorprovhuset ska nås på 90 s. En uppkommen brand ska vara under kontroll inom ytterligare 30 s. Om allt stämmer med räddningsstyrkan ska alltså branden vara under kontroll inom 2 min efter det att larmet gått. Larmet från körledaren i motorprovhuset går direkt till flygplatsräddningstjänsten och kan då alltså vara på plats 90 s efter det att körledaren tryckt på larmknappen.

Styrkan ska ha med sig en släckbil med en släckmedelsmängd (skumvätska AFFF 3% inblandning) på 3 000 liter. De bilar som används är endera Rätgb 4112 eller Råbil 3000, som båda klarar släckmedelskravet. Skumkanonens kapacitet är 1 500 liter/min vid 10 bars tryck. Kastlängden är då cirka 45 m.

Insatsstyrkan består idag av en räddningsledare samt fem värnpliktiga brandmän, eller på vissa flottiljer av heltidsanställda civila brandmän. Efter våren 2002 ska dock alla flottiljers flygplatsräddningstjänst bestå av en militär räddningsledare plus heltidsanställda civila brandmän.

Övningar mot motorprovhuset genomförs en gång i månaden, men det är då främst framkörningsövningar som har genomförts.

¹ M. Rosander och K. Giselsson, *Skumboken*, 1993.

² Videofilm från försök med lättskumssystemet i Motorprovhuset på FM HS

4 Allmänt om flygplanen

4.1 Flygplan 37 Viggen¹

Forsknings- och förprojektstadiet för flygplan 37 Viggen ägde rum mellan 1952 och 1961. Under det sista året av förprojektstadiet beslutades att flygplan 37 skulle utrustas med en Pratt & Whitney JT8-D motor som bl.a. fanns i Boeing 727. Det beslutet innebar att projektet fick anpassas och ledde till att storlek och senare slutgiltigt utkast av planet kunde fastställas. Efter 1961 genomfördes prov, simuleringar och tester på flygplanets olika komponenter och den 8 februari 1967 gjordes den första provflygningen. Det dröjde sedan några år innan Viggen kom till förbanden.

Flygplan 37 Viggen finns i olika versioner för jakt, attack och spaning. Totalt finns fem olika versioner av flygplanet på förband; AJ (attack), SK (skol), SF (fotospaning), SH (havsövervakning) och JA (jakt). Skrovet på flygplan 37 är uppbyggt huvudsakligen av lättmetallegeringar på aluminiumbas och flygplanet har stora ytor bestående av limmade sandwichpaneler. På punkter där starkare material erfordras har titan använts. Frontrutan och kabinhuven är tillverkade av försträckt akrylglas.

Den ombyggda Pratt & Whitney JT8-D motorn benämns RM8 och är en dubbelströmsmotor. Motorrummet betraktas som brandzon och är försett med brandvarningsslingor. Det finns ingen brandsläckningsutrustning inbyggd i planet. Det finns dock dubbla brandvarningssystem installerade för att felindikation ska elimineras. Ett dubbelt varningssystem kan på så sätt rädda ett flygplan vid falskt larm. Vid brandvarning ska piloten lämna planet.

Bränslet som används för att driva motorn är flygfotogen 75. Bränslesystemet på Viggen omfattar åtta integrala tankar. Två är placerade i varje vinge, tre i framkroppen och en samlings tank i bakkroppen. Den totala drivmedelsmängden är 7 000 liter.



bild 4: Flygplan 37 Viggen på plattan.

¹ S. Stridsberg, *Flygplan 37 Viggen*, 1987

4.2 JAS 39 Gripen¹

Specifikationen för Gripen fastställdes 1982 efter flera års studier utförda gemensamt av olika instanser. Provflygningar med Gripens olika system genomfördes med hjälp av ombyggda Viggen-provflygplan, och den 9 december 1988 gjordes den första flygningen med Gripen. Tanken är att Gripen successivt ska ersätta alla Viggen i Sverige och hela svenska flygförsvaret ska år 2006 bestå enbart av Gripen-plan.

Gripen är ett enmotorigt deltavingat flygplan med rörlig nosvinge, dubbla bakkantsroder och konventionell fena. Luftintagen är placerade på sidorna med D-formade öppningar. Cirka 25% av strukturen består av olika typer av kolfiberkomposit. Den mesta kompositen finns i vingar, nosvinge och fena.

Den vanligaste metallen i planet är aluminium och det utgör 60% av flygplansvikten. Den näst vanligaste är titan som utgör 6% av vikten.

Motorn i Gripen är en utvecklad version av den som sitter i det klassiska passagerarflygplanet DC-9. Det internationella namnet på motorn är General Electric F404, medan det svenska namnet på motorn i JAS är RM12. En annan version av motorn finns i det amerikanska stridsflygplanet F-18.

De förändringar som har gjorts i den svenska versionen av F404 är gjorda av Volvo Flygmotor i samarbete med General Electric.

Bränsle är, liksom för Viggen, flygfotogen 75. Bränslesystemet rymmer totalt 3 000 liter flygfotogen internt och drygt 3 000 liter externt, med extratankar.

I flygplanet finns en inbyggd reservkraftanläggning, APU. Till denna finns en brandsläckare inbyggd med Halon 1301. Släckaren innehåller 0,3 l med trycket 4 MPa.



bild 5: JAS 39 Gripen.

4.2.1 Turbojetmotorn RM 12²

En jetmotors funktion är att den accelererar den inströmmande luften till högre hastighet och sprutar ut den bakåt, på så sätt uppstår en reaktionskraft som driver flygplanet framåt.

Jetmotorn är en form av gasturbin där gasen vanligtvis är en blandning av luft och förbränningsgas. En gasturbin är ett aggregat som i sin enklaste form består av en turbin som driver en kompressor och en brännkammare.

¹ J. Ahlgren m.fl., *Faktboken om Gripen*, 1998

² *Focus on the mission VOLVO RM 12*, informationsbroschyr från Volvo Aero Corporation.

RM 12 är en fläktmotor där fläktar ger den inströmmande luften en accelererande rörelse bakåt. Maximalt luftflöde in i motorn är 68 kg/s sedan ökar trestegsfläkten flödet upp till fyra gånger. Fläktens varvtal är maximalt 13 200 r/min. Luftflödet leds in i kompressorn medan viss luft passerar utanför. Kompressorn, som är en sjustegskompressor, ger ett kompressionsförhållande på 27:1 och har ett varvtal på max 16 800 r/min.

Från kompressorn leds luften vidare till brännkammaren där bränsle sprutas in och antänds. De heta förbränningsgaserna vill utvidga sig och strömmar allt snabbare bakåt genom högtrycksturbinen som driver kompressorn, samt lågtrycksturbinen som driver fläkten. De heta gaserna passerar genom ett förmunstycke, blandas med bypassluften och accelereras genom utloppsmunstycket varvid en framåtriktad drivkraft uppstår. I efterbrännkammaren kan sedan ytterligare bränsle förbrännas och öka dragkraften än mer. Gasen förs slutligen ut genom utloppsmunstycket.

Motorn förses med bränsle från flygplanets tankar, genom en bränsleledning under motorn, ledningen har en diameter på cirka 50 mm. Bränsleförbrukningen är olika beroende på hur motorn körs. Vid max pådrag utan tänd efterbrännkammare (MS) är bränsleflödet in i motorn 1,7 liter/s och vid max pådrag med tänd efterbrännkammare (MT) är bränsleflödet 5,5 liter/s.

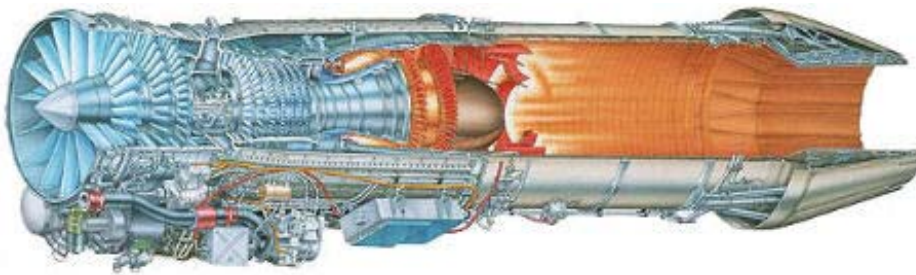


bild 6: Skiss av turbojetmotorn RM 12 som finns i JAS 39 Gripen.



Bränsleledning till motor

bild 7: Turbojetmotorn RM 12 med utmärkning av bränsleledningen som förser motorn med bränsle.

I motorrummet utanför motorn har temperaturen på olika ställen mätts upp under flygning. Det visade sig att temperaturen låg mellan 100 och 150 °C. Temperaturen inne i motorn, där bränslet sprutas in och antänds, ligger mellan 1 460 och 1 500 °C.

I motorrummet finns ett detektionssystem för brand. Värmedetektorn i motorrummet utgörs av en metalltråd som är fäst i en lång slinga på insidan av flygplansskrovet utanför motorn. Villkoret för att detektorn ska aktivera och ge indikation på varningstablån är att den allmänna temperaturen är över 200 °C eller att det på en punkt blir över 540 °C.

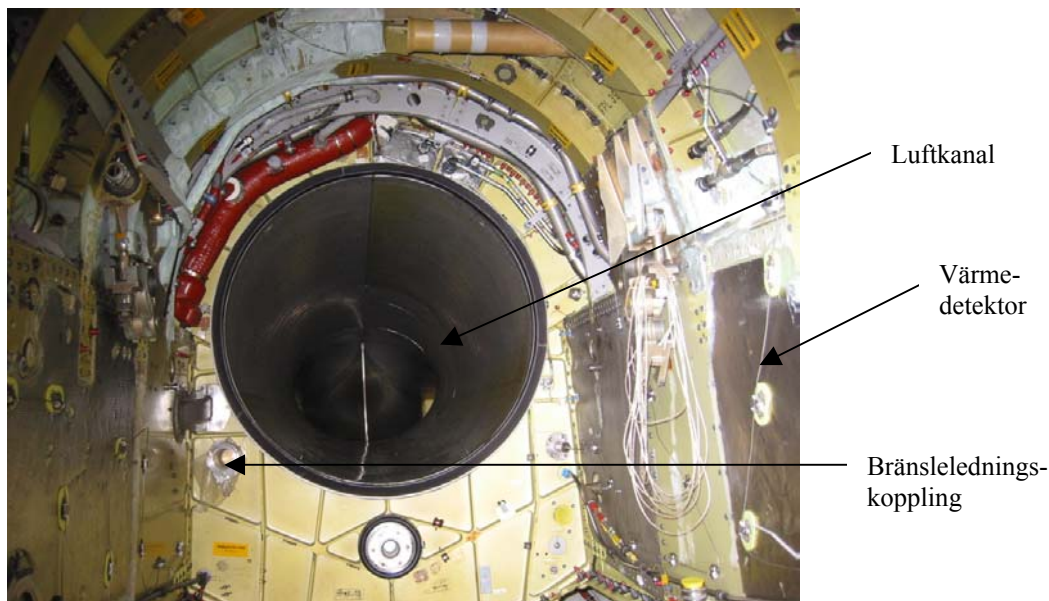


bild 8: Motorzonen där motorn ska sitta med utmärkning av, för detta projekt, viktiga delar.

4.3 Skillnader mellan planen

Den stora synliga skillnaden är storleken på planen. Gripen är endast 4,49 m högt och 14,13 m långt medan Viggen är 5,93 m högt och 16,40 m långt. Andra viktiga skillnader är att 25% av Gripens struktur är av kolfiberkomposit medan Viggens struktur främst består av aluminium. Vid brand i flygplanen kan materialskillnaden medföra vissa skillnader i brandförlopp i de båda planen.

Bränslet är detsamma för de båda planen vilket betyder att brand i flygfotogen i motorprovet inte ger någon skillnad beroende på flygplanstyp. Förutom drivmedel så finns olika smörjmedel i flygplanen, mängden skiljer sig med cirka 10 liter, 48 liter för Gripen och 60 liter för Viggen.¹ Andra organiska material i bränslesystemen för de båda planen är gummi, tätningssmedel, lim, plast, tejp, lack m.m. Dessa material anses inte skilja flygplanstypernas brandförlopp i någon större omfattning.

När det gäller motorn finns också en hel del skillnader t.ex. bränsleförbrukningen som för

¹ Bränsle- och hydraulsystem i fpl 37 och 39, CSM Materialteknik, 2001.

RM 8 är 2,2 liter/s vid MS och 19 liter /s vid MT. Även varvtalen på fläkt och kompressor skiljer sig mellan de två motorerna. Där varvtalen är lägre för RM 8 än för RM 12.

De största skillnaderna mellan flygplanstyperna i händelse av brand vid motorprovning är mängden bränsle och strukturmaterialet. I rapporten kommer främst brand i samband med provning av Gripen att studeras men resultatet kan utan större inskränkningar översättas till brand vid provning av Viggen.

4.4 Flygbränsle MC 75

Ur råolja produceras fotogen och genom olika processer med fotogen framställs MC 75. Vid normal omgivningstemperatur är flygbränslet stabilt. Kulören är färglös till gulaktig och doften är bensinliknande. MC 75 har lågt ångtryck vid normal omgivningstemperatur vilket innebär att ett läckage kommer att förångas långsamt. Dessutom så är ångan mer än fem gånger så tung som luft vilket gör att spridningen av ångorna kommer bli långsam.¹

Om det blir ett bränsleläckage som hamnar på golvet i motorprovhuset kommer troligtvis ingen brännbar gasblandning bildas ovan pölen eftersom den omgivande temperaturen normalt inte överstiger 38 °C, som är bränslets flampunkt. Brännbarhetsområdet är från 1% till 5%. Även om omgivningstemperaturen skulle vara 38 °C så är risken för antändning liten eftersom den brännbara gasblandningen är begränsad till ett område mycket nära vätskeytan. Det betyder att det krävs en kraftig antändningskälla t.ex. en öppen låga som värmer vätskeytan under tillräckligt lång tid för att för att antändning ska ske. Flamspridningen i en pölbrand med MC 75 är relativt långsam; 30 m/min, vilket kan jämföras med äldre typer av flygbränslen vars flamspridning är upp till 245 m/min. MC 75:s självantändningstemperatur är 220 °C, det gäller dock vid ideala förhållanden.¹

Om läckaget istället är i form av spray sker antändning mycket lättare. Om bränslet sprutas på t.ex. varma motordelar eller uppvärmda fläktar kommer snabb antändning att ske. En sådan brand kommer att generera lika mycket värme och brinna lika våldsamt som äldre typer av flygbränslen eftersom den låga flamspridningen inte gäller för antänt bränsle i sprayform. En brännbar vätska i form av spray eller dimma kan antändas långt under flampunkten. Antändning av bränsle i aerosolform kan resultera i en flashbrand följt av en pölbrand.

Bränslen av kolväten, som t.ex. MC 75, genererar elektrostatiske laddningar när det transporteras genom pumpar, filter och rör. När bränslet stänker, sprutar eller faller fritt ökar dessa laddningar. När bränslet träffar en yta vid t.ex. ett läckage, kan två saker inträffa. Laddningen kan tas upp av ytan eller, om laddningen är tillräckligt stark, kan en gnista leda till att bränslet antänds (om temperatur, gnistans energi, gnistans varaktighet och bränslets koncentration medger detta).² I Sverige har dock ett antistatmedel tillförts i bränslet för att inte elektrostatiske laddningar ska inträffa så lätt.

¹ C. R. Jones et al, *Quantified Risk Assessment of Aircraft Fuelling Operation*, 2000

² NFPA 407, *Aircraft fuel servicing*

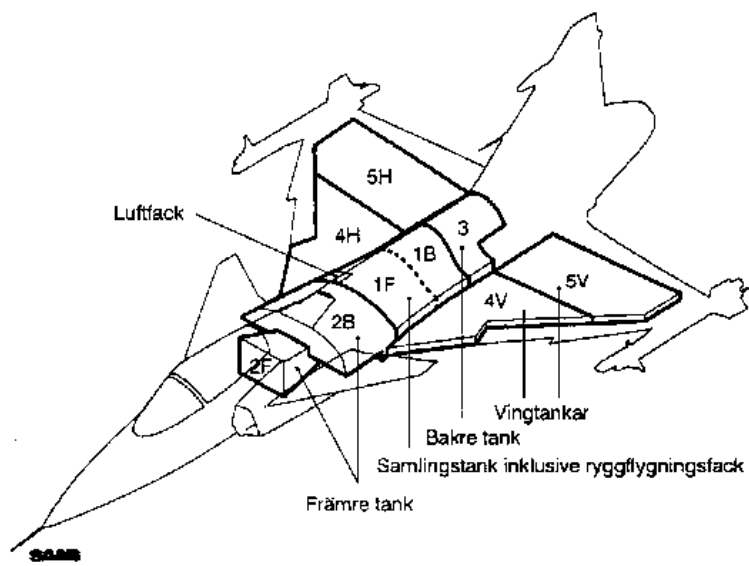


bild 9: Bränsletankarnas placering i JAS 39 Gripen



bild 10: Bränsletankarna sedda ovanifrån på JAS 39 Gripen.

5 Regler

I Försvarsmakten finns två regelsystem där motorprovning finns omnämnda; Ordnings- och skyddsinstruktioner för flygmaterieltjänst (OSM) samt Underhållshandbok, flik 4 och 5 (UHB).

5.1 OSM

I OSM finns sex punkter om ansvar vid motorkörning. Där regleras att vid motorprovning såväl inomhus som utomhus ska räddningsstyrkan inta beredskap enligt MIL FRÅD (militär flygräddningstjänst). I OSM finns reglerat vad körledare, förarplatstekniker och biträdande tekniker ska göra vid motorprovning.

Körledaren ska:

- meddela räddningsledaren när motorprovningen påbörjas och avslutas
- leda motorprovningen från kontrollrummet eller på motorprovplats när speciell mätutrustning används
- innan motorprovning se till att personal i provhallen har kännedom om skyddsinstruktioner och räddningsutrustning
- göra klart för motorprovning.

Förarplatsteknikern ska:

- förbereda motorkörningen
- utföra motorkörningen
- innan han begär eller repeterar ”kupé” förvissa sig om att ”kupé” råder
- vid utväxling av ”kupé” och ”kontakt” ha ögonkontakt med körledaren eller biträdande tekniker.
 - Kupé = säkert att vistas i flygplanets riskzoner.
 - Kontakt = råder ett tillstånd då det är farligt att vistas i ett flygplans riskzoner.
- ”kupera” om starten skulle misslyckas oberoende av om körledaren begärt ”kupé” eller ej.

Biträdande tekniker ska:

- se till att flygplanet förankras och förbereds för motorprovning.
- se till att rätt typ av bromsklossar är anbringade.
- förvissa sig om att påfyllning av drivmedel, olja, oxygen, tryckluft m.m. har utförts.
- se till att handbrandsläckare och 70 kg pulveraggregat finns nära tillgängligt.
- Vid motorprovning utomhus avdela en post när hans eller förarplatsteknikerns uppmärksamhet måste koncentreras på speciella åtgärder.
- alltid handla som om ”kontakt” är rådande ända tills ”kupé” utväxlats.

5.2 UHB

Flik fyra i UHB handlar om handhavande med checklista. Checklistan innehåller ett antal punkter för kontroll före start. Resterande punkter i denna flik handlar om uppställning av flygplan för motorkörning, åtgärder före motorkörning, motorkörning och åtgärder efter motorkörning.

Flik fem i UHB behandlar säkerhetsutrustningen. Först finns allmänna föreskrifter därefter följer förebyggande av, samt ingripande vid brand. Det finns även instruktioner om räddningsliften, nödstopp och skyddskläder för förarplatstekniker.

Regleringar rörande brandskyddsutrustning redovisas i följande punkter:

- Ett pulveraggregat om 70 kg, minst en 12 kg pulversläckare och en brandfilt på vardera långsidan ska finnas.
- I anslutning till kontrollrummet ska en 6 kg CO₂-släckare, två brandskyddsrockar och två par skyddshandskar finnas.
- Tillräckligt med lättskum (minst 90 s) ska finnas i lättskumanläggningen.
- Materielen ska underhållas enligt underhållsplan, brandmateriel.
- Utbildning/övning med larm- brand- och räddningsutrustning ska genomföras med all personal minst en gång per år.

Vid brand ska följande åtgärder vidtas enligt UHB:

1. Gående motor ska kuperas. Förarplatstekniker meddelas om brand, omfattning och belägenhet.
2. Körledare och förarplatstekniker bedömer om räddningsliften ska utnyttjas för evakuering.
3. Vid utnyttjade av räddningslift ska nödutgången vid behov användas.
4. Skumanläggningen ska alltid utlösas vid brand eller risk för brand.
5. Larma (kontrollera att larmet gått fram).
6. Om förarplatsteknikern ej lämnat provhallen ska biträdande teknikern brandskyddsutrustas samt hjälpa denne med utrymning (bedöms från fall till fall).
7. Avbryt lättskumgivningen då den yttre branden släckts.
8. Efter brandsläckning ska eventuella brandhärddar inne i flygplanet lokaliseras och släckas.
9. Körledaren ska kontrollera närvaro av all personal.
10. Lämna av åtgärder och aktuellt läge till ankommande brandbefäl.

6 Skador på människa och flygplan

6.1 Skador på människa

Vid en brand kan människan skadas på olika sätt. Värmepåverkan från flammor och varma brandgaser utgör en skaderisk och toxisk påverkan av ämnen i brandgaserna utgör ytterligare en skaderisk. De främsta orsakerna till skador på människor vid brand är:¹

- Värme (brännskador och/eller värmechock).
- Förekomst av kolmonoxid.
- Syrebrist.
- Förekomst av andra giftiga gaser som bildas på grund av värme.
- Förekomst av rök.
- Panik, chocktillstånd eller yttre (mekanisk) påverkan.

6.1.1 Toxiska effekter

Toxiska gaser som bildas vid brand kan vara kvävande eller retande. De två huvudsakliga kvävande brandgaserna är kolmonoxid (CO) och vätecyanid (HCN). Kolmonoxid bildas i alla bränder, gasen skapar förvirring, medvetandet försämras och den är den primära orsaken till dödsfall i många bränder.² Kolmonoxid har inga kända bestående effekter om inte syrebrist medfört sekundära skador. Andra brandgaser än kolmonoxid är i de vanligaste brand-situationerna snarare bidragande faktorer än den primära orsaken till förgiftning. Kolmonoxid reagerar med blodets hemoglobin och bildar carboxyhemoglobin (COHb) vilket leder till att syretransporten i kroppen försämras och det har en kvävande verkan.

Vid en brand i flygplan 37 eller 39 är det många komponenter som kan bidra till att toxiska gaser bildas. Bränslesystemet, hydraulsystemet och skrovet bestående av kolfiberkomposit och aluminium är delar som bidrar till olika giftiga förbränningsprodukter.

När det gäller bränsle- och hydraulsystemet är det främst flygfotogenet som är den mest dominerade bidragskällan till toxiska gaser.² Flygfotogen är en komplicerad produkt som innehåller ett stort antal olika typer av föreningar som t.ex. paraffiner, naftalener, olefiner och aromater. När flygfotogen brinner bildas det alltifrån fullständigt förbrända, till helt oförbrända kolväten beroende på bl.a. syretillgången. Brandgaserna innehåller också viss del oförbrända oxiderade kolväten.

Kolfiberkomposit består av en kontinuerlig fas av epoximatrix och en icke kontinuerlig fas med kolfibrer. De olika materialen binds samman genom olika processer och bildar ett laminat. Kolfiberkompositerna är fabricerade i skikt där distansmaterialet mellan kompositskikten är aluminiumfolie. Försök i pyrolysugn med 530 °C med det mest använda kolfiber materialet i Gripen visade att provet smälte och förångades medan tjock gul rök vällde fram. Röken visade sig innehålla en hel del toxiskt irriterande ämnen främst aceton och anilin. Anilin ger måttlig hudirritation, ögonirritation och är måttligt toxisk vid inhalering.³ Vid försök med olika epoximaterials bildande av toxiska gaser vid brand visade det sig att kolmonoxid var det giftigaste ämnet som bildades.³

¹ J. Ondrus, *Brandförlopp*, 1990

² *Bränsle- och hydraulsystem i fpl 37 och 39*, CSM Materialteknik, 2001

³ M. Sandell, *Arbetsmiljöaspekter vid brand i kolfiberkomposit i samband med flygplanshaveri*, 2001

6.1.2 Värme och brännskador

Vid en brand kan människor bli skadade av värmen på olika sätt, genom värmechock, brännskador på huden och brännskador på andningsorganen. När en person befinner sig i ett brandrum exponeras denne av värme främst genom strålning från branden och andra varma ytor samt konvektion av varma gaser. Vid vistelse i varm luft stiger kroppstemperaturen. En ökning till + 40 °C innebär att medvetandet påverkas och temperaturer över + 42 °C leder till hjärnskador.¹

Brännskador på huden inträffar då lufttemperaturen är över 120 °C vid normal luftfuktighet och utan skyddskläder. Smärta upplevs när hudtemperaturen på 0,1 mm djup, mellan överhuden och läderhuden, är drygt 43 °C då börjar även skador på huden uppträda.²

En person får en värmechock om denne vistas i för varm omgivning under för lång tid. Om en person exponeras av en temperatur över 120 °C under bara ett fåtal minuter riskerar denne att få brännskador eller till och med att dö huvudsakligen av hypertermi (förhöjd kroppstemperatur). Om hypertermifasen överlevs finns ändå risken att omkomma senare på grund av brännskador i andningsorganen eller av biverkningar från brännskador på huden.

Brännskador är mer eller mindre allvarliga beroende på brännskadans djup, utbredning och läge. Det finns tre typer av brännskador som redovisas i tabell 2.

tabell 2: Olika typer av brännskador

Benämning	Engelsk benämning	Grad	Symptom	Självläkande
Ytlig delhudskada	Discomfort (Erythema)	I	Hudrodnad	Ja
Djup delhudskada	Threshold for burn	II	Vätskefyllda blåsor	Ja
Fullhudskada	Full thickness burn	III	Brun-svart hård hud	Nej

Av tabellen framgår att en fullhudskada inte är självläkande utan måste behandlas genom en hudtransplantation till det skadade området.³

Vid inandning av varma gaser kan brännskador på andningsorganen inträffa, vilket kan få ödesdigra konsekvenser. Om inga brännskador finns i ansiktet finns ej heller brännskador i andningsvägarna. Finns däremot brännskador i ansiktet kan andningsvägarna vara skadade och ge andningssvårigheter därför är brännskador lokaliserade till huvud- hals- och bröst-regionen mycket allvarliga.⁴

Vid en brand påverkas en människa av strålningsvärme från flammor och det varma brandgasskiktet. Strålningsintensitet mellan 6 och 10 kW/m² ger outhärdlig smärta på oskyddad hud efter några sekunders exponering och 16 kW/m² ger blåsor på huden efter cirka fem sekunder.⁵ Det kan också tilläggas att BBR (Boverkets Byggregler) rekommenderar en kortvarig strålningsnivå på maximalt 10 kW/m² vid utrymning.⁶

¹ *Brand på Herkulesgatan i Göteborg, O län, den 29-30 oktober 1998*, SHK, 2001

² J. P. Bull & J.C. Lawrence, *Thermal Conditions to Produce Skin Burns*, 1979

³ *Handbok för flygplatsbrandman*, Luftfartsverket, 1993

⁴ *Brand på Herkulesgatan i Göteborg, O län, den 29-30 oktober 1998*, SHK, 2001

⁵ J. Ondrus, *Brandförlopp*, 1990

⁶ *Boverkets Byggregler*, Boverket, 1998

I diagram 1 anges förhållandet mellan exponeringstid och strålningsnivå som orsakar brännskador på bar hud.¹

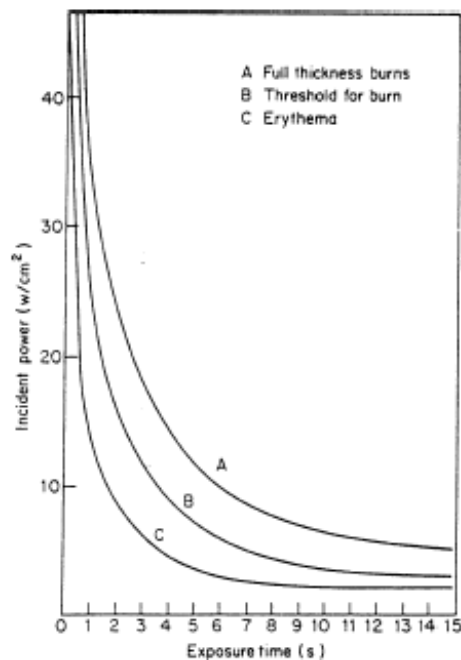


diagram 1: Strålningsnivåer som orsakar brännskador på bar hud.

Om temperaturen på 0,1 mm djup understiger 44 °C är det osannolikt att en djup delhudskada uppstår även om exponeringstiden är oändligt lång. Om däremot temperaturen överstiger 44 °C finns risk för att djup delhudskada uppstår beroende på temperatur och exponeringstid. Detta samband kan beskrivas med följande formel:²

$$D_t = \frac{1}{400000} \cdot \int_0^t (T - 44)^4 dt$$

T = hudens temperatur > 44 °C

D_t = integrerad skadenivå (1 = djup delhudsskada)

Kriterier för djup delhudskada med avseende på hudtemperatur och exponeringstid beräknade från ovanstående formel redovisas i diagram 2. Där kan utläsas vid en hudtemperatur på 70 °C så uppkommer djup delhudsskada nästan omedelbart. Vid hudtemperaturen 55 °C tar det cirka 25 s innan djup delhudsskada uppkommer.

¹ SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 1995

² P. Andersson, Evaluation and Mitigation of Industrial Fire Hazards, 1997

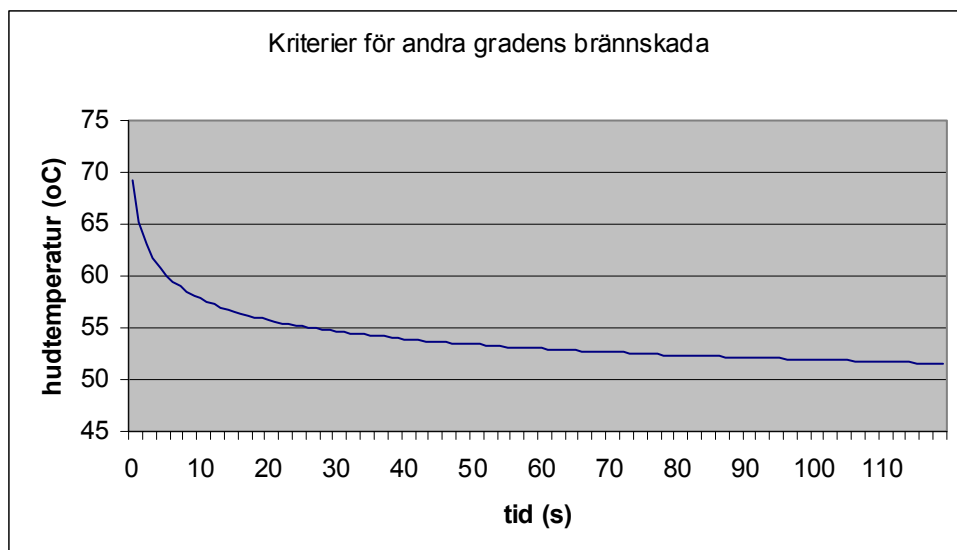


diagram 2: Kriterier för andra gradens brännskada med avseende på hudtemperatur och exponeringstid.

6.1.3 Personalens skyddskläder

Vid motorprovning ska förarplatstekniker och biträdande tekniker använda speciella skyddskläder. Dels ska ett underställ bäras och utanpå det ska en trelagers nomex III overall användas. På huvudet ska hjälm med visir och radiokommunikation användas. När det gäller brandskydd i skyddskläderna finns endast bristfällig information att få. Hjälmen är tillverkad enligt standarden EN-136 och det som krävs enligt den när det gäller förhöjd temperatur är att den ska klara 72 tim i 70 ± 3 °C i både torr och fuktig luft utan att förändra sina egenskaper. Kravet för brännbarhet är att visiret ska kunna vara utsatt för 950 ± 50 °C under 5 s utan att antändas.¹

För att erhålla kunskaper om hur mycket skyddskläderna skyddar en människa vid värme- påverkan har experiment genomförts. Försöken är gjorda i laboratoriet vid avdelningen för brandteknik på Lunds Tekniska Högskola. En utförlig beskrivning av experimentet finns i bilaga 4. Resultatet visar hur hudtemperaturen ökar (med personalens skyddskläder på) vid påverkan av olika strålningseffekter. Detta redovisas i diagram 3. Resultatet visar att hudtemperaturen ökar snabbt vid påverkan av värmestrålning. Strålningseffekterna 8 och 13 kW/m² gav inte så stor skillnad på ökning av hudtemperaturen. Strålningen 22 kW/m² gav dock en betydligt snabbare hudtemperaturökning. Vid jämförelse av resultat från experimenten och kriterier för djup delhudsbrännskada i diagram 2 kan det sägas hur lång tid det tar för förarplatsteknikern att erhålla djup delhudsbrännskada vid olika strålningsnivåer. Detta redovisas i diagram 4:.

¹ BS EN 136:1998

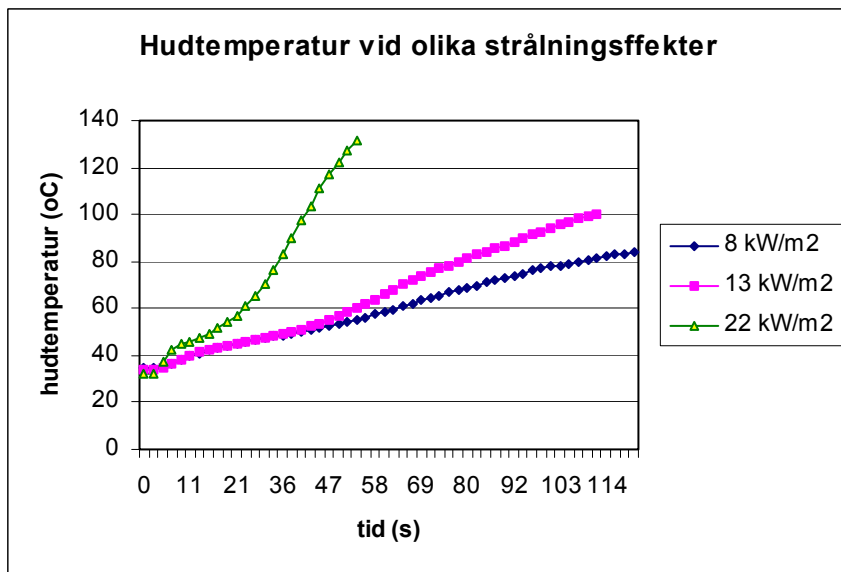


diagram 3: Hudtemperaturens ökning vid olika strålnings effekter

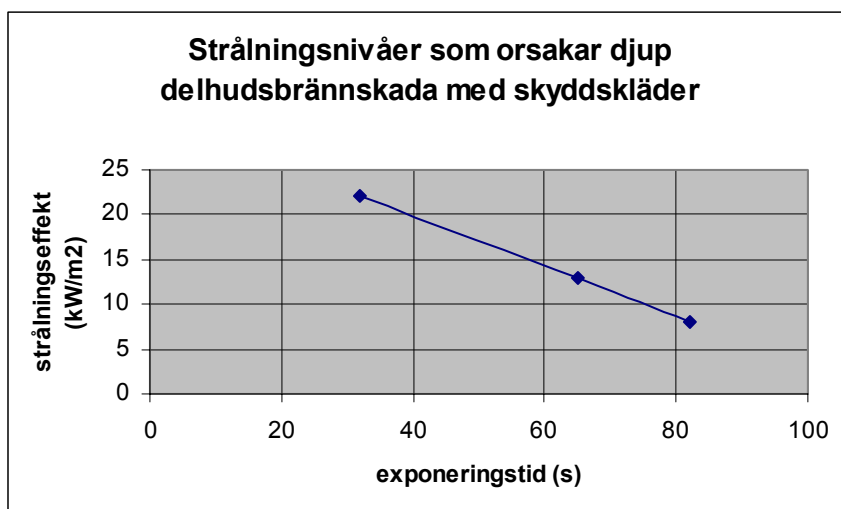


diagram 4: Förhållandet mellan exponeringstid och strålningsnivå som orsakar djup delhudsbrännskada med skyddskläder.

I det fortsatta arbetet kommer det att förutsättas att personalen använder skyddskläder och hjälm på rätt sätt under motorprovning. Om detta inte görs kommer inte resultatet i konsekvensanalysen att vara representabel för de konsekvenser som blir.

6.1.4 Personrisker med lättskum

En vistelse i lättskum utan andningsmask torde vara möjlig om personen rör sig och tar bort skummet framför sig med t.ex. handen. Dödsfall har dock inträffat då en person inandats samma luft för länge. Det är onekligen ohälsosamt att vistas i lättskum eftersom skumvätskeblandningen påverkar lungorna negativt p.g.a. dess låga ytspänning. Vistelsen i skummet ger också hostattacker och sveda i ögon. Det bör också påpekas att orienteringen i ett skumtäckte kan vara mycket svår eftersom skummet släcker alla omgivningsljud och är totalt ogenomskinligt.¹

6.2 Skador på flygplan

Vid eventuell brand i motorprovhus kommer flygplanet att påverkas av en mycket ogynnsam miljö. Flygplanet kan bli rökskadat och/eller bli skadat av värmeexponering. JAS 39 Gripen är 4,5 m högt och 37 Viggen är 5,9 m högt. Vid en brand stiger brandgaserna mot taket och sprider sig över takets yta. Varefter brandgaser fylls på kommer brandgaslagret att sjunka ner mot golvet. När brandgaserna har sjunkit till 3 m ovanför golvet antas planet bli totalt rökskadat.²

Försök av brandtålighet hos kompositerna visar att vid strålningsnivåer under $1 \text{ W/cm}^2 = 10 \text{ kW/m}^2$ uppkommer ingen synlig skada på materialet på 10 min. En strålningsnivå på $2 \text{ W/cm}^2 = 20 \text{ kW/m}^2$ ger synlig skada efter cirka 1,5 min.²

Experiment har visat att då kolfiberkomposit från fartyg utsätts för en yttre strålningspåverkan på 50 kW/m^2 antänds materialet mycket snabbt. Vid en strålningspåverkan på 35 kW/m^2 tar det cirka 1,5 min innan materialet antänder.³ Kolfiberkompositen i JAS 39 är något annorlunda uppbyggd än den i fartyg. Skillnaden antas här vara försumbar och resultaten kan med viss inskränkning överföras till kolfiber materialet i JAS 39.

Brandtester visar att om aluminium blir involverad i en brand kommer metallen att smälta vid 660 °C . Det har också visat sig att fordon gjorda av aluminium uppvisar mer våldsamma bränder eftersom det lätt brinner hål i skrovet och branden inte blir ventilationskontrollerad.⁴

Försök med aluminium från flygplan 37 Viggen och datorsimuleringar visar att vid en yttre strålningspåverkan på 100 kW tar det cirka 60 s innan temperaturen i materialet är 660 °C . Vid strålningen 140 kW går det 20 s snabbare att nå smälttemperaturen.⁵ Tidigare fullskaleexperiment med Viggen och Draken visade att det tar cirka 1 min innan det brinner hål på aluminiumskrovet.⁶

¹ M. Rosander K. Giselsson, *Skumboken*, 1993

² S. Bengtsson, *Risikanalyt, Effekt av olika bränder på Gripen, F7 Sätenäs*, 1993

³ T. Carlsén och H. Winkler, *Skärsläckaren som röjnings- och släckverktyg för fartyg av kolfiberkomposit*, 2000

⁴ H. Ingason, *An Overview of Vehicle Fires in Tunnels*

⁵ A. Fredäng och J. Hermansson, *Pilotskydd vid brand – utredning oh utveckling*, 1999

⁶ G. Holmstedt, *Brandförsök med J35 Draken på Nyårsåsens skjutfält den 7 juni 1995*, 1995

6.3 Valda skadenivåer

Utifrån resultaten i detta kapitel kommer vissa skadekriterier att studeras vid konsekvensanalysen och vid värdering av risken. När det gäller skador på människa kommer en fyrgradig skala att användas; oskadad, skadad, svårt skadad och död. Bedömningen kommer att grunda sig på de värme- och toxiska effekter som kommer att påverka människan vid studerat scenario. Ytlig delhudsbrännskada innebär skadad, djup delhudsbrännskada och fullhudsbrännskada innebär svårt skadad. När det gäller skador på flygplan kommer de redovisas enligt en tregradig skala; oskadat, skadat och totalförstört. De valda skadenivåerna redovisas i tabell 3.

tabell 3: Skadenivåer på människa och flygplan

SKADOR PÅ MÄNNISKA	
M1	Oskadd
M2	Skadad
M3	Svårt skadad
M4	Död
SKADOR PÅ FLYGPLAN	
F1	Oskadat
F2	Skadat
F3	Totalförstört

7 Utrymning

7.1 Människors beteende vid brand

Studier av människors beteende vid bränder visar att de första varningssignalerna ofta misstolkas. Det är vanligt att man vill skaffa sig mer information, att verkligen få en bekräftelse att det brinner. Det är också vanligt att faran underskattas om man inte har någon tidigare erfarenhet av situationen.¹

Vid en brand blir de människor som utsätts för branden mer eller mindre stressade. En lagom stressnivå höjer prestationsförmågan medan en för hög stressnivå försämrar den. Vid en hög stressnivå kan det vara svårt att komma åt information och handlingsmönster från minnet och endast de mönster som är väl inlärdade är lätta att komma åt. Panik anses upplevas om personen tror sig vara i omedelbar livsfara, att tidsutrymmet är begränsat till möjlighet att komma undan branden. Undersökningar visar att ju mer en brandsituation övas desto mer sannolikt är det att handla rätt när en verklig brandsituation inträffar.²

Den totala utrymningstiden kan delas in tre delar:

1. Varseblivningstid, den tid det tar att bli medveten om att det brinner
2. Reaktions- och beslutstid, den tid det tar att reagera och fatta ett beslut att utrymma.
3. Förflyttningstid, den tid det tar att ta sig ut.

7.2 Nuvarande utrymningssituation för förarplatstekniker

Om det börjar brinna i provhallen så ska förarplatsteknikern använda sig av räddningsliften i taket för att ta sig till utrymningsdörren som leder direkt ut. Om allt går felfritt så är förflyttningstiden cirka 15 s³ Det är också kravet vid utbildningen till förarplatstekniker. Varseblivningstiden vid en optimal situation är endast några sekunder eftersom körledaren hela tiden har koll på provhallen och vad som händer där, denne kan sedan omedelbart meddela förarplatsteknikern som omedelbart ska stänga av motorn. Reaktions- och beslutstiden vid en optimal situation, med mycket övning och klara instruktioner från körledaren, borde ligga omkring några sekunder. Vid en optimal utrymningssituation skulle den totala utrymningstiden bli cirka 25 s, enligt tabell 4.

tabell 4: Total utrymningstid vid en felfri utrymningssituation.

Varseblivningstid	5 s
Reaktions- och beslutstid	5 s
Förflyttningstid	15 s
Total utrymningstid	25 s

Tyvärr är det inte alltid så att allt fungerar felfritt. Det finns ett antal delmoment i utrymningen som kan gå fel och utrymningen tar då längre tid. Körledaren kan t.ex. vara okoncentrerad och inte upptäcka branden på en gång vilket ökar varseblivningstiden.

¹ H. Frantzieh, *Tid för utrymning vid brand*, 2001

² *Brand på Herkulesgatan i Göteborg, O län, den 29-30 oktober 1998*, SHK, 2001

³ Videofilm från försök med lättskumssystemet i Motorprovhuset på FM HS.

Det kan bli problem med att stänga motorn, förarplatsteknikern kan bli för stressad och handla irrationellt som kan förlänga reaktions- och beslutstiden. Problem med att öppna huven kan försena förflyttningstiden. Färden med räddningsliften kan gå fel, liften kan sitta fast eller så kan teknikern tappa taget och ramla ner vilket också ökar förflyttningstiden. Om teknikern dessutom slår sig mycket illa i fallet kanske han/hon inte kan utrymma själv. Ett fall i räddningsliften är inte heller otänkbart eftersom skada har rapporterats två gånger i DA BAS (bilaga 5). Dessutom finns uppgifter från Kaptan Narstam, motorprovhuschef på FM HS, att ungefär var tjugonde person ramlar ner från liften vid övning. Enligt punkt sex i UHB:s åtgärder som ska vidtas vid brand (kapitel 5.2) ska biträdande tekniker brandskyddsutrustas samt hjälpa förarplatstekniker om han/hon inte kan utrymma själv. Detta anses som ett mycket riskabelt moment och enligt uppgifter från Narstam från FM HS så genomförs ingen utbildning för det och därför antas det inte ske i praktiken heller.

Anta att branden inte upptäcks på en gång utan det tar tre gånger så lång tid för teknikern att bli varse om branden, och att teknikern inte har övat tillräckligt och det tar tre gånger så lång tid innan han stänger motorn och fattar beslut att utrymma. Det skulle göra att utrymnings-tiden ökar till cirka 45 s. Om teknikern dessutom tappar taget om räddningsliften kommer förflyttningstiden öka med några sekunder beroende på hur mycket fallet har skadat teknikern. Anta att förflyttningstiden dubblas, då är den totala utrymningstiden uppe i 60 s (tabell 5). I värsta fall slår sig teknikern så illa att fortsatt utrymning är omöjlig.

tabell 5: Total utrymningstid vid försenad utrymning

Varseblivningstid	15 s
Reaktions- och beslutstid	15 s
Förflyttningstid	30 s
Total utrymningstid	60 s

Brandgasernas påverkan på människan kommer också att påverka utrymningen. Räddningsliften sitter i taket och om inte varseblivnings- reaktions- och beslutstiderna är relativt korta kommer förarplatsteknikern att utsättas för varma brandgaser under färden med räddningsliften. Det är inte ens säkert att det är möjligt att genomföra utan förarplatsteknikern måste hoppa ner på golvet för att komma ut.

En annan sak som måste tas i beaktande är att elsystemet kan sluta fungera och då är det mörkt i lokalen vilket kommer att göra det betydligt svårare att utrymma via räddningsliften.

7.3 Utrymning vid utomhusprovning

Vid motorprovning utomhus har förarplatsteknikern ingen räddningslift till hjälp vid utrymningen utan han/hon måste hoppa ner på marken och sedan springa därifrån. Riskerna för förarplatsteknikern anses inte lika stora vid provning utomhus eftersom han/hon redan är ute i det fria och kan springa åt vilket håll som helst och komma undan branden. Värme- och brandgaspåverkan blir inte heller lika stor som vid brand inomhus eftersom de varma brandgaserna blandas ut med den kyligare utomhusluften. Den största risken är troligen vid uthoppet från planet. Om förarplatsteknikern slår sig så illa att han/hon inte kan ta sig därifrån själv.

8 Tidigare tillbud och erfarenheter

För att få en uppfattning om hur riskfylld verksamheten i motorprovhus är, har en faktainsamling om tidigare tillbud och incidenter genomförts. Faktainsamlingen har bestått i sökningar i olika databaser inom den svenska försvarsmakten. Frågeformulär har också skickats till respektive förman för de olika motorprovhusen. Viss information har även erhållits från utländska flygvapen.

8.1 DA BAS

De tillbud som inträffar i basmiljö dokumenteras och sparas i en databas som kallas DA-BAS. Som en del i projektet har de tillbud som har hänt i samband med motorprovning, såväl inomhus som utomhus, sedan 1988 sammanställts och redovisas i sin helhet i bilaga 5.

Tillbudena har delats in i fyra grupper; brand, möjlig brand, hög temperatur och annan händelse. Indelningen har gjorts med hjälp av flygplans- och helikoptertekniker anställda vid FM HS.

- Fyra bränder har inträffat, två i startapparaten på Viggen och två i det äldre flygplanet J 35 Draken.
- 27 händelser har inträffat som hade kunnat leda till brand om omständigheterna varit annorlunda.
- Vid 12 tillfällen hade tillbudet kunnat leda till brand om omständigheterna hade varit mycket olyckliga och redovisas i sammanställningen i gruppen hög temperatur.
- De övriga 40 rapporterade tillbudena har bedömts som annan händelse som inte kunde ha blivit en brand.

Antalet tillbud i de olika grupperna; brand, möjlig brand, hög temperatur och annan händelse redovisas i diagram 5. De tillbud som hade kunnat leda till brand är bränsleläckage, mänskligt felhandlande och sticklågkor. De tillbud som har bedömts höra till gruppen hög temperatur är oljeläckage, hög temperatur i landställsrum och låg oljenivå.

Gruppen annan händelse innehåller bl.a. tillbud som att intercom inte fungerade, luftläckage, skumanläggningen fungerade inte, fallskada vid användning av räddningslift och felmonterad motor. Dessa händelser är inte brandfarliga i sig men de bör tas i beaktande när riskerna i samband med motorprovning studeras.

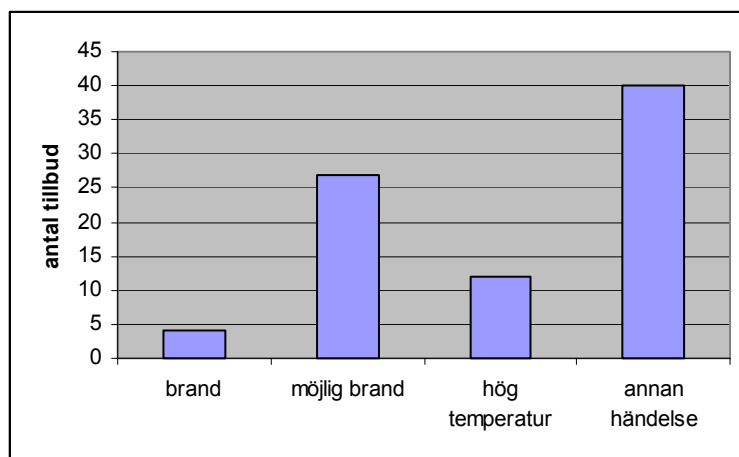


diagram 5: Fördelning av tillbud rapporterade till DA-BAS

Av de 27 tillbud som redovisats i gruppen möjlig brand är det elva som har inträffat utomhus vid motorprovning av helikopter. Av de elva tillbuden är det nio fall där helikoptern har girat, snurrat, lättat eller på annat sätt rört på sig. De resterande 16 tillbuden i gruppen möjlig brand har inträffat inomhus vid provning av flygplan främst flygplan 37 Viggen. I gruppen hög temperatur är tre av de tolv tillbuden kopplade till helikopterprovning utomhus. Händelser i gruppen möjlig brand och hög temperatur i samband med motorprovning av flygplan inomhus redovisas i tabell 6.

tabell 6: Händelsefördelning i grupperna möjlig brand och hög temperatur.

Händelse	antal	andel
bränsleläckage	6	24%
problem med oljenivå	6	24%
hög temperatur	8	32%
sticklåga	2	8%
övrigt	3	12%
Σ	25	100%

Av DA BAS sammanställningen framgår tydligt att ett antal tillbud sker i motorprovhusen. Brand har bara inträffat fyra gånger men hade omständigheterna varit olyckliga vid vissa av tillbuden skulle fler bränder inträffat.

Det bör påpekas att informationen från DA BAS säkerligen inte är fullständig. Det finns ett antal tillbud och incidenter som inte rapporteras men mörkertalet är svårt att sia om.

8.2 DA FLYG

För att om möjligt få en bättre bild av hur felutfallet på flygplanen är, har även databasen DA-FLYG undersökts. Till DA FLYG inrapporteras alla händelser som avviker från det normala under den tid då flygplanet är att betrakta som varande under flygfas. För att fokusera på de fel som också skulle kunna uppträda i motorprovhus valdes sökorden ”bränsleläckage” eller ”brand”, samt tillbud under start eller landning. Resultatet framgår av tabell 7.

tabell 7: Antal händelser som rapporterats till DA-FLYG där bränsleläckage eller brand ingått

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	Totalt
7	16	13	16	21	17	17	24	10	10	11	12	164

Under 12 år har alltså 164 tillbud rapporterats. Det är dock inte klarlagt hur dessa tillbud skulle kunna vara ett mått på hur olycksbenäget verksamheten i motorprovhus är. Ett rimligt antagande är ändå att ett tillbud som sker under flygning mycket väl skulle kunna inträffa under motorkörning.

8.3 RBRT

RBRT står för Rapport Flygplatsräddningstjänst och till denna databas inrapporteras alla händelser som föranlett flygplatsräddningstjänsten att göra en uttryckning eller höja beredskapen.

Rapporterade tillbud i samband med motorprovning till denna databas redovisas i tabell 8.

tabell 8: Tillbud rapporterade till RBRT i samband med motorprovning

Förband	Datum	Fpl typ	Kod	Summering av händelsen
F15	941024	AJ37	012	FL anmäler rökutv från MPH
F4	941019		312	Övning brand MPH
F17	911122		312	Övning brand MPH
F4	930406		312	Övning brand MPH
F17	940712		012	Brandlarm MPH falsklarm
F4	921216		312	Övning brand MPH
F10	951227		011	Brandlarm MPH falsklarm
F15	950817	Sk60	011	Säkring vid motorkörning på linjen
F10	950817	J35	012	Säkring vid tankning i MPH
F4	951117		312	Övning brand MPH
F14	950503		312	Övning brand MPH
F4	960215	AJ37	011	Höjd beredskap vid motorkörning utomhus
F10	910515		012	Brandlarm MPH falsklarm
RFN	900313	S37	011	Säkring vid motorkörning utomhus

Av de 14 rapporterade händelserna, där motorprovhus är inblandat, är det endast en som har föränledd av en ”skarp” incident och denna finns redogjord för i DA-BAS.

8.4 Enkätundersökning

Ett antal frågor sändes till respektive föreståndare på motorprovhusen, för att på så vis fånga upp händelser och synpunkter som inte framgår av de olika databaserna. I detta kapitel redovisas ett urval de svar som kommit in.

I tabell 9 redovisas de tillbud som ej finns med i DA BAS men som beskrivits av föreståndare på motorprovhusen.

tabell 9: Tillbud som ej rapporterats till DA-BAS

Förband	Datum	Fpl typ	Händelse	Klassning
F4	76-08-11	35	Brand i EBK, lättskumanl. fungerade ej	Brand
F4	84-02-22	35	Kraftigt bränsleläckage i EBK	Möjlig brand
F4	87-02-05	37	Bränsleläckage vid motorbyteskörning	Möjlig brand
F4	99-08-24	37	Kraftigt bränsleläckage i EBK krök	Möjlig brand
F4	00-08-24	37	Strömavbrott under pågående motorkörning	Annan händelse
F17	95-05-xx	37	Sädesärla på väg in i motorn under motorkörning	Annan händelse
F16	xx-xx-xx	37	Kraftigt bränsleläckage EBK-filter	Möjlig brand
F16	xx-xx-xx	37	Startmotorbrand, start utomhus före neddragning i MPH	Brand
F16	00-02-10	SK60	Startgeneratorhaveri, kraftig rökutveckling	Möjlig brand
F16	00-10-27	37	Kraftigt bränsleläckage EBK-krök	Möjlig brand

Av ovan rapporterade händelser är minst tre före DA BAS rapporteringen började 1988, men det visar att det finns ett mörkertal av allvarliga tillbud.

På frågan, ”Ser du eller dina medarbetare något som skulle vara en tänkt olycksrisk relaterad till motorkörning”, svarar man på olika sätt men det genomgående är att den mänskliga faktorn är den stora risken.

En fråga tog upp vad respektive förman ansåg som en tänkbar olycksrisk i samband med motorkörning. De svar som lämnades var motorhaveri, bränsleläckage, personal som kommer åt roterande delar, personal som går in i riskzoner och varmluftsläckage.

Det scenario som tydligen framstår som det allvarligaste är motorhaveri, vilket exemplifieras av ett av svaren:

”Mitt ”skräckscenario” är en turbinsprängning under pågående motorkörning, max gaspådrag, där turbinskivorna penetrerar tankar och 25 liter flygfotogen i sekunden sprutar ut över heta motordelar och antänds. Inom 10 sekunder har vi en rökgastemperatur på flera hundra grader uppe under taket som följd av detta faller belysningen ifrån och det blir KOLSVART i provhallen. OM elledningarna till skumaggregaten inte smälter av är den omedelbara brandfaran avvärd. OM förarplatsmek, inte missar handtaget till räddningsliften och faller ner 4 meter och bryter benen eller blir medvetslös och inte kan ta sig ut själv, är den omedelbara personfaran avvärd.

I övrigt är jag alltid oroad över bränsleläckage på fpl och motor som potentiella tillbud och att förarplatsmeken kan ta sig ut själv.”

8.5 Övriga uppgiftslämnare

I ett försök att skaffa ett bättre statistiskt underlag har förfrågningar gjorts hos utländska flygvapen. Någon statistik på inträffade tillbud i motorprovhus har inte redovisats från något av de tillfrågade flygvapnen.

8.5.1 Information från US NAVY

Ett exempel på vad som kan inträffa har dock lämnats av US NAVY. Ett F15 flygplan som motorkördes slet sig från sina förankringar och körde rakt igenom frontporten.

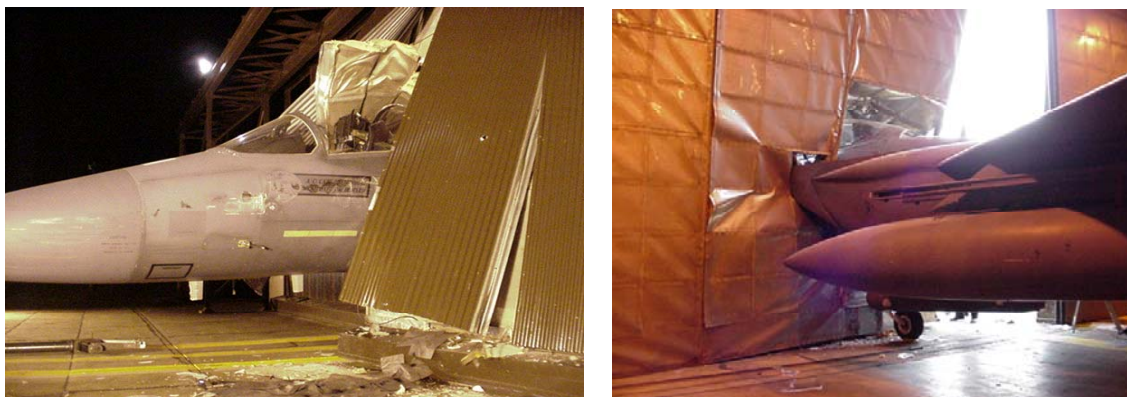


bild 11: F 15 flygplan som lossnat från förankringen vid motorprovning

Samtliga tillfrågade flygvapen är NATO anslutna och därav följer att de har i stort sett samma standard.

I de svenska motorprovhusen fungerar förankringen av flygplanen på ett annat sätt än i ovan beskrivna fall.

8.5.2 Information från Hughes Associates (HAI)

Hughes Associates är en konsultfirma med huvudkontor i Texas som gör bl.a. brandriskanalyser. De har gjort en utredning om vilket släckmedel som kan ersätta Halon 1301 i motorprovhus.¹ I den utredningen tittar de även på ett brandscenario med brand i bränslepöl på golvet, bränslet kan jämföras med MC 75.

Scenariet i den utredningen är en bränslepöl på över 150 m² som finns mitt under flygplanet. Bränslet antänds i mitten och sprider sig över ytan.

Om en person befinner sig närmare än 6 m vid ett sådant scenario hävdar HAI att oskyddade personer får andra gradens brännskada redan efter 20 s. De hävdar också att brandgaslagret når en person i cook pit efter 40 s och en person som står på golvet efter 65 s .

Andra resultat är att efter 17-20 s blir det så varmt att kolfiberkomposit i flygplan blir förstört. Aluminiumet sägs brinna igenom efter 75 s, men att materialets egenskaper försämras före den tiden.

8.5.3 Vidtagna åtgärder på Bodö-basen

Efter branden i motorprovhuset på Bodö-basen i Norge (bilaga 1) så infördes en rad åtgärder där. Ett helt nytt motorprovhus byggdes 1992. I motorprovhuset finns numera tre lättskumsaggregat, som fyller med skum upp till vingarna på 1 min. Efter olyckan har norrmännen dessutom infört att portarna ska hållas stängda vid skumutlösning. Jalousierna för avgassystemet stängs dock efter cirka 10 s.

Det har även införts en dockningsmöjlighet för räddningstjänsten. De kan utifrån koppla in sina slangar till lättskumsystemet. En adapter till flygplanet, som ger möjlighet att fylla motorzonen med mellanscum, har också installerats.

¹ <http://www.haifire.com/ExtAgtAlts/sld001.htm>

9 Brandscenarier

9.1 Tänkbara brandscenarier

I samband med motorprovning finns ett flertal tänkbara brandrisker. Branden kan starta på olika ställen i flygplanet eller provhallen. I tabell 10 redovisas tänkbara orsaker till brand i olika utrymmen.

tabell 10: Orsaker till bränder i olika utrymmen i samband med motorprovning

Skadehändelse	Orsak	
Brand i:		
motorzon	Läckage från bränsleledning till motorn	
	Skovel från fläkt eller kompressor lossnar och slår hål på bränsleledningen under motorn.	
	Skovel från fläkt eller kompressor lossnar och slår hål på en bränsletank som angränsar till motorzon.	
	Högtrycksturbinhaveri	
	Lågtrycksturbinhaveri	
	Mänskligt felhandlande vid isättning av motor.	
bränslepöl på golvet	Läckage från en bränsleledning som antänds genom uppkommen statisk elektricitet.	
	Läckage från bränsleledning som efter ett tag antänds på varma delar eller elektrisk utrustning och sprider sig till bränslepölen.	
	Skovel från fläkt eller kompressor lossnar och slår hål på en bränsletank. Bränslet rinner ut på golvet och antänds av friktionsvärmens.	
övriga delar av flygplan	Läckage från bränsletank till utrymme med mycket elektrisk utrustning	
	Skovel från fläkt eller kompressor lossnar och slår hål på en bränsletank. Bränslet antänds av friktionsvärmens och sprider sig i flygplanskroppen.	
	Utlösta termobatterier.	
	Kortslutning i ackumulator eller anslutna kablar.	
	Läckage av syrgas som kan medföra självantändning av t.ex. oljor eller fetter.	
	angränsande utrymmen	Anlagd brand
		Elektriska fel

Det finns även andra risker med motorprovningen som tillsammans med brand kan leda till katastrofala följder. Sådana risker är t.ex.:

- Kommunikationsutrustningen inte fungerar.
- Flygplanet lossnar från sin förankring.
- Teknikern inte kan öppna huven.
- Motorn inte kan stängas av.

I detta arbete kommer dock inte dessa risker att utredas närmare, men det kan vara bra att ha det i beaktande vid den fortsatta riskvärderingen.

9.2 Valda brandscenarier

Vid val av vilka brandscenarier som ska studeras är det viktigt att de är representerbara både med avseende på sannolikhet och konsekvens. Valda scenarier bygger på DA BAS, besök på objektet och diskussioner med Tillhagen och Kn Narstam. De största brandriskerna är förknippade med flygplansbränslet och fel i systemet som leder till bränsleläckage. Bränslet kan endera bli kvar i flygplanskroppen eller rinna ut på golvet. Den mest troliga antändningskällan är varma motordelar. Det är mindre sannolikt att ett bränsleläckage på golvet antänds eftersom det inte finns så många antändningskällor där, däremot kan ett bränsleutsläpp i aerosolform antändas och leda till en pölbrand.

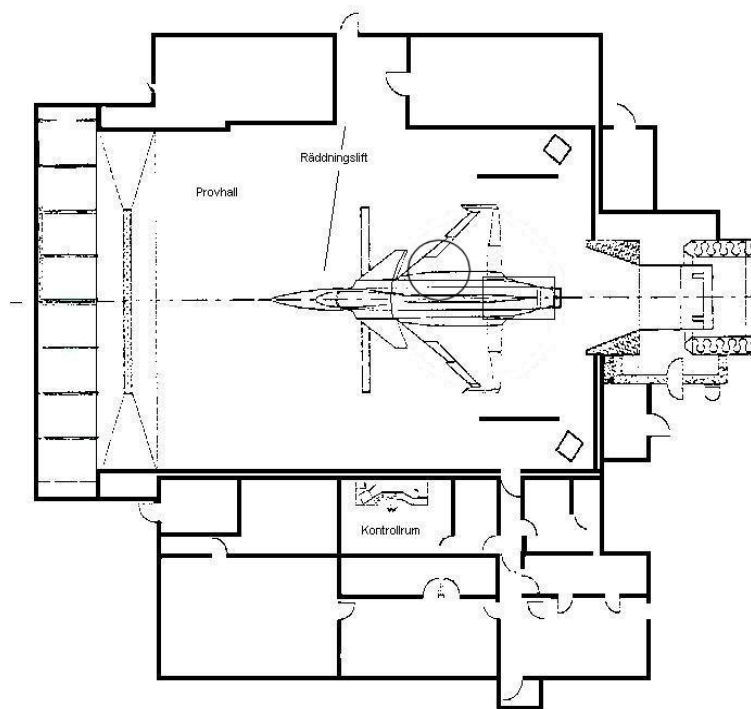
I detta kapitel kommer en beskrivning av valda brandscenarier att ges och det kommer att redovisas i form av ett händelsetråd. De valda scenarierna representerar värsta troliga scenarier.

9.2.1 Scenario 1 - Brand i motorzon

Motorn i stridsflygplan utsätts för mycket stora påfrestningar och det är inte otänkbart att någon komponent brister under en provkörning. Antag att det är en bränsleslang som brister och bränsle läcker ut i flygplanet. Det kan också röra sig om ett skovelhaveri där ett turbinblad slår av en bränsleledning. Antändning i bränslet (MC 75) sker omedelbart om det kommer i kontakt med varma motordelar. Skumsystemet i provhallen kommer inom några sekunder att aktiveras av personal i provhallen, men eftersom systemet är dimensionerat att släcka brand i bränsle på golvet kommer inte det att göra någon nytta på branden i motorn. Rektangeln i flygplanets bakre del i figur 3 visar läget på motorn och därmed var branden i detta scenario startar.

9.2.2 Scenario 2 - Brand i bränsle på golvet

Det har vid ett flertal tillfällen inträffat bränsleläckage i motorprovhusen. Det är därför av intresse att studera vilka konsekvenser som fås om snabb antändning av bränslepölarerna sker. JAS 39 Gripen har en kapacitet på 3 000 liter flygfotogen, men det är osannolikt att allt hamnar på golvet och antänds. Efter samtal med Narstam, motorprovhuschef på FM HS, framkom att rimlig mängd att studera är istället 100 liter flygfotogen. I figur 3 representerar cirkeln vid flygplanet en bränslepöl med diametern 3,5 m, som är en tänkbar storlek på ett bränsleläckage på 100 liter.



figur 3: Startpositioner för bränderna i scenario 1 och 2.

9.3 Händelseträäd

När en brand har inträffat i motorprovhuset är det en hel del saker som kan gå rätt eller fel, olika delscenarier redovisas här i händelseträäd.

9.3.1 Utrymning

Konsekvenserna av branden kommer att skilja sig mycket beroende på hur utrymningen för tekniker går. Endera fungerar allt som det är tänkt, tekniker reagerar snabbt och logiskt, räddningsliften fungerar och tekniker kommer då ut inom 25 s (felfri). Andra utrymnings-scenarier är att utrymningen blir försenad av någon anledning t.ex. att beslut om utrymning blir försenat och att förarplatsteknikern ramlar ner från liften. Rimlig utrymningstid i det läget är 60 s (försenad). Ett värsta utrymningsscenario är att förarplatstekniker inte kommer ut själv utan blir kvar på golvet efter ett fall från räddningsliften (uteblir). Utrymningsproblematiken diskuteras närmare i kapitel 7.

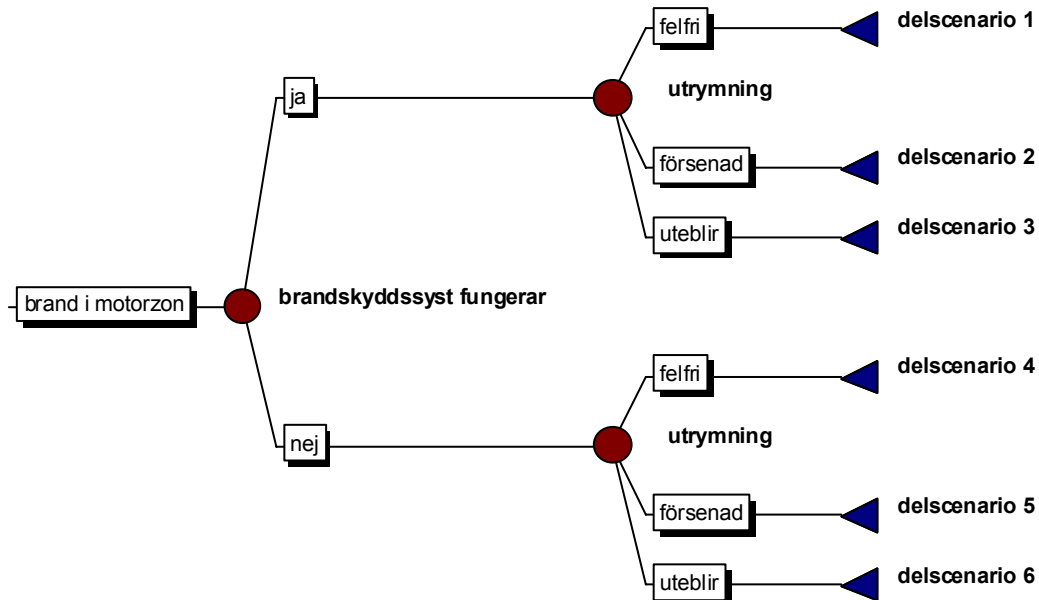
I händelseträden kommer tre representerbara utrymningssituationer att finnas med; felfri, försenad och uteblir.

9.3.2 Brandskyddssystem

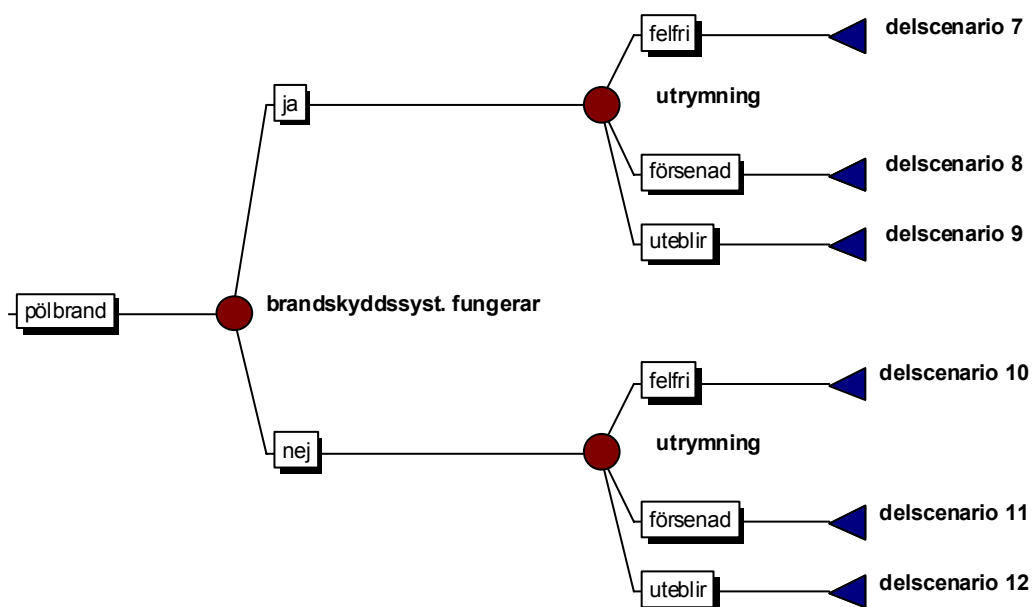
Skumsystemet i provhallen ska utlösas vid ett bränsleläckage och/eller vid en brand. Systemet är dock dimensionerat efter en pölbrand, och det kommer därför inte att släcka en brand inne i flygplanskroppen. I samband med att skumsystemet utlöses öppnas även inkörsportarna, vilket innebär att brandskyddssystemet har inverkan på hur brandförloppen i båda scenarierna kommer att se ut. Anledningen till att skumsystemet inte fungerar kan vara att strömmen är bruten eller att något fel inträffat i systemet. Om inkörsportarna inte öppnas automatiskt måste räddningstjänsten öppna dem manuellt vilket innebär att det kommer att ta ytterligare en minut innan portarna är öppna och större insats kan göras.

9.3.3 Händelseträäd

Händelseträden för de två valda brandscenerierna ser ut enligt figur 4 och figur 5.



figur 4: Händelseträäd för scenario 1



figur 5: Händelseträäd för scenario 2

9.3.4 Räddningstjänsten

Räddningsstyrkan ska vara på plats och påbörja insats inom 90 s. De antas kunna begränsa och släcka branden inom en minut om allt fungerar som planerat. De antas då också kunna göra en livräddande insats om teknikern inte kunnat ta sig ut ur provhallen på egen hand. Ett annat scenario som är relevant för detta projekt att studera är om flygplatsräddningstjänsten (basrtj) inte kommer alls utan det är den kommunala räddningstjänsten som gör insatsen. Ankomsttiden antas då vara 10 min. Skillnaden är att livräddande insats kan påbörjas 8,5 min senare och att portarna kommer att behållas stängda tills de kommer, om inte skumsystemet fungerar.

10 Konsekvensanalys

Konsekvensanalysen av de olika scenarierna har gjorts med hjälp av litteraturstudie, diskussioner, handberäkningar och datorsimuleringar i programmet HAZARD och HSLAB. En närmare beskrivning på hur dataprogrammen fungerar finns i bilaga 6.

10.1 Scenario 1 – Brand i motorzon

10.1.1 Handberäkningar och diskussioner

Det är viktigt att ha i åtanke att en brand i motorzon är mycket svår att förutsäga eftersom det är ett mycket komplext system. Antaganden och beräkningar i detta scenario ska därför ses som en möjlig händelse och inte ses som en absolut sanning.

Flödet i bränsleledningen till motorn ligger mellan 1,7 och 5,5 l/s vid max pådrag beroende på om EBK:n är tänd eller inte. Anta att efterbrännkammaren (EBK) är tänd och ett fläktblad går sönder och slår hål på bränsleledningen. Om bränsleledningen går helt av kommer 5,5 l/s bränsle att strömma ut i motorzonen. Eftersom bränslet kommer att sprutas ut i aerosolform kommer det att antändas av de varma motordelarna. Förarplatsteknikern kommer att slå av motorn och bränsleflödet kommer då att upphöra. Antag att det tar 15 s innan motorn stannar, det innebär att drygt 80 liter bränsle kommer att komma ut i motorzonen och antändas. I det området finns en hel del annat brännbart material som också kommer att antändas och delta i branden. Medeltemperaturen i flammorna kommer att ligga mellan 800-1 000 °C.¹ Det innebär att hela motorrummet kommer att bli övertänt omgående.

Flamman och de varma brandgaserna medför en ökad strålningseffekt mot aluminiumskrovet och mot botten av bränsletankarna. Strålningsberäkningar som redovisas i bilaga 7 visar att strålningseffekten blir cirka 120 kW/m². Simuleringar i HSLAB visar att det då tar cirka 40 s innan aluminiumet uppnår 660 °C som är dess smälttemperatur. Närmare beskrivning av simuleringen finns i bilaga 7. Resultatet stämmer väl överens med resultat som fått vid fullskaleförsök med Vigen och Draken, där det blev hål på aluminiumskrovet efter cirka 1 min.^{2,3} Det innebär att inom 1 min kommer flammorna utanför flygplanskroppen och kommer att sprida sig till kolfiberkompositen i fena och vingar och sedan vidare till resten av flygplanet.

Bakom motorn finns en luftkanal av aluminium som är botten på bränsletankarna i flygplanskroppen. Simuleringar i HSLAB har gjorts för att se hur branden i motorzonen påverkar bränslet i den närmaste tanken. Det visade sig i simuleringarna att botten på bränsletankarna kommer att nå 660 °C nästan lika fort som skrovet vid motorn. Det innebär att efter drygt 45 s kommer aluminiumet i botten på den närmaste tanken att smälta och bränsle kommer att börja rinna ut och där antändas av den höga temperaturen.

¹ B. Hägglund, *The heat radiation from petroleum fires*, 1997

² A. Fredäng och J. Hermansson, *Pilotskydd vid brand – utredning oh utveckling*, 1999

³ G. Holmstedt, *Brandförsök med J35 Draken på Nyårsåsens skjutfält den 7 juni 1995*

10.1.2 Datorsimuleringar i Hazard

Eftersom det inte har gjorts några fullskaleförsök på bränder i stridsflygplan där effektutvecklingen har mätts så är det svårt att säga hur effektutvecklingen kommer att se ut. I simuleringarna kommer en antagen effektutvecklingskurva användas som grundar sig på försök gjorda på olika typer av större fordon. Hur effektutvecklingskurvan är framtagen och vilka övriga antaganden som har gjorts vid datorsimuleringarna finns beskrivet i bilaga 7.

Den antagna kurvan visas i diagram 6.

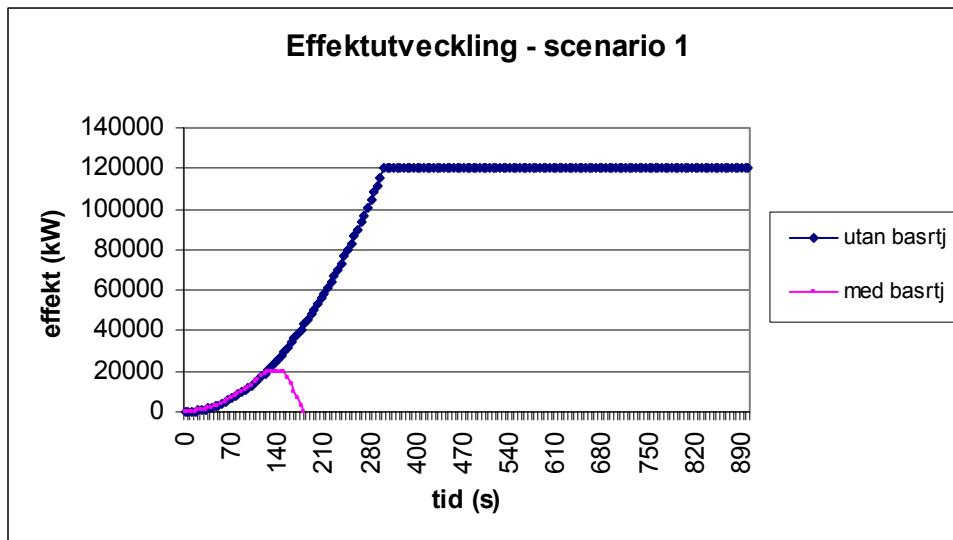


diagram 6: Antagen effektutvecklingskurva i scenario 1

Resultatet av simuleringarna i Hazard när det gäller temperaturer, brandgaslagrets höjd och strålning mot en människa på golvet redovisas i diagram 7-9.

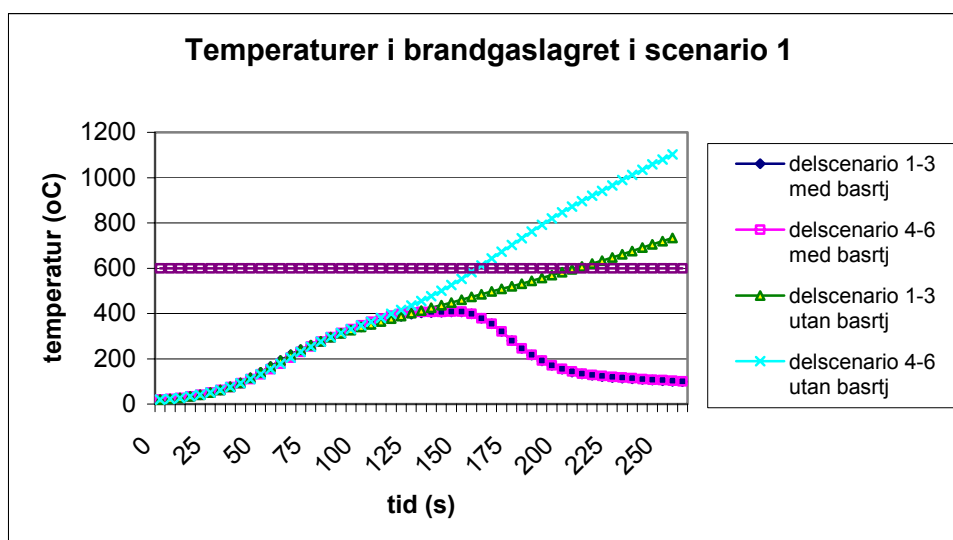


diagram 7: Temperaturer i brandgaslagret i scenario 1

Resultatet visar att i de fall flygplatsräddningstjänsten inte kommer och släcker branden så kommer temperaturen i det övre brandgaslagret att bli 600 °C efter 2,5 min respektive 3,5 min beroende på om huvudportarna öppnas eller inte. 600 °C i brandgaslagret innebär att övertändning inträffar och allt brännbart material i rummet antänds. I de fall flygplatsräddningstjänsten börjar släcka branden efter två minuter blir den maximala temperaturen i brandgaslagret 400 °C. Det bör observeras att alla delscenarier då flygplatsräddningstjänsten kommer uppvisar nästan samma resultat.

En annan viktig konsekvens som är av intresse är när kablarna som sitter på väggen ovanför avgastuben påverkas av branden. Kablar antänds mellan 180 och 320 °C.¹ Den temperaturen uppnås efter drygt 1 min. Det innebär att efter 1 min finns ingen ström i provhallen.

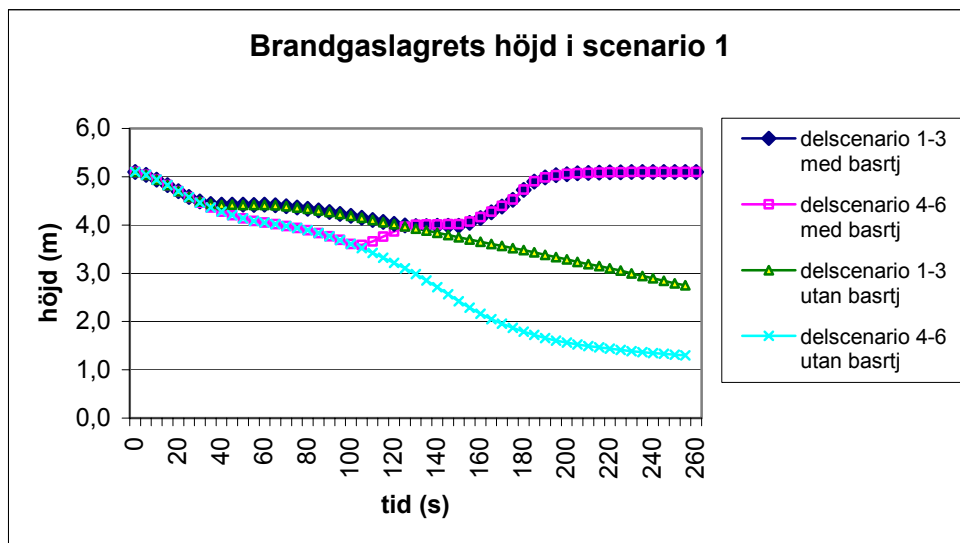


diagram 8: Brandgaslagrets höjd i scenario 1.

När det gäller brandgaslagrets höjd från golvet är det mest intressant att observera den första tiden då förarplatsteknikern utrymmer via räddningsliften. Resultatet visar att under den första minuten så sjunker brandgaslagret cirka 1 m, vilket betyder att utrymningen med räddningsliften inte påverkas av brandgaser i någon större utsträckning. Liksom för resultatet med brandgastemperaturen så uppvisas nästan samma resultat för alla delscenarier då flygplatsräddningstjänsten kommer.

¹ P. Becker och M. Nilsson, *Risikanalytisk och utvärdering av detection- och släcksystem*, 1997

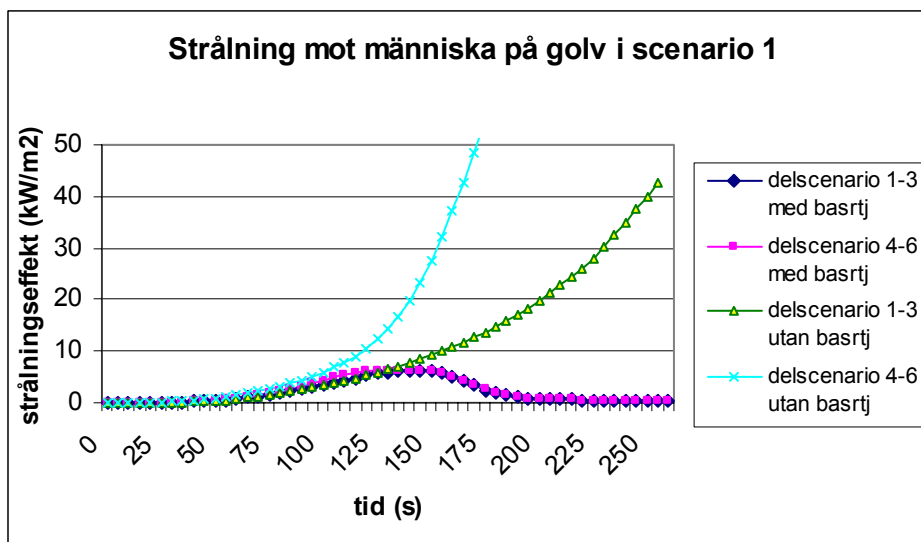


diagram 9: Strålning mot kvarvarande människa på golvet från det varma brandgaslagret.

Strålningen mot en förarplatstekniker som ramlat ner från räddningsliften och blivit kvar på golvet kommer dels från det varma brandgaslagret och dels från strålning från flammorna. I detta scenario kommer de mesta flammorna under den första tiden att finnas inne i flygplanskroppen och strålningen från dessa kommer inte vara så starka då. När flammorna har brutit igenom skrovet vid motorzon och flammorna når upp till taket kommer strålningseffekten från flammorna att vara drygt 1 kW/m^2 . (bilaga 7) Strålningen från brandgaslagret den första minuten är inte så hög, men under nästa minut ökar strålningseffekten till cirka 6 kW/m^2 . Därefter ändras strålningseffekten beroende på delscenario. I de fall flygplatsräddningstjänsten inte är närvarande ökar strålningen snabbt, men när de är på plats stiger strålningen inte mer än till 7 kW/m^2 .

Detta betyder att en människa som är kvar på golvet kommer påverkas av en maximal strålningsnivå på ungefär 8 kW/m^2 då flygplatsräddningstjänsten finns på plats. Vid 8 kW/m^2 så tar det cirka 80 sekunder innan djup delhudsbrännskada uppkommer.

10.1.3 Resultat – konsekvensanalys scenario 1

Vid en brand i motorzon kommer flygplanet att bli mer eller mindre skadat beroende på om branden släcks av flygplatsräddningstjänsten eller inte. Om flygplatsräddningstjänsten inte kommer och släcker branden kommer planet att bli totalförstört eftersom övertändning kommer att ske efter 2,5 eller 3,5 min beroende på om portarna öppnas eller inte. Om däremot flygplatsräddningstjänsten är på plats och släcker branden kan flygplanet eventuellt renoveras så att det kan användas igen. Det kommer i alla fall att finnas delar kvar av planet som kan återanvändas.

I delscenario 1 och 4 fungerar utrymningen felfritt och förarplatsteknikern är ute inom 25 s. Inom den tiden så har inte flammorna gått igenom skrovet ännu och brandgaslagret har inte hunnit sjunka mer än att par decimeter. Strålningseffekten har inte heller hunnit nå några högre värden. Resultatet för delscenario 1 och 4 blir därför M1 (tabell 3) oberoende av om flygplatsräddningstjänsten kommer eller ej.

I delscenario 2 och 5 tar det 60 s för förarplatsteknikern att ta sig ut ur provhallen. Under den minuten har brandgaslagret hunnit sjunka nästan en meter, men det innebär ingen fara för personen i fråga. Strålningen mot honom/henne har inte hunnit nå några kritiska värden inom den tiden. Detta innebär att resultatet för delscenario 1 och 5 blir M1 oberoende av om flygplatsräddningstjänsten kommer eller ej.

I delscenario 3 uteblir utrymningen p.g.a. att förarplatsteknikern ramlat ner från räddningsliften och inte kan ta sig ut. Om flygplatsräddningstjänsten kommer och släcker branden kommer personen att påverkas av en strålningsnivå på 8 kW/m². Den strålningseffekten innebär att teknikern får djup delhusbrännskada efter cirka 80 s (diagram 4). Det betyder att förarplatsteknikern i detta delscenario kommer att få någon typ av brännskador, hur kraftiga det blir beror på hur snabbt flygplatsräddningstjänsten kan hämta ut personen i fråga. Om basträddningstjänsten inte finns på plats kommer övertändning att inträffa efter 3,5 min vilket innebär att allt brännbart i rummet blir delaktig i branden. Resultatet i detta delscenario blir därför M3 om flygplatsräddningstjänsten kommer och M4 om det är kommunala räddningstjänsten som gör insatsen.

I delscenario 6 kan förarplatsteknikern inte utrymma själv utan blir kvar på golvet i provhallen. Om flygplatsräddningstjänsten gör insatsen erhålls likvärdiga resultat som i delscenario 3. Om de inte finns på plats och kommunala räddningstjänsten gör insatsen kommer övertändning att inträffa efter 2,5 min. Resultatet för delscenario 6 blir M3 om flygplatsräddningstjänsten kommer och M4 om de inte kommer.

En sammanställning av resultaten från scenario 1 redovisas i tabell 11.

tabell 11: Sammanställning av resultat från scenario 1.

delscenario	Skada på människa		Skada på flygplan	
	Rtj 90 s	Rtj 10 min	Rtj 90 s	Rtj 10 min
1	M1	M1	F2	F3
2	M1	M1	F2	F3
3	M3	M4	F2	F3
4	M1	M1	F2	F3
5	M1	M1	F2	F3
6	M3	M4	F2	F3

10.2 Scenario 2 – Brand i bränslepöl på golvet

10.2.1 Handberäkningar och diskussioner

Vid antändning av 100 liter MC 75 kommer en kraftig brand att utvecklas, från det att branden startat tills den når sin fulla effekt tar det cirka 1 min. Flammorna är då drygt 6 m höga dvs. de når ända upp i taket. Temperaturen i flammorna kommer att ligga runt 1 000 °C, och det betyder att det kommer att ta cirka 1 min innan det brinner hål på aluminiumet i flygplanskroppen. Kolfiberkompositen kommer att antändas bara inom några sekunder efter det att pölbranden nått sin fulla effekt. Utförligare diskussion och handberäkningar finns i bilaga 8.

En mycket stor del av stridsflygplanet består av bränsletankar och en pölbrand kommer att hamna mitt under dessa. Vid tidigare fullskaleexperiment med Viggen och Draken visade det sig att hål med en diameter på cirka 1 dm uppkom efter ungefär 1 min brandpåverkan. Detta betyder att det kommer att bli hål i bränsletankarna och bränsle kommer att rinna ut och fylla på med bränsle så att branden kan fortsätta växa. Anta att det fylls på med en liter/s. Det innebär att bränsle kommer fyllas på snabbare än det brinner upp eftersom avbrinningen är cirka 0,5 liter/s (100 liter / 210 s).

En annan viktig konsekvens av branden är att kablarna som finns på väggen ovanför avgastuben kommer att antändas mycket snabbt. Kablar antänds mellan 180-320 °C¹ och den temperaturen uppnås redan inom 1 min.

Om förarplatsteknikern ramlar ner från liften kommer denne att påverkas av en strålningsnivå från flaman på cirka 20 kW/m² (bilaga 8). Det skall också påpekas att de varma brandgasskikten kommer att medföra ytterligare strålningspåverkan. (kapitel 10.2.2)

10.2.2 Datorsimuleringar i HAZARD

Det är svårt att uppskatta hur stor den maximala effekten av en JAS blir, men det är inte orimligt att det ligger över 100 MW. Det kan jämföras med försök med lastbilar som har gett maximala effekter på över 120 MW. I detta fall är det dock inte av så stort intresse att utreda detta närmare eftersom det är de första minuterna som är av intresse då människa och flygplan kan räddas. Hur effektutvecklingskurvan som används vid datorsimuleringarna tagits fram samt uppgifter om övriga antaganden i simuleringarna finns i bilaga 8.

Den antagna effektutvecklingskurvan visas i diagram 10.

¹ P. Becker och M. Nilsson, *Risikanalytisk och utvärdering av detection- och släcksystem*, 1997

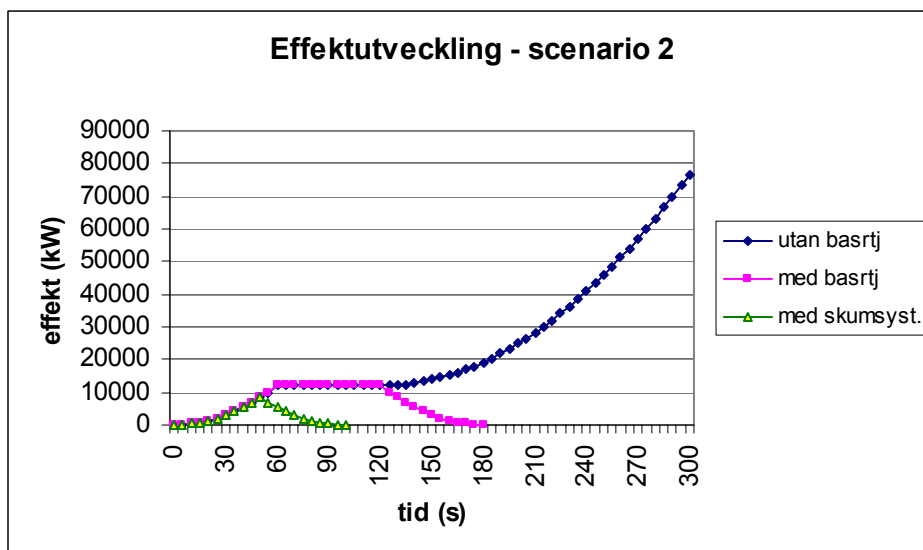


diagram 10: Antagen effektutveckling för scenario 2

Resultatet av simuleringarna när det gäller temperaturer brandgaslagrets höjd och strålning mot en kvarvarande människa redovisas i diagram 11-13.

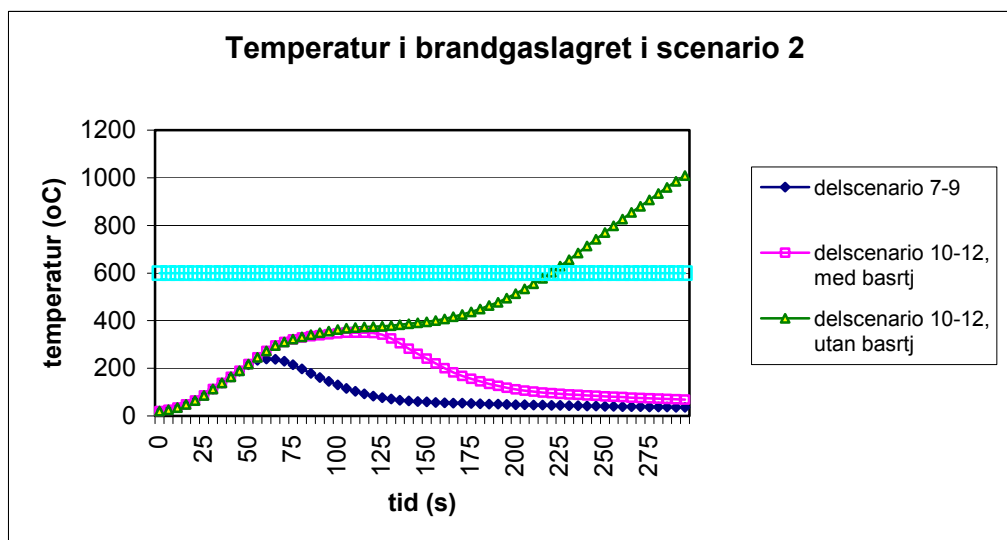


diagram 11: Temperatur i brandgaslagret i scenario 2.

Resultaten visar att då flygplatsräddningstjänsten inte kommer tar det cirka 3,5 min innan temperaturen i övre brandgaslagret blir 600 °C. Det betyder att övertändning inträffar och allt brännbart material i rummet antänds. Detta markeras med ett vågrätt streck i diagram 11.

Om flygplatsräddningstjänsten kommer och släcker branden blir temperaturen maximalt 380 °C.

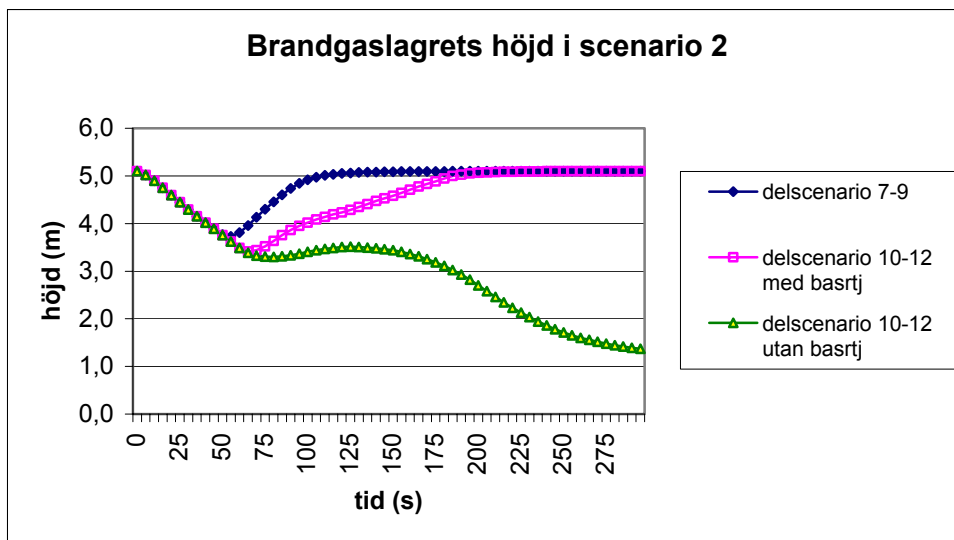


diagram 12: Brandgaslagrets höjd i scenario 2

Om flygplatsräddningstjänsten kommer så kommer brandgaslagret inte att sjunka mer än till 3,5 m höjd. Om det däremot är den kommunala räddningstjänsten som gör den första insatsen så kommer brandgaslagret att sjunka till cirka 1,5 m då övertändning inträffar i provhallen p.g.a. den höga värmen. Under den första minuten då förarplatsteknikerna kommer att utrymma sjunker brandgaslagret 1,5 m vilket med största sannolikhet inte medför några större problem med brandgaser under utrymningen.

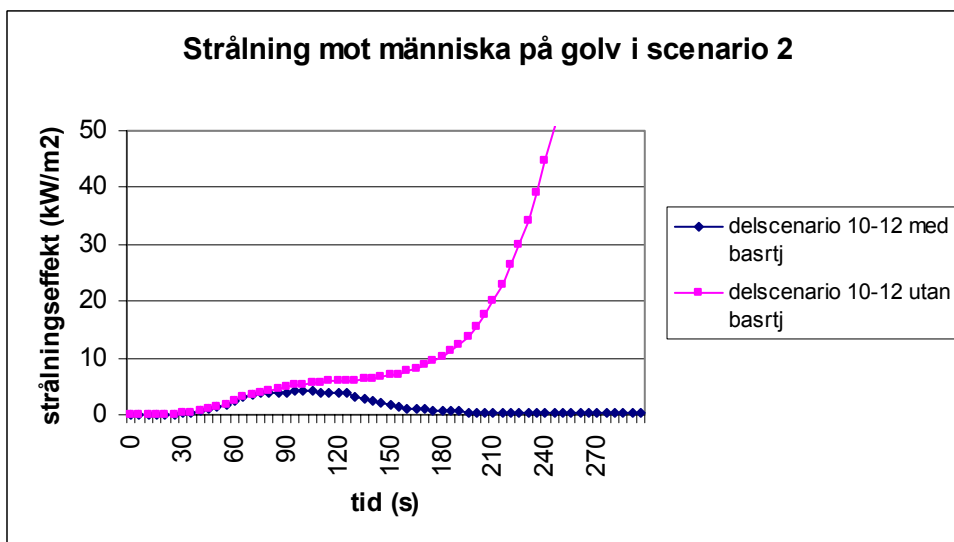


diagram 13: Strålning mot kvarvarande människa från det varma brandgaslagret.

Av diagram 13 framgår att strålningseffekten från det varma brandgaslagret växer relativt långsamt de första två minuterna till 5-6 kW/m². Därefter blir det en tydlig skillnad beroende på om flygplatsräddningstjänsten kommer eller ej. Om de inte kommer ökar strålningseffekten relativt snabbt efter de första två minuterna om de däremot kommer och gör en släckinsats kommer strålningseffekten givetvis att minska.

Den totala strålningseffekten mot en människa som är kvar kommer dels från flammans och dels från det varma brandgaslagret. Strålningseffekten från flammans efter en minut är cirka 20 kW/m^2 (kapitel 10.2.1). Den totala strålningseffekten som påverkar den kvarvarande människan kommer därför att vara högre än det som redovisas i diagram 13.

Den sammanlagda strålningen ökar snabbt den första minuten för att sedan ligga på ett relativt konstant värde på drygt 25 kW/m^2 till 2,5 min. Därefter minskar respektive ökar strålningseffekten beroende på om flygplatsräddningstjänsten kommer eller ej. En strålningsnivå på 20 kW/m^2 medför att hudtemperaturen på en förarplatstekniker som är kvar blir $70 \text{ }^\circ\text{C}$ på ungefär 0,5 min. Vilket innebär djup delhudsbrännskada nästan omedelbart.

10.2.3 Resultat – konsekvensanalys scenario 2

Vid en pölbrand kommer flygplanet att bli mer eller mindre skadat beroende på hur snabbt branden släcks. Om skumsystemet utlöses och släcker branden inom 30-50 s kommer branden påverka egenskaper på skrovmaterialet, men troligtvis är det skador som kan repareras. Om flygplatsräddningstjänsten släcker branden efter 150 s har skrovmaterialet påverkats lite mer, det kan till och med ha brunnit på vissa ställen i kolfiberkompositen. Det innebär att planet inte är totalskadat, men väldigt mycket reparationsarbete behöver göras. Om släckinsats påbörjas när den kommunala räddningstjänsten anländer kommer planet att vara totalförstört.

I delscenario 7 till 9 fungerar skumsystemet och branden släcks efter 30-50 s. Brandgaslagret finns på cirka 4,5 m höjd efter 1 min. Om utrymningen går felfritt kommer förarplatsteknikern att klara sig oskadd. Om utrymningen däremot blir försenad kommer förarplatsteknikern de sista sekunderna påverkas av en strålningseffekt på 20 kW/m^2 . Den strålningseffekten kommer inte att ge djupa delhudsbrännskador, eftersom det tar 40 s innan djup delhudsbrännskada erhålls vid 20 kW/m^2 . Strålningen kan dock ge ytliga delhudsbrännskador. Om utrymningen uteblir och förarplatsteknikern blir kvar i skumtäckets kommer konsekvenserna variera beroende på hur snabbt han/hon kan räddas. Om flygplatsräddningstjänsten kommer och räddar honom/henne efter cirka 150 s kommer han/hon klara sig med de skador han/hon förvärvat under fallet och/eller med eventuell påverkan av brandgaser. Även om flygplatsräddningstjänsten inte kommer så antas någon annan kunna gå in och rädda förarplatsteknikern. Resultaten för delscenario 7, 8 och 9 blir därför M1, M2 och M3.

I delscenario 10 fungerar utrymningen felfritt och tar 25 s. Inom den tiden har pölbranden vuxit sig till halva sin maximala effekt och brandgaslagret finns på strax under fem meter. Det innebär att färden med räddningsliften kommer att gå bra utan alltför mycket rök.

Temperaturen har inte blivit så hög att den stör den utrymmande förarplatsteknikern i någon större omfattning. Resultatet för delscenario 8 blir därför M1.

I delscenario 11 tar utrymningen 60 s. Det är först efter 30 s som beslut om utrymning tas, vid den tiden har brandgaslagret sjunkit till 4,3 m, och det innebär att det är på gränsen till att det är möjligt att utrymma via räddningsliften. Temperaturen i det övre lagret är $113 \text{ }^\circ\text{C}$ efter 30 s, vilket också är på gränsen till att använda räddningsliften. Temperaturen i det undre lagret är dock inte så hög den första minuten. Strålningen från flammans och det varma brandgaslagret kommer att påverka förarplatsteknikern, men inte i så stor utsträckning att djup delhudsbrännskada uppkommer. Troligtvis kommer dock värmetrålningen att ge en ytlig delhudsbrännskada. Det är också troligt att förarplatsteknikern skadar sig vid fallet från liften eller vid fallet från flygplanet. Resultatet för delscenario 9 blir därför M2.

I delscenario 12 uteblir utrymningen och personen blir kvar på golvet i provhallen. Efter cirka 2 min efter det att branden startat har strålningen från flammans gett personen djupa delhudsbrännskador. Om denne inte får hjälp ut inom kort kommer han/hon troligtvis att omkomma.

Resultatet för delscenario 10 blir därför M3 om flygplatsräddningstjänsten kommer inom 90 s och M4 om den inte kommer.

En sammanställning av resultaten från konsekvensanalysen för scenario 2 visas i tabell 12.

tabell 12: Sammanställning av resultat från konsekvensanalys av scenario 2.

delscenario	Skada på människa		Skada på flygplan	
	Rtj 90 s	Rtj 10 min	Rtj 90 s	Rtj 10 min
7	M1	M1	F2	F2
8	M2	M2	F2	F2
9	M3	M4	F2	F2
10	M1	M1	F2	F3
11	M2	M2	F2	F3
12	M3	M4	F2	F3

11 Känslighetsanalys

Vid beräkningar av konsekvenser i händelse av brand görs ett antal antaganden. Dessa antaganden är mer eller mindre osäkra. För att undersöka hur osäkerheter i dessa indata påverkar resultatet så görs i detta arbete en känslighetsanalys.

11.1 Scenario 1

Exempel på osäkra indata i detta scenario är; mängden bränsle som kommer ut i motorzon, flamtemperaturen och hur snabbt brandförloppet går. Den viktigaste parametern och den mest osäkra för resultatet i detta scenario är hur effektutvecklingskurvan ser ut. Därför kommer känslighetsanalysen att studera hur resultatet påverkas om effektutvecklingen är dels långsammare och dels snabbare. Maximala effekten kommer inte att varieras eftersom det är de första minuterna som är viktiga för konsekvenserna. I huvudscenariot nås maximala effekten efter 5 min, vilken kan ses som värsta troliga scenario. De effektutvecklingar som kommer att användas i känslighetsanalysen är dels att maximala effekten nås efter 4 min som kan ses som det värsta scenariot och dels att den nås efter 6 min som kan ses som troligt scenario. Effektutvecklingskurvor och resultat från datorsimuleringar finns i bilaga 9.

Resultatet av simuleringar i HAZARD visade att de olika effektutvecklingarna inte hade någon betydelse för konsekvenserna vid de fall då förarplatsteknikern kan ta sig ut själv. I de fall egen utrymning uteblir så blir konsekvenserna lite annorlunda. Vid den snabbare effektutvecklingen så kommer konsekvensen att bli M4 oavsett om flygplatsräddningstjänsten kommer efter 90 s och kan plocka ut personen efter 150 s. Vid den långsammare effektutvecklingen blir konsekvenserna detsamma som i huvudscenariot.

11.2 Scenario 2

Exempel på osäkra indata i detta scenario är; mängden bränsle i pölen, pöldjupet, flamtemperaturen och effektutvecklingskurvan. De indata som kommer att studeras i denna känslighetsanalys är mängden bränsle och flamtemperaturen. Beräkningar och datorsimuleringar från känslighetsanalysen finns i bilaga 10.

11.2.1 Bränslemängd

Om bränsleläckaget skulle medföra halva mängden bränsle dvs. 50 liter så skulle effekten från branden bli hälften så hög. Flamhöjden och flamtemperaturen från en sådan brand skulle dock vara nästan densamma som i scenariot med 100 liter bränsle. Det betyder att antändning av flygplanskroppen sker även om branden härstammar från halva mängden bränsle.

För att flammorna inte ska nå flygplanskroppen så måste pöldiametern vara mindre än 0,5 m, vilket betyder att mängden bränsle i pölen inte får överstiga 1-2 liter.

Simuleringar med HAZARD visar att den första minuten ger samma värden på brandgaslagrets egenskaper. Därefter blir temperaturskillnaden cirka 100 °C och höjdskillnaden cirka 0,5 m. Övertändning inträffar dock bara 20 s senare vid halva mängden bränsle. Det som är av intresse att studera är då fallet då utrymning uteblir. Strålningen mot en människa som är kvar på golvet blir 9 kW/m² lägre den andra minuten av brandförloppet om bränslemängden är hälften. Den skillnaden kan betyda att brännskadorna på förarplatsteknikern blir mindre i de fall då flygplatsräddningstjänsten kommer.

Skadorna blir dock så omfattande att sjukhusvård kommer att krävas. I fallet då flygplatsräddningstjänst inte finns på basen spelar skillnaden ingen roll eftersom personen omkommer ändå.

11.2.2 Flamtemperatur

Flamtemperaturen har stor inverkan på den beräknade strålningseffekten eftersom strålningen är proportionell mot fjärde potensen av flammans temperatur. Flamtemperaturen beror på vilket underlag som bränslet ligger. Den antagna flamtemperaturen i beräkningarna är 1 000 °C. Om flamtemperaturen istället antas vara 800 °C så skulle det innebära att den framräknade strålningseffekten mot flygplanet skulle vara 75 kW/m² i stället för 149 kW/m².

Simuleringar i HSLAB visar att skillnaden på tiden till aluminiumskrovet når sin smälttemperatur då blir 100 s i stället för 40 s. Det skulle alltså ta 1 min extra innan flygplanskroppen blir delaktig i branden. I scenariot antogs att det tar 1 min t innan flygplanet blir delaktig i branden vilket kan vara en för kort tid om flamtemperaturen är 800 °C, men för lång tid om den är 1 000 °C.

Fullskaleförsök med J 35 Draken i en pölbrand visade att en kraftig pölbrand orsakar hål på skrovet som snabbt vidgas och efter 90 s började hålen i skrovet bli relativt stora (cirka 1 dm).¹ I scenariot är den antagna tiden från det att branden startat till antändning av flygplanet 120 s. Det tyder på att den antagna tiden till antändning av flygplanskroppen är något högt räknat.

Om antändning av flygplanskroppen istället antas ske efter 90 s istället för 120 s, som i huvudscenariot, så skiljer sig konsekvenserna i fallet då flygplatsräddningstjänsten kommer. Detta scenario kan ses som värsta scenario medan huvudscenariot är värsta troliga scenario. I huvudscenariot blev konsekvensen M3. I fallet med ett snabbare brandförlopp kan konsekvensen bli M4. Om flygplatsräddningstjänsten kan släcka branden inom 2 min och plocka ut personen så blir konsekvensen M3, men om de inte lyckas släcka branden och hämta ut personen så kommer konsekvensen troligtvis bli M4.

Detta är ett viktigt resultat att ta i beaktande vid det fortsatta riskanalyserarbetet eftersom en brand i bränslepöl kan leda till värre konsekvenser än vad som angivits i konsekvensanalysen.

¹ G. Holmstedt, *Brandförsök med J35 Draken på Nyårsåsens skjutfält den 7 juni 1995*

11.3 Sammanfattning av känslighetsanalys

11.3.1 Scenario 1

- Vid en snabbare effektutveckling än den antagna är risken för att en kvarvarande förarplatstekniker ska omkomma väldigt stor. Om flygplatsräddningstjänsten lyckas släcka branden inom 2 min och hämta ut personen omgående så finns större chans att han/hon överlever.
- En långsammare effektutveckling än den antagna ger lika konsekvenser som i huvudscenariot.

Den snabbare effektutvecklingen kan ses som det värsta scenariot medan huvudscenariot är det värsta troliga scenariot. I den samlade riskbilden i resultatet kommer det värsta troliga scenariot att användas, men det skall då kommas ihåg att ett värsta scenario ger värre konsekvenser.

11.3.2 Scenario 2

- Den antagna bränslemängden har ingen större betydelse för resultatet i konsekvensanalysen.
- En snabbare användning av flygplanskroppen än den antagna kommer leda till att en förarplatstekniker, som inte kan ta sig ut själv, kommer att omkomma om inte flygplatsräddningstjänsten kan släcka branden på en gång och hämta ut personen omgående.

Den snabbare användningen av flygplanet kan ses som ett värsta scenario medan huvudscenariot är det värsta troliga scenariot. I den samlade riskbilden i resultatet kommer det värsta troliga scenariot att användas, men det ska då kommas ihåg att ett värsta scenario ger värre konsekvenser.

12 Sannolikheter och frekvenser

I detta kapitel ska sannolikheter för de olika delscenarierna tas fram. Dessutom ska frekvensen för de valda brandscenarierna bestämmas.

12.1 Sannolikheter

I händelseträdsanalyserna i detta arbete behandlas släcksystemets funktion och förarplatsteknikerns handlande för att avgöra olika konsekvenser. Beroende på vad som händer på vägen så formas ett antal delscenarier. Genom att beräkna sannolikhet och konsekvens för respektive delscenario kan ett antal riskmått tas fram.

De sannolikheter som är aktuella att få fram i denna analys är dels sannolikheten för att de olika utrymningsscenarierna ska inträffa och dels sannolikheten för att skumsystemet eller portarnas funktion ska felfunkera.

12.1.1 Utrymningen

Enligt uppgifter från Kenneth Narstam vid FM HS så ramlar ungefär var tjugonde person ner från räddningsliften vid övning. Det innebär att sannolikheten att en förarplatstekniker ramlar ner från räddningsliften under en utrymningssituation är $1 / 20 = 0,05$. Det ska dock påpekas att det är övning med elever som utbildas till tekniker, vilket kan göra att siffran inte stämmer för färdiga tekniker ute på förbanden. Det ska också påpekas att övningar på utrymning med räddningslift är nästan obefintliga ute på förbanden. Det kan därför anses som att den uppgivna siffran stämmer överens med hur det ser ut på resten av förbanden.

I kapitel 7.1 diskuteras en del om människors beteende vid brand. Där påpekas att under en stressituation kan det vara svårt att komma åt information från minnet. Det är därför viktigt att en brandsituation övas ofta för att öka sannolikheten att handla rätt i en verklig brandsituation. När det gäller förarplatstekniker så övar de utrymning under sin utbildning, därefter sker nästan ingen övning alls. Det tyder på att i en utrymningssituation kommer något med största sannolikhet att gå fel och utrymningstiden kommer därmed förlängas.

När det gäller sannolikheten att en förarplatstekniker ska handla fel vid ett nödläge kan det beräknas med hjälp av en metod som kallas TESEO. Denna metod baseras på faktorer som bestäms av typ av aktivitet, stressituation, operatörens förutsättningar, situationens allvarlighetsgrad och den ergonomiska situationen.¹ Uträkningen av sannolikheten för mänskligt felhandlande redovisas i bilaga 11. Resultatet av beräkningen visade att sannolikheten för förarplatstekniker att handla fel i en utrymningssituation är 0,9, vilket är en hög sannolikhet men den stämmer överens med tidigare diskussion i detta avsnitt. I denna sannolikhet ingår även sannolikheten att förarplatstekniker ramlar ner från räddningsliften.

Detta betyder att sannolikheterna för de olika utrymningssituationerna blir 0,10 för felfri, 0,85 för försenad och 0,05 för utebliven utrymning.

¹ F. Olsson, *Riskanalysmetoder*, 1999

12.1.2 Släcksystem

Sannolikheten att skumsystemet inte fungerar kan i detta arbete bara uppskattas med allmän statistik om släcksystem. British Standard Institute (BSI) har gett ut en standard där sannolikheter om brandskyddssystem felfungerande finns angivna. De sannolikheter som anges där visas i tabell 13.

tabell 13: Sannolikhet att brandskyddssystem felfungerar.

System typ	felsannolikhet
Släcksystem	
Sprinklersystem	0,05
Gassystem	0,06
Brandgasventilation	
Mekaniskt system	0,10
Naturliga system	0,10
Detektionssystem	
Värme- och brandgasdetektion	0,10
Flamdetektion	0,24
Passiva system	
Rumsväggar eller golv	0,05
Branddörr	0,30
Självstängande dörr för att skydda trappa	0,10

I tabellen finns inga uppgifter om lättskumsystem men det kan jämföras med andra släcksystem. Sannolikheten för att sprinklersystem ska felfunkera enligt dessa uppgifter är 0,05 och för gassystem 0,06. Dessa sannolikheter anses kunna överföras till skumsystemet i motorprovhuset. Skumsystemet i provhallen är ihopkopplat med portarnas automatiska öppnande. I händelseträden analyseras bara om hela systemet med skumsystem och portarnas öppnande fungerar. Det betyder att även funktionen av portarna ska vägas in i sannolikheten. Sannolikheten för att portarna inte öppnas antas också kunna jämföras med släcksystemets felfungerande. Sannolikheten för att hela systemet inte ska fungera antas därför vara 0,10.

12.2 Frekvenser

Vid undersökning av frekvensen för att en brand ska inträffa i motorprovhus så har det visat sig att det är mycket svårt att hitta statistik för detta. Den enda större kända brand som har inträffat är den på Bodö-basen i Norge. De incidenter och tillbud som har hänt i motorprovhus finns beskrivna i kapitel 8. De frekvenser som tas fram i detta arbete grundar sig dels på tillbud i motorprovhus, risker med motorn och tillbud med flygplan under start och landning. Vetskapen om att det inte har inträffat någon större brand i Sverige i motorprovhus kan dock användas genom att ett maximalt värde på frekvensen kan anges.

En sammanställning av motorkörningstimmar på olika förband visar att motorkörning i motorprovhus sker cirka 76 timmar/år och förband. Förband med motorprovhus finns närvarande på sju ställen. Totala antalet motorkörningstimmar blir således $76 \cdot 7 = 532$ timmar/år. De flygplanstyper som är av intresse att studera är Viggen och Gripen och sedan

1988 har ingen större brand inträffat. Det betyder att på $532 \cdot 14 = 7448$ provkörningstimmar har ingen brand inträffat. Frekvensen är alltså mindre än

$1 / 7448 = 1,3 \cdot 10^{-4}$ / provkörningstimme eller $1/14 = 7,1 \cdot 10^{-2}$ /år. Dessa siffror är dock för höga eftersom det i början av 1990-talet gjordes betydligt fler motorkörningstimmar än idag. Att lika många motorprovningar kommer att göras i framtiden som idag är ett antagande som kommer att göras i hela frekvensanalysen.

12.2.1 Scenario 1

Orsaken till en brand i motorzon kan dels bero på tekniska fel och dels på mänskliga felhandlingar såsom att motorn har monterats fel. Ett mänskligt felbeteende kan bero på olika orsaker t.ex. omedveten felhandling, medveten felhandling, bristande personlig förmåga, skada eller sjukdom. Det är i alla fall viktigt att det mänskliga felbeteendet analyseras på liknande sätt som de tekniska systemen. De mänskliga felbeteenden som är mest aktuella i detta arbete är omedvetna felhandlingar som kommunikationsbrister, samarbetsmissar och dåligt omdöme. Det kan även röra sig om otrivsel, överansträngning, arbetsskador eller stress. Av de tillbud som är rapporterade till DA BAS är 39 av 83 tillbud orsakade av mänsklig felhandling, resten är materielfel eller okänd anledning. Nästan hälften av tillbuderna beror alltså på människan och inte på tekniken. Det ska dock komma ihåg att av de fel som har gjorts så har inget lett till brand.

Volvo flygmotor har gjort en rapport med sammanställning av flygsäkerhetsfel av motorn i JAS 39 Gripen (RM 12). Rapporten är från maj 2000 och är hemlig, men vissa uppgifter som inte är hemliga har erhållits därifrån. Rapporten bygger på statistik från RM 12:s ursprungliga motor GE 404 som har fem miljoner flygtimmar. Uppgifter som erhållits om risker för brand i flygplanet redovisas i tabell 14.

tabell 14: Uppgifter om frekvenser för olika risker som kan leda till brand med RM 12.

Risk	Frekvens / flygtimme
Brand i motorzon p.g.a. bränsleläckage från motor	$0,72 \cdot 10^{-6}$
Brand i motorzon p.g.a. andra delar i flygplanet	$1,1 \cdot 10^{-8}$
Kompressorhaveri	$1,19 \cdot 10^{-6}$
Lågtrycksturbinhaveri	$0,32 \cdot 10^{-6}$
Högtrycksturbinhaveri	$0,78 \cdot 10^{-6}$
Fläkthaveri	$2,16 \cdot 10^{-6}$

De två översta riskerna i tabell 14 är direkt användbara för brandfrekvensen i scenariot, men resten av riskerna behöver inte leda till brand. Ett haveri i kompressor, turbin eller fläkt medför dock en risk för att brand ska inträffa. En trolig andel kan vara att 1/5 av dessa olyckor leder till brand.

Frekvensen (z) för brand i motorzon under motorprovning orsakade av tekniska fel kan med ovanstående uppgifter beräknas.

$$z = 0,72 \cdot 10^{-6} + 1,1 \cdot 10^{-6} + \frac{1,19 \cdot 10^{-6}}{5} + \frac{0,32 \cdot 10^{-6}}{5} + \frac{0,78 \cdot 10^{-6}}{5} + \frac{2,16 \cdot 10^{-6}}{5} = 1,6 \cdot 10^{-6} / \text{flygtimme}$$

Frekvensen för brand blir alltså $1,6 \cdot 10^{-6} \cdot 532 = 8,5 \cdot 10^{-4}/\text{år}$. Till denna frekvens ska läggas mänskliga felhandlanden som kan leda till brand.

Beräkning av sannolikheten för att flygplanstekniker ska göra ett betydande fel vid förberedelse av motorprovning har gjorts med TESEO-metoden. Beräkningen redovisas i bilaga 11. Resultatet visar att sannolikheten för ett felhandlande vid förberedelse av motorprovning är $2,5 \cdot 10^{-4}$. Detta felhandlande kan leda till brand beroende på felets karaktär. Felsannolikheten innebär att vid var 4 000:e förberedelse kommer något fel att begås. Antalet motorprovningar per år i Sverige varierar, men det är runt hundratalet. Det betyder att vart 40:e år kommer ett större fel att göras som kan leda till brand. Det maximala mänskliga bidraget till brandfrekvensen är då 0,025. Detta är dock ett mycket högt värde som inte är rimligt. Troligare är att vart 100:e fel leder till en större brand. Det ger en brandfrekvens på $2,5 \cdot 10^{-4}/\text{år}$. Denna frekvens är ungefär lika hög som för de tekniska felen. Det kan vara ett rimligt värde med tanke på att ungefär hälften av tillbuden i DA BAS beror på den mänskliga faktorn.

Frekvensen för detta scenario blir $8,5 \cdot 10^{-4} + 2,5 \cdot 10^{-4} = 1,1 \cdot 10^{-3} / \text{år} \approx 1 \cdot 10^{-3} / \text{år}$, vilket betyder en olycka på 1 000 år. Jämförelse med den maximala brandfrekvensen som angivits tidigare i kapitlet visar att den framräknade frekvensen för scenario 1 ligger under den maximala frekvensen, $10^{-3} < 7,1 \cdot 10^{-2}$.

12.2.2 Scenario 2

Bränsleläckage har inträffat sex gånger sedan 1988 enligt DA BAS. Inget av dessa bränsleläckage har lett till brand. Tillbuden med bränsleläckage redovisas närmare i tabell 15.

tabell 15: Tillbud med bränsleläckage rapporterade till DA BAS.

ID	Händelsebeskrivning från DA BAS	åtgärd
4	Under uppstarten vid motorkörning började det spola bränsle mycket kraftigt under en tank. Golvet under hela FPL täcktes av bränsle på några sekunder.	Förarplatsteknikern kuperade motorn och körledaren utlöste skumanläggningen
16	Efter att halva provet utförts kom plötsligt mycket bränsle ut ur luckorna under EBK-kröken. Läckaget var så kraftigt som om man skulle hållt med hinkar	Provet avbröts och LT-kranarna stängdes. Räddningsstyrkan var på plats därför utlöstes ej skumsystemet.
24	Upptäcktes från kontrollrummet via den bakre kameran att något som såg ut som kondens eller dimma strömmade ut. Beslutade att släcka EBK, samtidigt började ett kraftigt läckage.	Kuperade omedelbart, förarplatsteknikern lämnade fpl, utlöste skumanläggningen och larmade räddningsstyrkan.
30	Bränsleläckage i EBK-kröken. Bidragande faktorer till tillbudet var många inblandade personer och dåliga överlämnanden.	
50	Bränsle läckte ur dämpdon pga. att dämpdonets fästplatta ej var fastskruvad. Den satt löst och var dessutom fellåst.	
48	Vid tillslag av ”frontrutespolning varmluft” erhöles istället ”bränslespolning” kompressorluft.	

Det har alltså inträffat sex bränsleläckage på 14 år det innebär en frekvens på $6 / 14 = 0,43 / \text{år}$. Det intressanta är sedan hur stor sannolikheten är att ett bränsleläckage antänds. Eftersom ingen av de inträffade bränsleläckagen har antänds så är sannolikheten mindre än 0,17. Med tanke på att dagens bränsletyp, MC 75, är svår att antända och att det inte så mycket antändningskällor på golvet i motorprovhuset är det tydligt att sannolikheten är liten att det blir en antändning.

Vid en riskanalys av flygplanstankning med Jet A1 (=MC 75) har sannolikheten för antändning av bränslet studerats.¹ Historiska data i övriga världen visar att det har inträffat ett stort antal bränsleläckage med Jet A1, men endast en mycket liten del har lett till antändning. Data från flera hundra bränsleläckage i England de senaste åren har studerats och visat att ingen antändning har skett där. Endast två rapporterade fall i hela världen har rapporterat brand i samband med bränsleläckage med Jet A1 och dessa antändes i första skedet av varma motordelar. Antal bränsleläckage i världen torde ligga på flera tusen. Detta betyder att sannolikheten för ett bränsleläckage ligger runt 10^{-4} .

Kända data är nu frekvensen för bränsleläckage i svenska motorprovhus som är $0,43/\text{år}$ och sannolikheten för antändning som är 10^{-4} . Det innebär det att frekvensen för en pölbrand är $0,43 \cdot 10^{-4}/\text{år} \approx 4 \cdot 10^{-5}/\text{år}$, vilket betyder en olycka på 25 000 år.

12.2.3 Diskussion om frekvenser

Frekvenserna som har tagits fram för de två scenarierna är siffror som inte ska tas som absoluta sanningar. Det är många antaganden och osäkra ingångsvärden som ligger till grund för resultatet. Siffrorna ska därför ses som ungefärliga värden för att få en uppfattning om storleksordningen på frekvenserna. I den samlade riskbilden i resultatet kommer dock de framtagna frekvenserna $1 \cdot 10^{-3}/\text{år}$ och $4 \cdot 10^{-5}/\text{år}$ att användas.

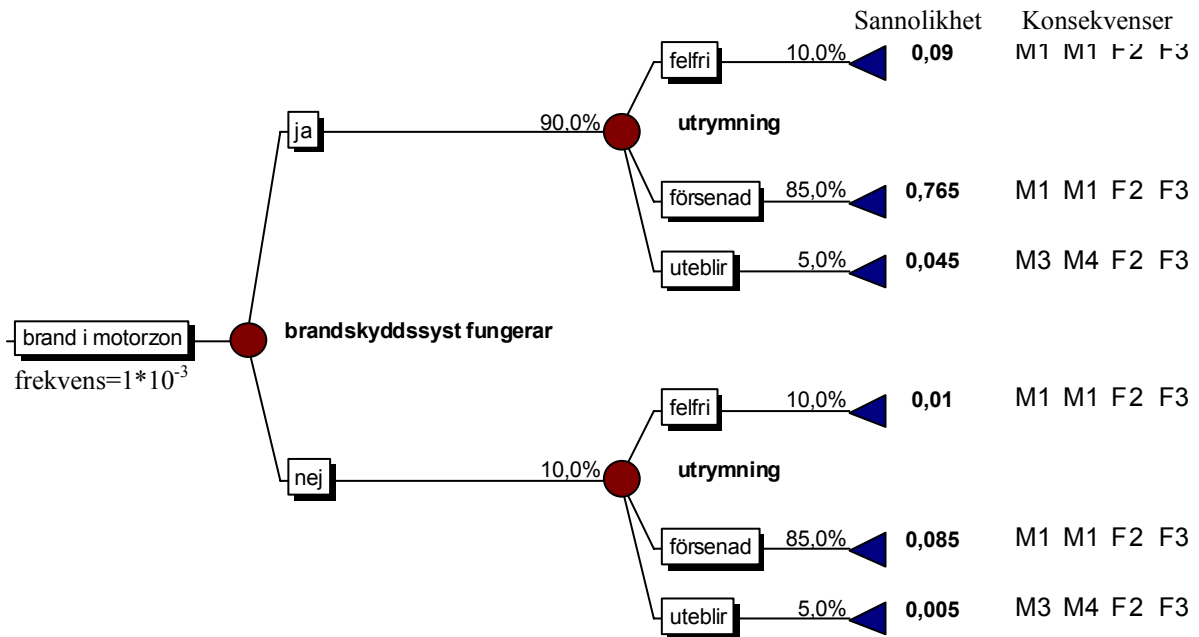
¹ C. R. Jones et al, *Quantified Risk Assessment of Aircraft Fuelling Operations*, 2000

13 Resultat – samlad riskbild

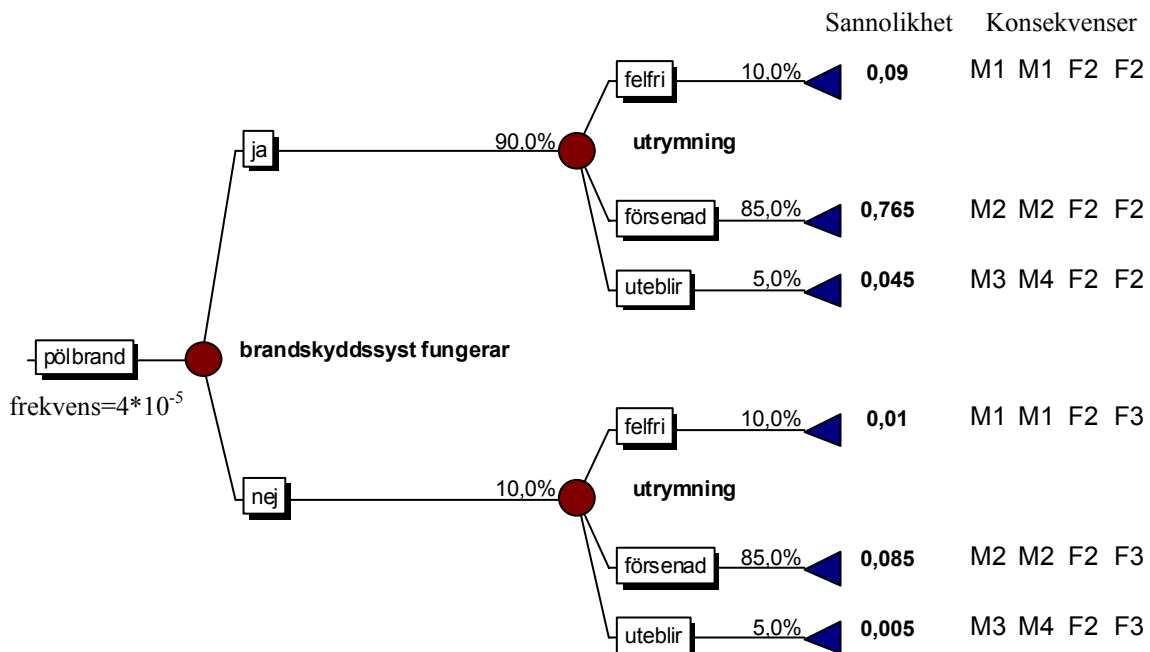
Den samlade riskbilden kommer att redovisas i form av händelseträd och riskprofiler.

13.1 Händelseträd

Händelseträd för scenario 1 och 2 med sannolikheter konsekvenser och frekvens visas i figur 6 och figur 7. Den första konsekvensen är skada på människa med flygplatsräddningstjänst den andra är utan flygplatsräddningstjänst, tredje konsekvensen är skada på flygplan med flygplatsräddningstjänst och den fjärde sista är utan flygplatsräddningstjänst. Beteckningen på konsekvenserna förklaras närmare i kapitel 6.3.



figur 6: Händelseträd för scenario 1 med sannolikheter, frekvens och konsekvenser.



figur 7: Händelseträd för scenario 2 med sannolikheter, frekvens och konsekvenser

13.2 Skador på människa

För att konstruera riskprofiler görs först en tabell med de olika delscenarierna och de sorteras efter stigande konsekvens. Detta visas i tabell 16 för scenario 1 och i tabell 17 för scenario 2.

tabell 16: Underlag för framtagande av riskprofil för scenario 1.

Delscenario	Konsekvens		Sannolikhet	Subtraherad sannolikhet	Frekvens
	90s	10min			
1	M1	M1	0,09	1	$1 \cdot 10^{-3}$
2	M1	M1	0,765	0,91 (1-0,09)	$9,1 \cdot 10^{-4}$
4	M1	M1	0,01	0,145 (0,91-0,765)	$1,45 \cdot 10^{-4}$
5	M1	M1	0,085	0,135 (0,145-0,01)	$1,35 \cdot 10^{-4}$
3	M3	M4	0,045	0,05 (0,135-0,085)	$5 \cdot 10^{-5}$
6	M3	M4	0,005	0,005 (0,05-0,045)	$5 \cdot 10^{-6}$

tabell 17: : Underlag för framtagande av riskprofil för scenario 2.

Delscenario	Konsekvens		Sannolikhet	Subtraherad sannolikhet	Frekvens
	90s	10min			
7	M1	M1	0,09	1	$4 \cdot 10^{-5}$
10	M1	M1	0,01	0,91 (1-0,09)	$3,6 \cdot 10^{-5}$
8	M2	M2	0,765	0,9 (0,91-0,01)	$3,6 \cdot 10^{-5}$
11	M2	M2	0,085	0,135 (0,9-0,765)	$5,4 \cdot 10^{-6}$
9	M3	M4	0,045	0,05 (0,135-0,085)	$2 \cdot 10^{-6}$
12	M3	M4	0,005	0,005 (0,05-0,045)	$2 \cdot 10^{-7}$

Riskprofilerna för de båda scenarierna visas i diagram 14 och diagram 15.

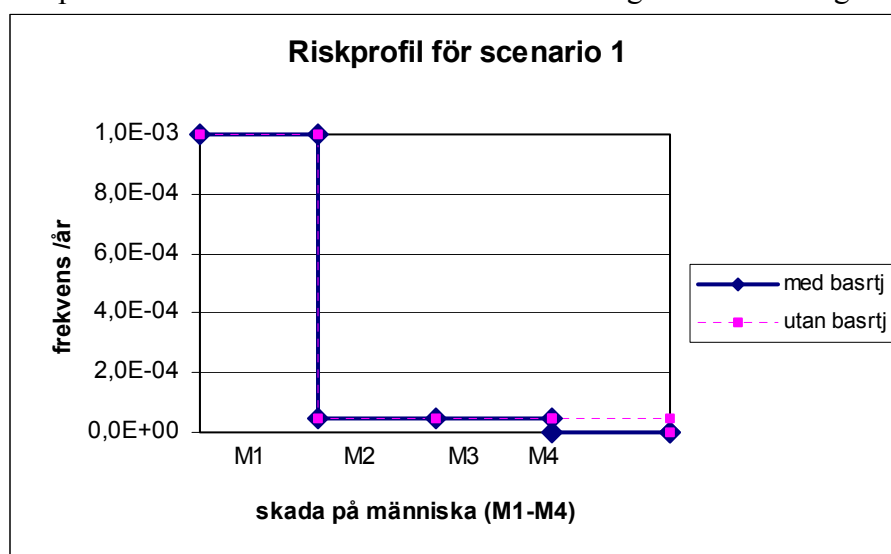


diagram 14: Riskprofil för scenario 1 när det gäller skada på människa.

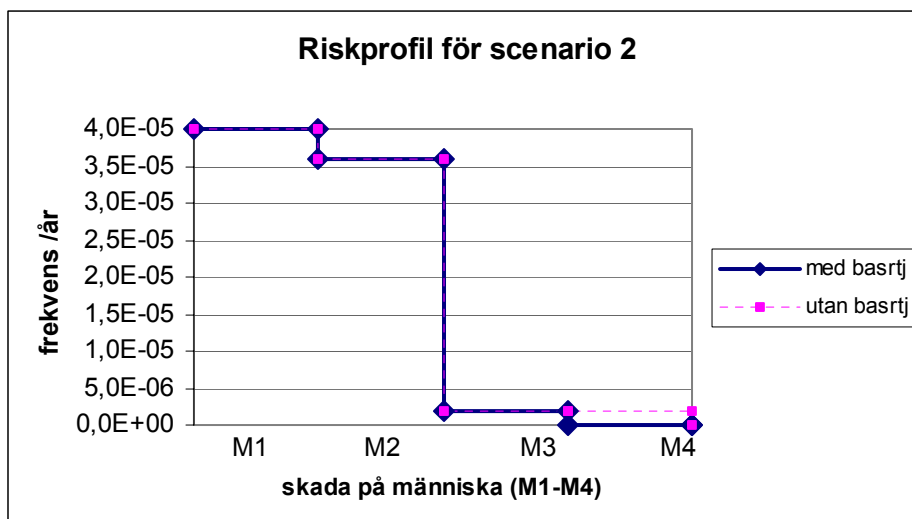


diagram 15: Riskprofil för scenario 2 när det gäller skada på människa.

13.3 Skador på flygplan

När det gäller skador på flygplan kommer konsekvenserna i alla delscenarier i scenario 1 att bli lika. Skadat flygplan om det finns en flygplatsräddningstjänst och ett totalförstört plan om det inte finns. I scenario 2 blir konsekvenserna nästan som i scenario 1, med den skillnaden att när skumsystemet fungerar blir planet inte totalförstört även om flygplatsräddningstjänst inte finns på plats.

Riskprofiler för de båda scenarierna visas i diagram 16 och diagram 17.

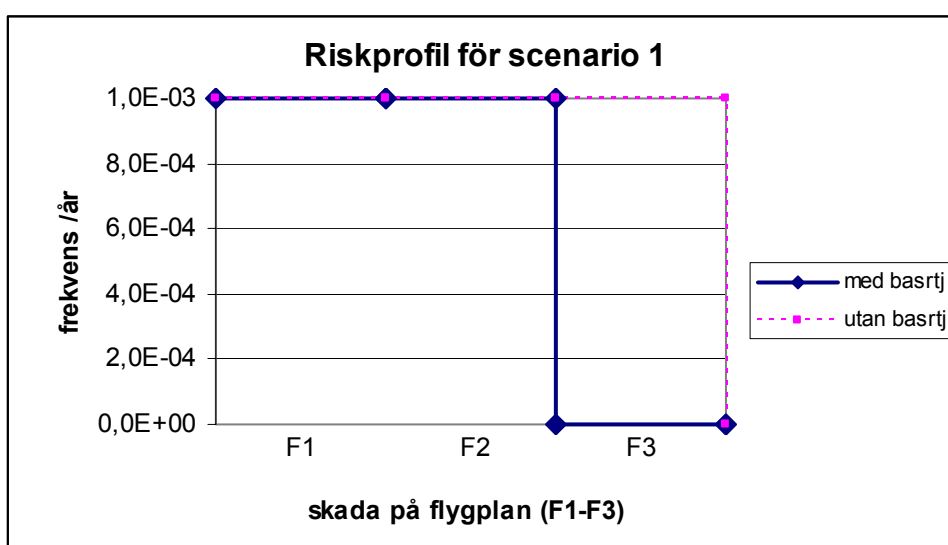


diagram 16: Riskprofil för scenario 1 när det gäller skada på flygplan.

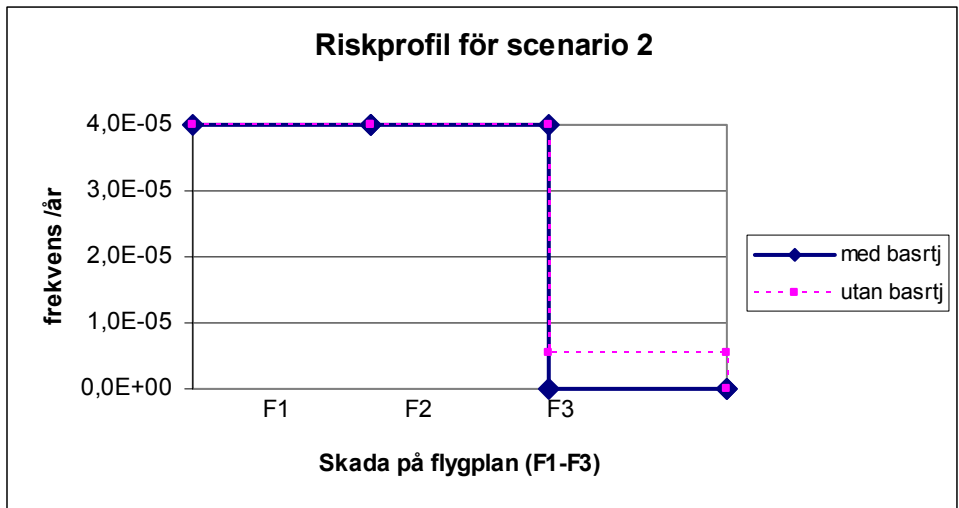


diagram 17: Riskprofil för scenario 2 när det gäller skada på flygplan.

14 Slutsatser

Enkla slutsatser som kan dras från resultatet av frekvensanalysen och konsekvensanalysen är:

- Frekvensen för brand i motorzon är $1 \cdot 10^{-3}$ (1 gång på 1 000 år) och frekvensen för brand i bränslepöl på golvet är $4 \cdot 10^{-5}$ (1 gång på 25 000 år)
- Utan flygplatsräddningstjänst är risken för att en förarplatstekniker ska omkomma i en brand som startat i en bränslepöl på golvet eller i motorzon;
 $5,2 \cdot 10^{-5}/\text{år}$ (≈ 1 på 20 000 år).
- Med flygplatsräddningstjänst kommer förarplatsteknikern inte att omkomma, men i vissa fall få svåra skador. Risken för att en förarplatstekniker ska få svåra skador i något av de utvärderade brandscenarierna är $5,2 \cdot 10^{-5}/\text{år}$ (≈ 1 på 20 000 år).

De iakttagelser som har gjorts under arbetets gång när det gäller motorkörning i motorprovhus är:

- Räddningsliften är inte optimalt utformad.
- Brandskyddssystemet är dimensionerat efter att släcka en pölbrand på golvet och inte en brand i motorzon som är ett mer frekvent brandscenario.
- Brand- och utrymningsövningar är näst intill obefintliga ute på förbanden

Rekommenderade åtgärder som kan minska konsekvenserna vid en brand är:

- All personal bör genomföra brand- och utrymningsövningar.
- Inför ett släcksystem/manuell släckning dimensionerat för att släcka en brand i motorzon.
- Optimera räddningsliften

REFERENSER

J. Nilsson, *Introduktion till riskanalysmetoder*, 2001

Beskrivning, Allmän Motorprovhus, M7013-801511

International standard IEC-300-3-9, Part 3, Application guide – Section 9: *Risk analysis of technological systems*, International Electrotechnical Commission (IEC), 1995.

M. Rosander K. Giselsson, *Skumboken*, Statens räddningsverk, Karlstad, 1993.

Videofilm från försök med lättskumssystemet i Motorprovhuset på FM HS.

S. Stridsberg, *Flygplan 37 Viggen*, Frank Stenvalls förlag, Malmö, ISBN 91-7266-102-X, 1987.

J. Ahlgren m.fl., *Faktboken om Gripen*, Industrigruppen JAS AB, ISBN 91-630-7217-3, 1998.

Focus on the mission VOLVO RM 12, Informationsbroschyr från Volvo Aero Corporation, Trollhättan.

Miljöutredning för bärgningshandbok – *Bränsle- och hydraulsystem i fpl 37 och 39*, CSM Materialteknik, 2001.

C. R. Jones et al, *Quantified Risk Assessment of Aircraft Fuelling Operations*, WS Atkins Safety & Reliability, Report No: AM 5204, 2000.

NFPA 407, Aircraft Fuelling Servicing, 1996.

J. Ondrus, *Brandförlopp*, Avdelningen för brandteknik LTH, Lund, 1990.

Brand på Herkulesgatan i Göteborg, O län, den 29-30 oktober 1998, Statens haverikommission (SHK), ISSN 1400-5751, Västervik, 2001.

M. Sandell, *Arbetsmiljöaspekter vid brand i kolfiberkomposit i samband med flygplanshaveri*, Avdelningen för Yrkes- och miljömedicin, Linköpings Hälsouniversitet, Linköpings Tekniska Högskola, 2001.

J. P. Bull & J.C. Lawrence, *Thermal Conditions to Produce Skin Burns*, Fire and Materials, vol 3, no 2, 1979.

Handbok för flygplatsbrandman, Luftfartsverket, Brand- och räddningsskolan, Arlanda flygplats, 1993.

Boverkets Byggregler, BBR 99, Boverket, ISBN 91-7147-454-4, Karlskrona, 1998.

SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, NFPA, ISBN 0-87765-354-2, 1995.

P. Andersson, *Evaluation and Mitigation of Industrial Fire Hazards*, Avdelningen för brandteknik LTH, Lund, 1997.

BS EN 136:1998, *Respiratory protective devices-Full face masks-Requirements, testing, marking*, 1998.

S. Bengtsson, *Risikanalyt, Effekt av olika bränder på Gripen, F7 Såtenäs*, Brandskyddslaget, 1993.

T. Carlsén och H. Winkler, *Skärsläckaren som röjnings- och släckverktyg för fartyg av kolfiberkomposit*, Avdelningen för brandteknik LTH, Report 5069, Lund, 2000.

H. Ingason, *An Overview of Vehicle Fires in Tunnels*, Statens Provningsanstalt (SP), Borås.

A. Fredäng och J. Hermansson, *Pilotskydd vid brand – utredning och utveckling*, Avdelningen för brandteknik LTH, Report 5047, Lund, 1999.

G. Holmstedt, *Brandförsök med J35 Draken på Nyårsåsens skjutfält den 7 juni 1995*, Avdelningen för brandteknik LTH, Lund, 1995.

H. Frantzich, *Tid för utrymning vid brand*, SRV rapport P21-365/01, Räddningsverket, Karlstad, 2001.

<http://www.haifire.com/ExtAgtAlts/sld001.htm>, 2002-04-20

B. Hägglund, *The heat radiation from petroleum fires*, FoU-brand No 1, 1977.

P. Becker och M. Nilsson, *Risikanalyt och utvärdering av detection- och släcksystem En serviceanläggning tillhörande JAS 39-Gripen*, Avdelningen för brandteknik LTH, Lund, 1997.

G. Holmstedt, *Släckmedel och släckverkan*, Avdelningen för brandteknik LTH, Lund, 2000.

Brandskydd i teori och praktik, Brandskyddslaget och LTH-brandteknik, ISBN 91-630-2875-1, Stockholm, 1994.

D. Drysdale, *Fire Dynamics*, ISBN 0-471-97290-8, London, 1999.

B. Karlsson och J.G. Quintiere, *Enclosure Fire Dynamics*, ISBN 0-8493-1300-7, Florida, 2000.

C. Spångberg, *Brandprov med uniforms- och flygdräktssystem 2001*, arbetsexemplar version 12, Linköping, 2002.

F. Olsson, *Risikanalytmetoder*, Avdelningen för brandteknik LTH, Lund, 1999.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING BILAGOR

BILAGA 1 – Händelseförlopp Bodöhaveriet 1989	73
BILAGA 2 – Ritning på motorprovhus	77
BILAGA 3 – Allmänt om skum	79
BILAGA 4 – Experiment med personalens skyddskläder.....	81
BILAGA 5 – DA BAS.....	85
BILAGA 6 – DATORPROGRAM.....	87
BILAGA 7 – Konsekvensanalysberäkningar scenario 1	89
BILAGA 8 – Konsekvensanalys scenario 2.....	95
BILAGA 9 – Känslighetsanalys scenario 1.....	101
BILAGA 10 – Känslighetsanalys scenario 2.....	105
BILAGA 11 – Mänsklig tillförlitlighetsanalys	113

BILAGA 1 – Händelseförlopp Bodöhaveriet 1989

Händelseförloppet i denna bilaga är en direkt översättning från Norges haverirapport om olyckan.

1. Flygplanet i fråga flög sista gången 29 maj 1989. Tisdag 30 Maj togs flygplanet in i underhållshangar för 50 timmarsinspektion. Inspektionen genomfördes rutinmässigt och inget speciellt fel hittades. Under inspektionen genomfördes ett antal mindre reparationer. Inspektionen blev klar onsdagen 31 Maj.
2. Torsdag 1 juni togs flygplanet ut till startplatta för flygning. Efter före flygning kontroll och flygföraren tagit plats skulle flygplanet startas. Flygföraren valde start 1 och efter att 15 % varv uppnåts satte han gasen på tomgång. Efter 17 s hade fortfarande motorn inte tänt och chefs tekniker beordrade kupé, då han såg stora mängder bränslepill. Flygföraren kuperade och lämnade flygplanet. Räddningsstyrkan tillkallades och man skumbelade golvet. Man beräknade att ca 300 liter bränsle hade dränerats.
3. Flygplanet togs till motorprovhuset för felsökning och reparation. Några ventiler byttes varefter ett lyckat startförsök genomfördes. För säkerhets skull genomfördes ytterligare ett startförsök. Startförsöket misslyckades och det observerades att flygplanet dränerade.
4. Fredagen den 2 juni riktades uppmärksamheten mot tändsystemet. Man genomförde en tändningskontroll, som var normal. Därefter genomfördes ett startförsök. Motorn startade inte, men det blev återigen bränsledränering, som antändes och måste släckas med CO₂ handbrandsläckare. Trots att tändningskontrollen varit positiv beslutades att man skulle byta stator- generator som är en komponent i tändningssystemet. Den berörda komponenten blev urmonterad och arbetet avslutades för dagen.
5. Måndagen den 5 juni monterades stator-generator in. Innan man gjorde ett nytt startförsök tillkallades en brandbil. Startförsöket var negativt. Motorn startade inte och man registrerade dränerbränsle, denna gång utan att brand uppstod.
6. Nästa steg var en delta P-kontroll. Den visade ett tryck på 100 – 110 psid över bränslepumpen. Normalt skall det vara 60 psid. Pumpen blev utbytt och en ny kontroll visade 70 -75 psid. Efter detta mättes Pfs – PfcB som visade sig vara rätta. Detta arbete avslutades måndag kväll efter overtidsarbete.
7. Tisdag morgon den 6 juni var man överens om att problemet troligtvis låg i bränslekontrollen. Man önskade emellertid att mäta bränsletrycket under körning innan kontrollen blev urmonterad. För att undvika startproblem beslutade man sig för att genomföra starten i BUC (Back up Control). Av säkerhetsskäl tillkallades en brandbil.
8. Ca kl 0930 startades motorn i BUC. Starten fortgick normalt. Efter att tomgångs- varvtal hade uppnåts i BUC, gick man över i UFC. Detta fungerade också normalt, bortsett från att bränsleflödet under tomgång var 700 lbs, onormalt lågt men innanför gränsvärdena. Detta hade också observerats vid tidigare körningar. EEC (Engine Electronic Control) slogs till och ifrån ett flertal gånger och allt såg normalt ut, fränsett att delta P fortfarande var högt. Varvtalet ökades efterhand med fortsatta avläsningar av delta P. Efter att ha uppnått ca 80% varvtal började motorn att accelerera okontrollerat. Accelerationen var en följd av att motorn tillfördes abnorma mängder bränsle. Accelerationen var ett resultat av att servoventilen i bränsleregeringsventilen i UFC gick sönder. På mindre än 2 – 3 s gick motorns

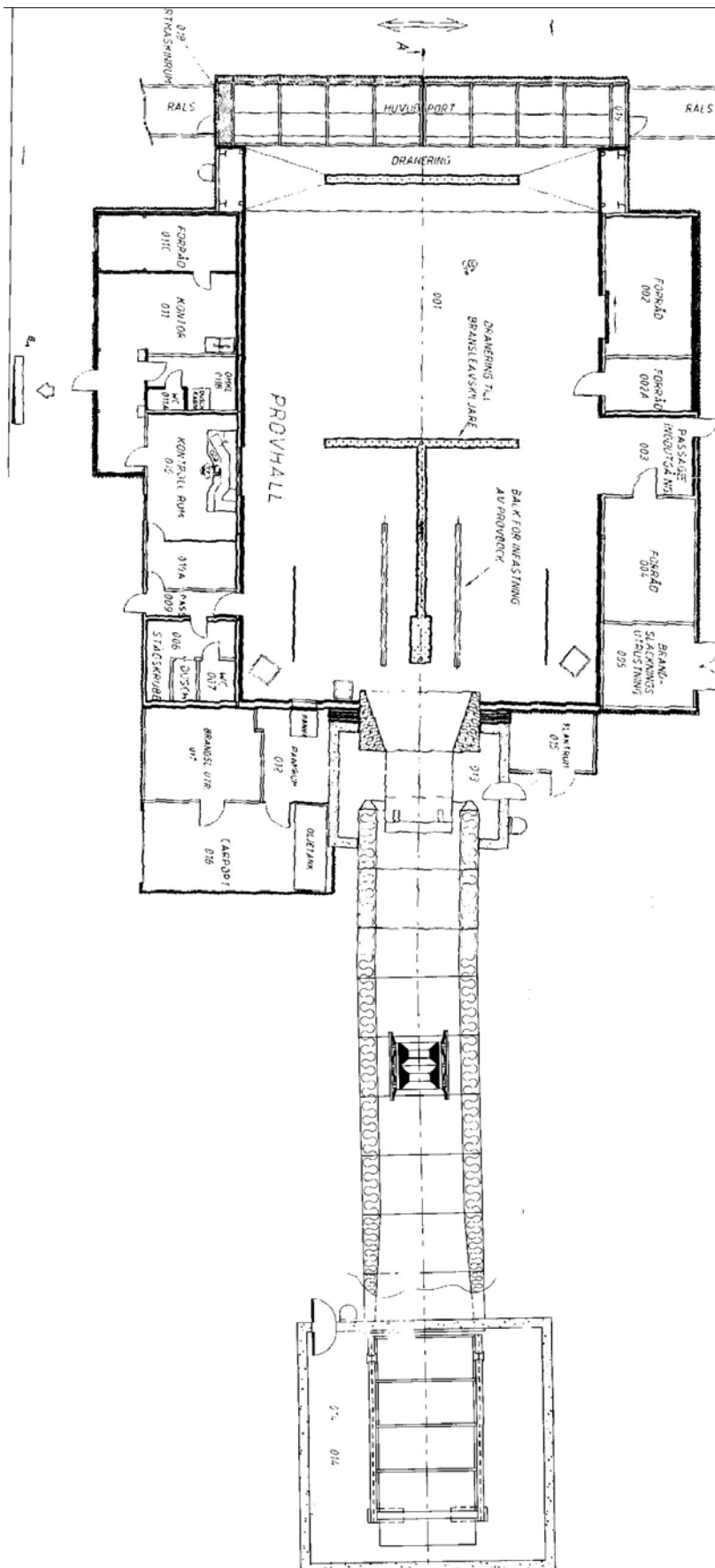
varvtal från 80% till långt över normalt operationsvarvtal. Under det att varvtalet ökade skedde följande.

- Stora mängder brinnande och oförbränt bränsle kom ut ur utloppsmunstycket.
 - Motorn ställade p.g.a. kombinationen acceleration, onormal bränsle/luftblandning, och förhållandet att utloppsmunstycket endast stod halvöppet.
 - Stallningen resulterade i tre hörbara tryckstötter som slog framåt och tog med sig brinnande och oförbränt bränsle.
 - Motorns turbinsektion fick stora värmeskador.
 - Kombinationen av övertemperatur och högt varvtal, fick delar av bladen i 4:e turbinsteget att lossna. Detta förstörde 4:e turbinstegets stator och öppnade flänsen mellan Rear Turbine Casing och Exhaust Casing.
 - Bitar från fjärde turbinstegets blad kastades ut genom öppningen. En bit hade massa och fart tillräcklig för att slå igenom fläkten i ca kl. 10 position. Troligtvis fortsatte denna bit in i flygplanets A – 1 – Tank och medförde att bränsle från denna läckte in i motorrummet.
 - Hela bakre delen av flygplanet var övertänt.
9. Teknikern på förarplats kupérade, öppnade huven tog sig fram över radomen till pitotröret där han hoppade ner på golvet. En annan tekniker hade under tiden hämtat en stege för att hjälpa teknikern på förarplatsen ner. När han såg att förarplatsteknikern hade tagit sig ner på golvet släppte han stegen, och tillsammans tog de sig ut genom frontdörren som öppnades elektriskt. När de tagit sig ut stängde de dörren efter sig.
 10. Brandsoldaterna tog sig in i hallen och försökte släcka med sina CO₂ handbrandsläckare. Befälet, som hade varit ute i kontrollrummet, kom tillbaka och beordrade brandsoldaterna att ta sig ut. Tillsammans tog de sig ut genom sidodörren, branden hade då pågått i ½ till 1 min.
 11. Teknikern i kontrollrummet tryckte på brandlarmet, samt brytarna till automatisk stängning av dörrar och jalousier samt brytaren för en av halonbrandsläckarna, så snart han hade blivit medveten om branden. En annan officer utlöste den andra halonbrandsläckaren samt utlöste skumaggregaten. Brytarna för skumanläggningen fanns under ett skydd och var av typen vippströmbrytare. I förvirringen har dessa brytare blivit manövrerade två gånger, vilket i realiteten givit resultatet att skumanläggningen inte blivit utlöst. Efter dessa åtgärder lämnade de kontrollrummet.
 12. Omedelbart efter att de sista hade kommit ut ur byggnaden ankom de första räddningsfordonen. All personal var vid detta tillfälle ute ur byggnaden och frontportarna stängda. Svart rök välde ut ur glipor i huvudportarna, ur hela västsidan av byggnaden samt genom utloppsskorstenen.
 13. Räddningsledaren från räddningstjänsten visste i detta läge inte om samtliga hade kommit ut ur byggnaden, och gav order om att två rökdykare skulle göra sig redo att ta sig in i byggnaden genom kontrollrumsingången. Rökdykarna försökte ta sig in, men gav snart besked om att det var omöjligt att ta sig in p.g.a. mycket dålig sikt. Två försök gjordes. Därefter kom besked om att all personal var i säkerhet.
 14. Under tiden hade det lagts ut slangar mot bägge ingångarna samt mot huvudporten, som man förgäves försökte öppna. Vid denna tidpunkt meddelades det att flygplanet var utrustat med övningsraket och ammunition. Räddningsledaren ansåg att detta

innebar en ökad risk och beordrade alla fordon att flyttas till östsidan av byggnaden. Flygplanet var utrustat med en "Captive" AIM raket på högra vingen. Efter en stund tände drivladdningen. Raketröret separerade från målsökaren och stridshuvudet, gick rakt bakåt, genom väggen i motorprovhuset och slog ner 110 m bakom huset.

15. Nödutgången på östsidan öppnades, man var tvungen att såga upp den. Rökdykarna trängde in, men möttes av smällar och explosioner. En av rökdykarna blev omkullslagen av trycket, men blev inte skadad. Efter två inträngningsförsök gav räddningsledaren order om att man skulle sluta med att försöka ta sig in. Man försökte nu att få in skum genom nödutgången utan resultat. Ett räddningsfordon sattes som säkring vid bygganden och man begöt närliggande byggnaders tak med vatten från handburna strålrör. Elden hade vid denna tidpunkt nått en sådan omfattning att det stod klart att varken motorprovhus eller flygplan kunde räddas.
16. Bodö brandkår anlände kl 1000 med en bil och 4 man.
 - Kl 1020 kom en bil till med lättskumaggregat och 4 man.
 - Kl 1025 kom en tankvagn med 4000 liter vatten.
 - Kl 1035 kom en pick-up med 5 man och extra skumvätska.
 - Kl 1103 kom 1 bil med motorspruta och 2 man.Slangar var då utlagda från sjön och fram till brandplatsen, men Bodö brandkår la ändå ut sina egna slangar. 5 man ankom i egna bilar.
17. Vid ankomst övertog räddningsledaren från Bodö brandkår befälet.
18. Räddningsfordonen blev i tur och ordning sända tillbaka till brandstationen för återfyllnad. Efter det att huvudportarna hade öppnats (de måste brytas upp), sattes lättskumaggregat in mot öppningen, med liten effekt. Eftersläckning pågick under resten av dagen. Sista brandfordon återgick till brandstationen kl 1530.

BILAGA 2 – Ritning på motorprovhus



BILAGA 3 – Allmänt om skum

Skum är det vanligaste släckmedlet mot vätskebränder. Skum består av bubblor dvs. luft förpackad i sfärer av vätskefilm. Skum kan inte bildas med bara vatten utan ett vätmiddel (skumvätska) som minskar vattnets ytspänning måste tillsättas. Det betyder att skum består av tre komponenter; vatten, skumvätska och luft.¹ Normalt är att skumvätskeblandningen är två till sex procent. Beroende på hur mycket luft som blandas in i skummet så kan tre olika typer erhållas; lättskum, mellanscum eller tungskum. Förhållandet mellan skummetts volym och vatten-skumblandningens oexpanderade volym brukar kallas skumtal eller expansionsfaktor. Gränser för skumtalet för de olika skumtyperna redovisas i tabell B18.²

tabell B18: Skumtal för olika skumsorter.

Skumsort	Skumtal
Tungskum	2-20
Mellanscum	20-200
Lättskum	200-2000

Skumvätskan förvaras vanligen i tankar eller dunkar och blandningen med vatten sker vid användningstillfället, eftersom det är opraktiskt att förvara förblandat släckmedel i större anläggningar.² Pumpning av skumvätska och inblandning i vattenstrålen kan ske på olika sätt med olika fördelar och nackdelar. Det är viktigt att doseringsutrustning väljs med omsorg eftersom doseringen är ett mycket viktigt moment i skumframställningen.³

Släckverkan

Vanliga användningsområden för skum är vätskebränder och skydd mot antändning av utspilt bränsle. Hur lång tid det tar att släcka en brand med skum beror bl.a. på påföringshastigheten, skumnedbrytningen och skummetts utflytningsförmåga. Påföringshastigheten bestäms av skumalstrarens kapacitet och skumtalet. Skumnedbrytningen påverkas av bränslets nedbrytande egenskaper, värmestrålningen och konvektion från varma flammor och ytor. Utflytningsförmågan måste vara högre än nedbrytningshastigheten för att erhålla en lyckad släckning.

Skummetts släckande förmåga härrör från två principer² se figur B8.

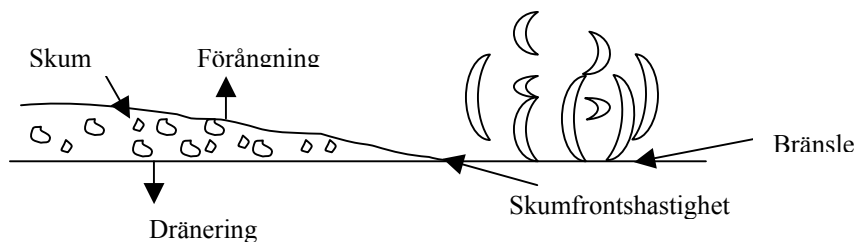
Avskiljning Skummet avskärmar bränslet från flammornas strålning vilket leder till att förångningen minskar och därmed bränsletillförseln till branden.

Kylning Uttränerat vatten kyler bränslet därmed minskar förångningen. Förångat vatten i skummet kyler i sin tur flammorna.

¹ Handbok för flygplatsbrandman, Luftfartsverket, 1993

² G. Holmstedt, *Släckmedel och släckverkan*, 2000

³ M. Rosander K. Giselsson, *Skumboken*, 1993



figur B8: Skumfrontshastigheten måste vara högre än nedbrytningshastigheten för att erhålla den lyckad släckning

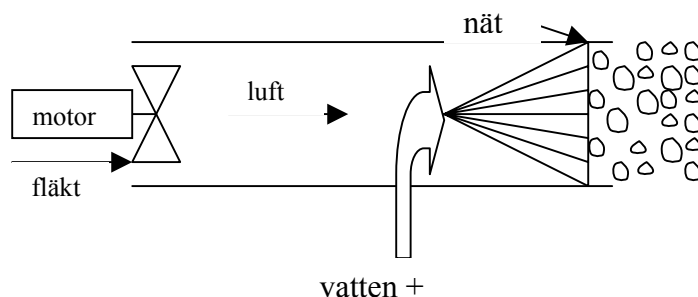
För att släcka en vätskebrand krävs att påföring av skum sker fortare än vad branden kan bryta ner det. Påföringshastighet uttrycks för tungskum och mellanscum som oexpanderad vätska per kvadratmeter och minut ($l/m^2 \cdot \text{min}$). För lättskum uttrycks måttet normalt som vertikal skumuppbyggnadshastighet (expanderat skum) i meter per minut (m/min). Vid ökad påföringshastighet minskar tiden det tar att släcka branden. Vid höga påföringshastigheter minskas dock inte släckningstiden nämnvärt på grund av skummets begränsande utflytningsförmåga.

Lättscum

När ett lättskumsystem ska dimensioneras fastställs först en dimensionerad brand, utifrån den bestäms sedan den tid det max får ta att fylla rummet eller brandobjektet med skum för att erhålla ett lyckat släckningsresultat. Om man har ett 5 m högt rum och dimensioneringstiden är 5 min, så måste vara en meter per minut. Vanliga skumuppbyggnadshastigheter är 0,5 – 2 m/min . Om skumtalet är 1 000 motsvarar det

0,5 – 2 $l/m^2 \cdot \text{min}$ oexpanderat skum. Vanliga påföringshastigheter för tungskum och mellanscum är 3 – 6 $l/m^2 \cdot \text{min}$ dvs. lättscum kräver mindre påföringshastighet än mellan- och tungskum.¹

För att alstra lättscum inomhus används oftast lättskumsaggregat som har skumkapaciteter från 50 m^3/min till 1 500 m^3/min . Vanliga skumtal är 600 – 1 000. Ett lättskumsaggregat innehåller ofta en motordriven fläkt och ett nät för att få höga skumtal. En schematisk bild av funktionen finns i figur B9.



figur B9: Funktionen hos ett lättskumsaggregat

¹ G. Holmstedt, *Släckmedel och släckverkan*, 2000

BILAGA 4 – Experiment med personalens skyddskläder

Syfte

Syftet med experimenten var att undersöka hur mycket värme förarplatsmekanikerns uniform släpper igenom vid olika strålningseffekter.

Utförande

Försöken utfördes i en konkolorimeter vid laboratoriet vid avdelningen för brandteknik på Lunds Tekniska Högskola.

Konkolorimetern består av värmeslingor inuti en öppen kon. Under den finns ett stativ med en platta där provet sätts fast. Provet kan sättas på olika avstånd från konens nederkant. Olika temperaturer i värmeslingorna innebär olika strålningsnivåer till provet. Även avstånden från konen till provet har betydelse för vilken strålning som påverkar provet. Det betyder att konkolorimetern måste kalibreras för olika temperaturer och avstånd. Konkolorimetern som användes har dock kalibrerats för avståndet 77 mm och denna kalibrering användes vid försöken.

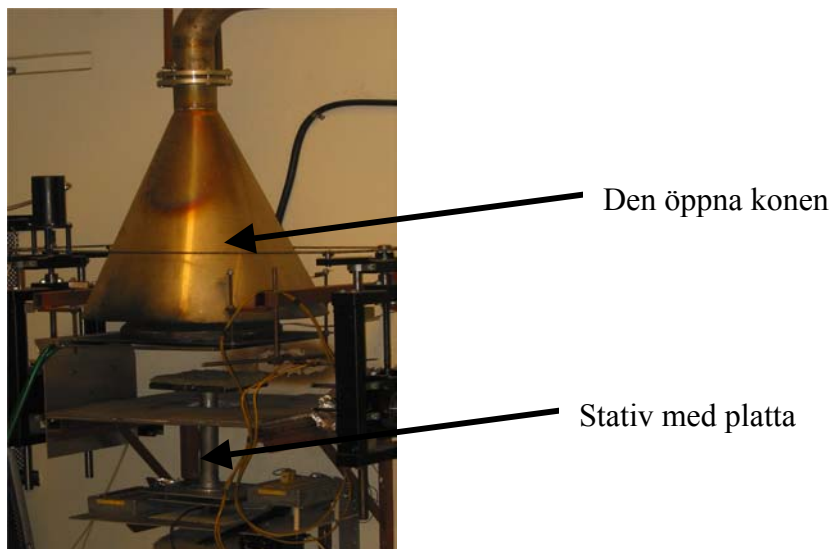


bild 12: Konkolorimetern på brandtekniks laboratorium på LTH.

Tygbitarna (uniformsmaterialet) som skulle testas fästes på en platta under konkolorimetern. Plattan hade ytterhölje av termoplasten Polyacetal (POM) som har hudliknande egenskaper. Innanför detta fanns ett artificiellt blodomlopp bestående av ett vattenfyllt slangsystem med normal kroppstemperatur (37 °C) och isolermaterial för att minimera värmeförlust från vätskesystemet. Vätskans uppgift var att uppnå bra överensstämmelse med människans temperaturregulering. Mellan ”huden” och tyget fästes tre små termoelement för att kunna mäta hur hudtemperaturen ökade.

Tre olika strålningseffekter testades; 8 kW/m², 13 kW/m² och 22 kW/m². Försöken avbröts när hudtemperaturen blev ungefär 100 °C. Temperaturen i början av experimenten låg runt 35 °C, vilket stämmer överens med normal hudtemperatur.

Resultat

Resultaten av detta redovisas i diagram B18-B20.

De tre linjerna i diagrammen visar de tre termoelementens temperaturer.

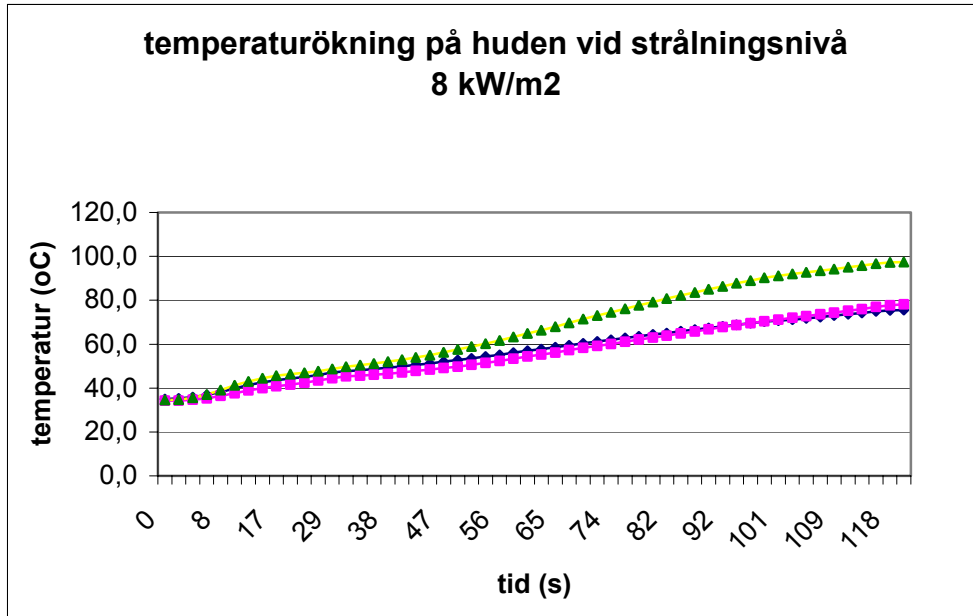


diagram B18: Temperaturökning på huden vid strålningseffekt 8 kW/m²

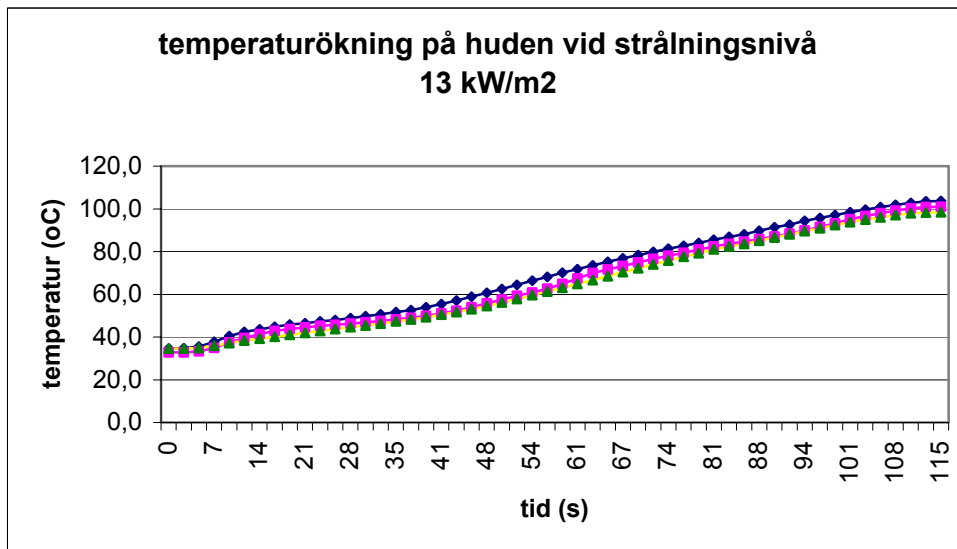


diagram B19: Temperaturökning på huden vid strålningseffekt 13 kW/m²

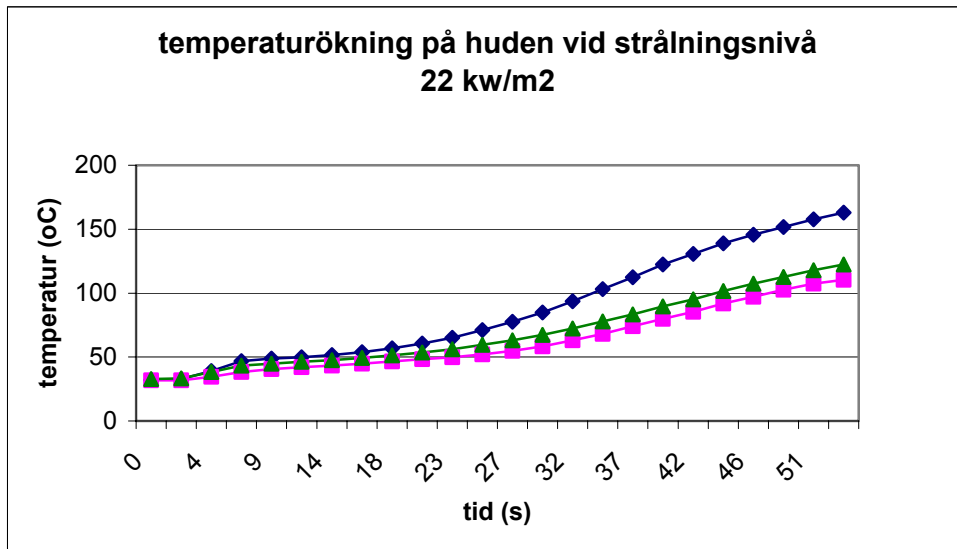


diagram B20: Temperaturökning på huden vid strålningseffekt 22 kW/m²

Medelvärdet av de tre termoelementen för de olika strålningseffekterna redovisas i diagram B21.

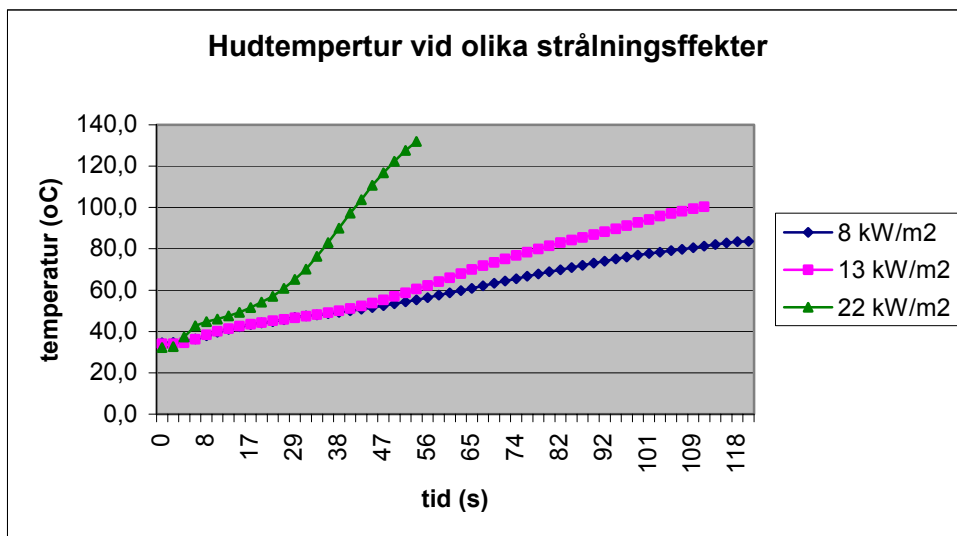


diagram B21: Ökning av hudtemperatur vid olika strålningseffekter.

Resultatet visar att det inte är så stor skillnad på temperaturökningen vid de lägre strålnings-effekterna. Vid den högre strålningseffekten går det dock dubbelt så snabbt att nå de studerade hudtemperaturerna.

BILAGA 5 – DA BAS

ID	Myndighet	Datum	Tid	Fpl typ	Händelse	Brand	Möjlig brand	Hög temp	Annat
1	???	1999-01-01	1900-01-00	39	Felgrepp, 3 termobatterier förbrukade	-	X	-	-
2	???	1988-01-01	1900-01-00	HKP5B	Motorstart utan olja	-	-	-	X
3	FMV:prov	1993-02-01	1900-01-00	AJ37	Okunskap hos räddningsstyrka	-	-	-	X
4	F21	1993-03-01	1900-01-00	JA37	Bränsledränering	-	X	-	-
5	F21	1992-05-01	1900-01-00	JA37	Låg oljenivå motor	-	-	-	X
6	F17	1999-02-01	1900-01-00	JA37	Låg oljenivå växellåda	-	-	X	-
7	FMV:prov	1995-03-01	1900-01-00	JAS39	Felkonstruerat automatlarm/falsklarm	-	-	-	X
8	FMV:prov	1996-02-01	1900-01-00	JAS39	Intercom fungerade ej	-	-	-	X
9	SAAB	1996-04-01	1900-01-00	JAS39	Otillåten personal i hallen vid motorkörning	-	-	-	X
10	SAAB	1999-03-01	1900-01-00	JAS39	Tankbil i bakre riskzon	-	-	-	X
11	F16	1993-09-01	1900-01-00	JA37	Brusten hydraulslangskoppling	-	-	X	-
12	F16	1990-11-01	1900-01-00	JA37	Hög uloppstemp/varmluftslangkoppling fel	-	X	-	-
13	F16	1998-02-01	1900-01-00	JA37	Luftintagsskydd i motrinloppet	-	-	-	X
14	F16	1995-04-01	1900-01-00	JA37	Felmontering av reglerpluggar/låg oljenivå	-	X	-	-
15	F16	1999-02-01	1900-01-00	JA37	Lågt oljetryck/ej monterade oljeslangar	-	-	-	X
16	F15	1997-03-01	1900-01-00	AJ37	Bränsleläckage	-	X	-	-
17	F15	1996-12-01	1900-01-00	AJ37	Hög värme/felmonterad värmerör	-	X	-	-
18	F15	1996-08-01	1900-01-00	AJ37	Sticklåga EBK-spridaren	-	X	-	-
19	F15	1996-09-01	1900-01-00	AJ37	Oljeläcka	-	-	-	X
20	F15	1996-04-01	1900-01-00	Aj37	Skumanläggningen fungerade ej	-	-	-	X
21	F15	1996-02-01	1900-01-00	AJ37	Sticklåga	-	X	-	-
22	F15	1995-03-01	1900-01-00	SH37	Hög temp	-	-	X	-
23	F15	1995-10-01	1900-01-00	SK37	Hög temp	-	-	X	-
24	F15	1994-10-01	1900-01-00	AJ37	Bränsleläckage/Rästyrka o skum	-	X	-	X
25	F15	1994-09-01	1900-01-00	SH37	Låg oljenivå	-	-	-	X
26	F15	1993-02-01	1900-01-00	AJ37	Rökutveckling och varmt	-	X	-	-
27	F15	1992-12-01	1900-01-00	SK37	Högt oljetryck	-	-	-	X
28	F15	1992-12-01	1900-01-00	AJ37	Hög temp	-	-	X	-
29	F15	1991-08-01	1900-01-00	AJ37	Hög temp	-	-	X	-
30	F15	1993-08-01	1900-01-00	SK37	Bränsleläckage	-	X	-	-
31	F14	1993-06-01	1900-01-00	AJ37	Brand i startapparaten	X	-	-	-
32	F14	2000-08-01	1900-01-00	JAS39	Fallskada vid uthopp med räddningslift	-	-	-	X
33	F14	1999-03-01	1900-01-00	JAS39	Stängd intagslucka i motorprovhuset	-	-	-	X
34	F14	1999-02-01	1900-01-00	-----	Fallskada vid övning i räddningslift	-	-	-	X
35	F14	1997-11-01	1900-01-00	JA 37	Hög temp	-	X	-	-
36	F14	1996-01-01	1900-01-00	AJ37	Låg oljenivå	-	-	-	X
37	F10	1998-11-01	1900-01-00	SK60	Låg oljenivå	-	-	-	X
38	F10	1991-10-01	1900-01-00	J35	Brand	X	-	-	-
39	F10	1995-03-01	1900-01-00	J35	Sticklåga	X	-	-	-
40	F10	1992-06-01	1900-01-00	J35	Gasavdrag gick ej att utföra	-	-	-	X
41	F10	1995-11-01	1900-01-00	AJ37	FODimotorns inloppsdel	-	-	-	X
42	F7	1999-03-01	1900-01-00	JAS39	Låg oljenivå	-	-	-	X
43	F7	1998-05-01	1900-01-00	Tp84	Bromsklossar defekta	-	-	-	X
44	F7	1997-09-01	1900-01-00	Tp84	Lågt oljetryck/luftläckage	-	-	-	X
45	F7	2000-03-01	1900-01-00	JAS39	FOD i motorprovhuset	-	-	-	X
46	F5	1993-11-01	1900-01-00	Sk60	Slagmärken inloppsdel motor	-	-	-	X
47	F5	1991-03-01	1900-01-00	Sk60	Oljeläckage/kvarglömd plastplugg	-	-	X	-
48	F5	1996-09-01	1900-01-00	Sk60	Bränsle i kabinluft och G-dräkt slangar	-	X	-	-
49	F5	1995-10-01	1900-01-00	Sk60	Felmonterad motor	-	-	-	X
50	F5	1994-10-01	1900-01-00	Sk60	Bränsleläckage/felmontering	-	X	-	-

51	F5	1993-06-01	1900-01-00	Sk60	Oljeläckage	-	-	X	-
52	F5	1993-05-01	1900-01-00	Sk60	Luftläckage	-	-	-	X
53	F4	1997-06-01	1900-01-00	JA37	Lossnande bitar av betong från platta.Utekörning	-	-	-	X
54	F4	1998-11-01	1900-01-00	JA37	Låg oljenivå	-	-	X	-
55	F4	2001-01-01	1900-01-00	JA37	Lösa luckor	-	-	-	X
56	F4	1998-10-01	1900-01-00	JA37	Luftintagslucka kvarglömd	-	X	-	-
57	F4	1999-05-01	1900-01-00	JA37	FOD	-	-	-	X
58	F4	1997-04-01	1900-01-00	JA37	Generatorhaveri/olja på fel ställe	-	X	-	-
59	F4	1988-11-01	1900-01-00	Sk60	FTE nära sugas in i motorn	-	-	-	X
60	F4	1990-01-01	1900-01-00	JA37	Brand kring startapparat	X	-	-	-
61	F4	1999-04-01	1900-01-00	-----	FOD metallrester från sop och blås	-	-	-	X
62	F3	1995-03-01	1900-01-00	-----	FOD Rester från sop och blås på plattan	-	-	-	X
63	F4	1995-04-01	1900-01-00	JA37	FOD grus från mönstret på kängorna i kabin/golv	-	-	-	X
64	11Hkp	1994-04-01	1900-01-00	Hkp4	Hydrauloljeläckage	-	-	-	X
65	11Hkp	1993-06-01	1900-01-00	Hkp4	Lågt oljetryck växellåda	-	-	-	X
66	11Hkp	1992-08-01	1900-01-00	Hkp4	Hkp roterade under motorkörning	-	X	-	-
67	11Hkp	1992-05-01	1900-01-00	Hkp4	Bränsleläckage	-	X	-	-
68	11Hkp	1991-09-01	1900-01-00	Hkp4	Höga utloppstemperaturer	-	-	-	X
69	11Hkp	1991-07-01	1900-01-00	Hkp4	Höga utloppstemar/glömda luftintagsskydd	-	-	-	X
70	13Hkp	1990-12-01	1900-01-00	Hkp4	Gnista från tändkabel	-	X	-	-
71	AF2	1994-10-01	1900-01-00	Hkp9	Hkp roterade under motorkörning	-	X	-	-
72	4Hkp bat	2000-04-01	1900-01-00	Hkp9	Högt motorvarv, felmontering	-	-	-	X
73	3Hkp bat	1999-03-01	1900-01-00	Hkp6	Hkp lättade under motorkörning	-	X	-	-
74	2Hkp bat	2000-08-01	1900-01-00	Hkp6	Hkp instabil i girled under motorkörning	-	X	-	-
75	2Hkp bat	2000-03-01	1900-01-00	Hkp6	Hkp snurrade 270 grader	-	X	-	-
76	2Hkp bat	2000-06-01	1900-01-00	Hkp6	Övertemp	-	-	X	-
77	1 Hkp bat	1999-10-01	1900-01-00	Hkp10	Kabelfel	-	-	-	X
78	AF1	1996-11-01	1900-01-00	Hkp9	Hög utloppstemperatur motor	-	-	X	-
79	AF1	1994-05-01	1900-01-00	Hkp11	Oljeläckage	-	-	X	-
80	AF1	1992-01-01	1900-01-00	Hkp9	Hkp vred sig under motorkörning	-	X	-	-
81	AF1	1991-02-01	1900-01-00	Hkp9	Hkp girade under motorkörning	-	X	-	-
82	AF1	1988-12-01	1900-01-00	Hkp6	Hkp vred sig under motorkörning	-	X	-	-
83	AF1	1988-12-01	1900-01-00	-----	Hkp vred sig	-	X	-	-

BILAGA 6 – Datorprogram

De datorprogram som har använts i detta arbete är HAZARD och HSLAB. För simulering av brandförlopp har programpaketet HAZARD använts som bygger på tvåzonsmodellen CFAST. För simulering av temperaturökning i material har programmet HSLAB använts.

Tvåzonsmodeller

En tvåzonsmodell förenklar beräkningar av ett brandförlopp vid en rumsbrand. Modellen delar in rummet i två zoner, en övre zon med varma brandgaser och en nedre zon med lägre temperatur. Principen bygger på att de varma brandgaserna stiger och hamnar ovanför den kalla luften. Det är de varma gasernas termiska krafter som tvingar upp dem, så kallad Buoyancy-kraft. För att räkna ut temperatur och neutrallagrets höjd löses mass- och energiekvationerna vid varje tidssteg för de båda lagren.

Antaganden gjorda vid tvåzonsmodellen:

- Hela brandgaslagret har samma temperatur.
- Det nedre lagret har samma temperatur som omgivningen.
- Brandgasernas spridning sker momentant.
- Brandplymens inverkan på det nedre lagret försummas.

Tvåzonsmodellen används idag både vid handberäkning och vid datorberäkningar, som i exempelvis CFAST.

HAZARD

NIST (National Institute of Standards and Technology) har utvecklat ett programpaket med namnet HAZARD. Paketet innehåller 8 delprogram. Ett av programmen är DETACT som är ett program som beräknar tiden för värmedetektion. CFAST är ett tvåzonsmodellprogram och ingår också i HAZARD. En begränsning med CFAST är att endast rektangulära rum kan användas. Efter inmatning av olika parametrar så som rumsgeometrier, öppningar, förbränningshastighet etc. kan CFAST ge en utförlig bild av bland annat brandgaslagrets höjd och temperatur i de olika utrymmena. Det finns möjlighet att öppna och stänga dörrar vid olika tidpunkter. Resultaten från CFAST kan presenteras grafiskt i ett annat HAZARD program, CPLOT.

HSLAB

HSLAB är utvecklat för beräkning av temperaturfördelning i värmeutsatta material. Programmet behandlar transient värmeledning genom flersiktade geometrier. Med HSLAB kan endast endimensionella värmeledningsproblem lösas. Det betyder att inga detaljerade beräkningar där konstruktionen innehåller tvärgående balkar och stag kan utföras.

I programmet kan olika ingångsvärden välja att användas:

- Konstant yttemperatur anges för båda sidor av konstruktionen.
- Värmeflödet genom konstruktionen anges.

- Värmeledning genom strålning och konvektion mellan den omgivande gasen och materialytan anges med hjälp av omgivande gastemperatur, termisk konduktivitet och emissivitet.
- Infallande strålning mot konstruktionens yta med hänsyn tagen till värmeförluster på grund av strålning och konvektion anges genom att strålningsnivå, omgivande temperaturer, emissivitet och värmeövergångskoefficienten sätts som indata.

I programmet finns ett materialbibliotek med data från de vanligaste byggnadsmaterialen. Detta kan enkelt användas, men möjlighet finns också för användaren att själv bestämma ett eller flera förutsatta materialvärden.

För att få ett bra resultat är det viktigt att indata är korrekta och att små tidssteg och lagertjocklekar väljs eftersom plötsliga förändringar av omgivande förutsättningar sker.

BILAGA 7 – Konsekvensanalysberäkningar scenario 1

Strålningsberäkning

Ett rimligt värde på flamtemperaturen och därmed i motorzonen är 1 000 °C. Emissiviteten för flamman kan antas vara = 0,8.¹ Detta antagande kan ge ett något för högt värde på strålningsnivån, men med tanke på att även konvektiv värmepåverkan påverkar omgivningen så kan detta antagande göras. Strålningen mot skrovet och mot luftkanalen av aluminium i motorzon kan då beräknas.

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1273^4 = 119120 \text{ W/m}^2 \approx 120 \text{ kW/m}^2$$

Simulering i HSLAB

Simuleringar i HSLAB har gjorts för att få en uppfattning om när det brinner hål i skrovet och branden kommer utanför flygplanet.

Antal material	1
Materialjocklek	0.002 m
Skiktjocklek	0.001 m
Material	Aluminium

Påverkan på utsidan

Temperatur	20 °C
Strålning	420 W/m ²
Värmeövergångstal ²	0 W/m ² K
Emissivitet ²	0,7

Påverkan på insidan

Temperatur	1000 °C
Strålning	120 kW/m ²
Värmeövergångstal ²	8,5 W/m ² K
Emissivitet ²	0,3

Resultatet från denna simulering visas i diagram B22.

¹ Brandskydd i teori och praktik, Brandskyddslaget och LTH-brandteknik, 1994

² A. Fredäng och J. Hermansson, Pilotskydd vid brand – utredning oh utveckling, 1999

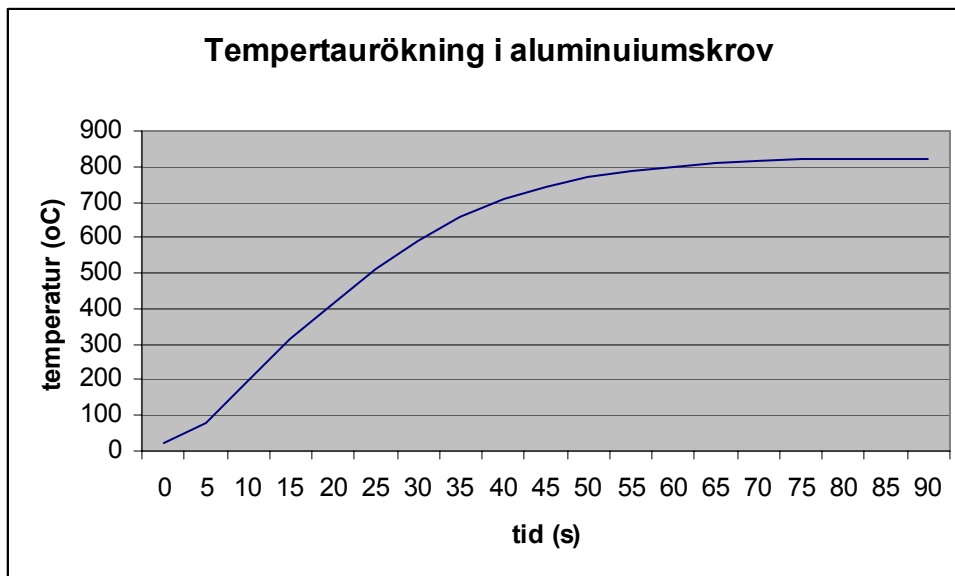


diagram B22: temperaturökning i aluminiumskrov vid brand i motorzon

Resultaten visar att efter cirka 40 s når aluminiumet sin smälttemperatur 660 °C. Det innebär att då kommer flammorna utanför flygplanskroppen och kommer att sprida sig till kolfiberkompositen i fena och vingar och sedan vidare till resten av flygplanet.

Bakom motorn finns en luftkanal av aluminium som är botten på bränsletankarna i flygplanskroppen. Simuleringar i HSLAB har gjorts för att se hur branden i motorzonen påverkar bränslet i den närmaste tanken. Det visade sig i simuleringarna att botten på bränsletankarna kommer att nå 660 °C nästan lika fort som skrovet vid motorn. Det innebär att efter drygt 45 s kommer aluminiumet i botten på den närmaste tanken att smälta och bränsle kommer att börja rinna ut och där antändas av den höga temperaturen.

Effektutvecklingskurva

Eftersom flygplanet är ett så komplext system är det svårt att säga hur brandens effektutvecklingskurva kommer att se ut. Haukur Ingason vid SP (Statens Provningsanstalt) har skrivit en rapport om fordonsbränder som delvis kan användas för att få representabla värden på effektutvecklingen.¹ Försök har gjorts med tunnelbanevagnar gjorda av aluminium med dimensionen 18 m lång, 2,8 m bred och 3 m hög. Vagnen innehöll säten av polyuretan. Det totala energiinnehållet i vagnen var 41 GJ. Detta kan jämföras med energiinnehållet i flygbränslet i flygplanet som är:

$$(775-840) \text{ kg/m}^3 \cdot 3 \text{ m}^3 = (2325-2520) \text{ kg}$$

$$(2325-2520) \text{ kg} \cdot 42,8 \text{ MJ/kg} = (99510-107856) \text{ MJ} = (99,5-108) \text{ GJ}$$

Energiinnehållet bara i flygbränslet är alltså betydligt mer än i tunnelbanevagnen. Till flygbränslet ska även läggas till oljor, fetter, elkablar, syrgas och allt annat brännbart material i flygplanet.

Effektutvecklingskurvan för den tunnelbanevagnen visas i diagram B23. Maximal effektutveckling i branden var 35 MW.

¹ H. Ingason, *An Overview of Vehicle Fires in Tunnels*

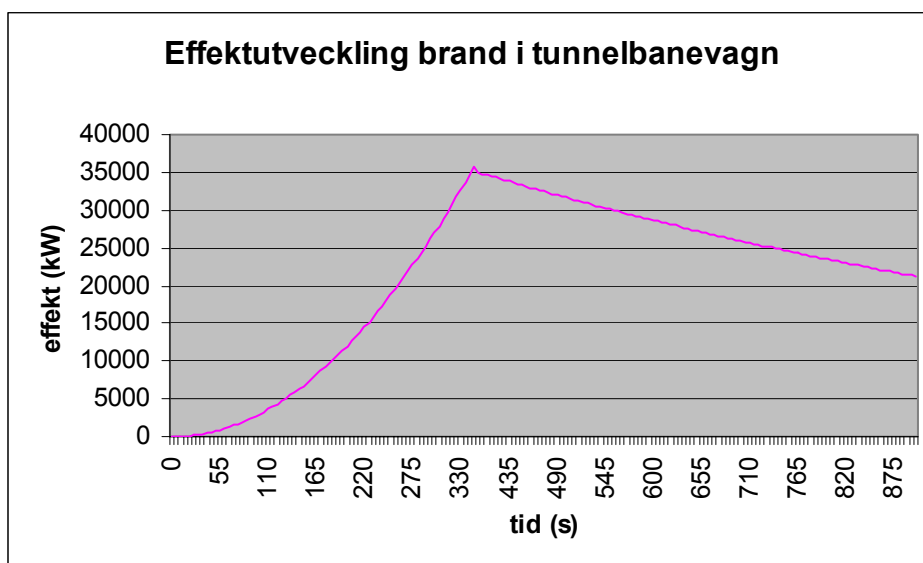


diagram B23: effektutvecklingskurva för brand i tunnelbanevagn

En brand i flygplanet kommer att få en betydligt högre maximal effekt än den i tunnelbanevagnen. Maximal effekt i en tankbil med bensin sägs ligga runt 200 MW.¹ Det värdet är dock troligtvis för högt för flygplansbranden i detta scenario. Andra rekommendationer pekar på att större fordon med farligt gods har maximala effekter på 100-120 MW, och att dessa värden nås efter cirka 10 min.¹ Det ska också påpekas att det har observerats att bränder i fordon av aluminium uppvisar betydligt snabbare och våldsammare förlopp än vid bränder i fordon av stål. Med hänsyn till ovanstående resonemang anses ett maximalt värde på effekten i scenariot vara 120 MW. Detta maximala värde antas uppnås efter 5 min. Detta maximala värde antas fortgå minst till 10 min, med tanke på det stora energiinnehållet i flygplanet. Antagen effektutvecklingskurva för scenariot visas i diagram B24.

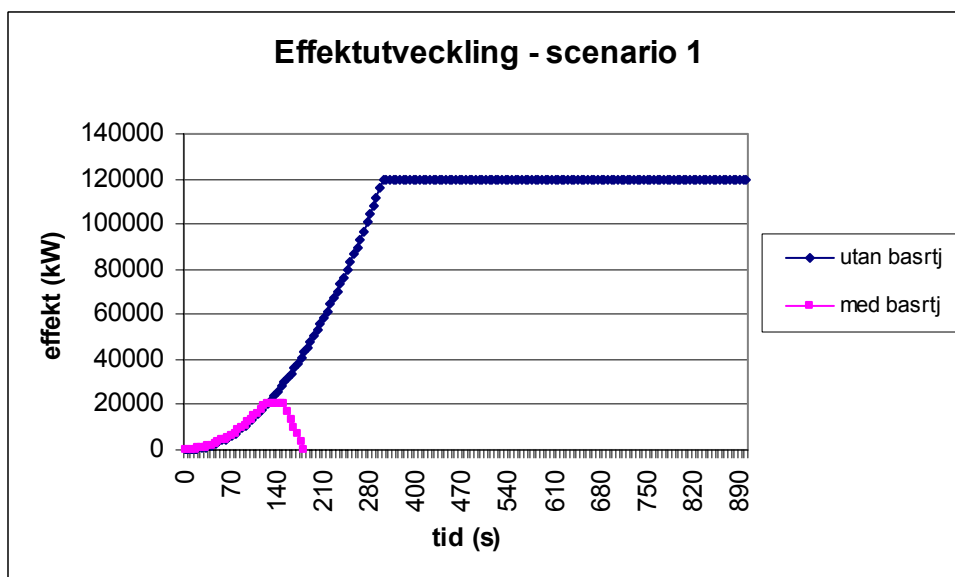


diagram B24: antagen effektutvecklingskurva för scenario 1.

¹ H. Ingason, *An Overview of Vehicle Fires in Tunnels*

Simulering i HAZARD

Vid simuleringarna i HAZARD görs ett antal antaganden som har inverkan på resultaten. De indata och antaganden som används i simuleringarna är:

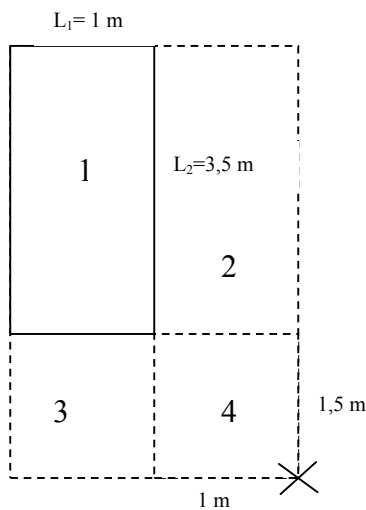
- Effektutvecklingskurvan som togs fram i stycket innan.
- Taket i provhallen är som lägst 4,5 m och som högst 6,2 m. Takhöjden har därför antagits vara 5,1 m.
- Golvets dimensioner är 14,7 x 23,3 m.
- Öppningen i taket där sekundärluften tas in är 2 x 14,7 m. Den antas sitta högst upp på väggen eftersom taköppningar inte fungerar bra i HAZARD.
- Övriga öppningar är dels avgastuben som har diametern 2,8 m => arean 6,2 m² som motsvarar en kvadratisk sida på 2,5 m och dels inkörsportarna med dimensionen 5,1 x 14,7 m.
- Taköppningen är öppen hela tiden och de andra två är öppna/stängda beroende på vilket delscenario som studeras. När brandskyddssystemet fungerar stängs avgastuben efter 40 s och inkörsportarna är helt öppna efter 30 s. Om systemet inte fungerar är avgastuben öppen hela tiden och inkörsportarna öppnas efter 100 s då flygplatsräddningstjänsten kommer. Om de inte kommer är inkörsportarna stängda.
- Övertändning antas ske vid 600 °C.
- Materialet i golvet är betong och i väggar och tak antas materialet vara mineralull.

Handberäkning på strålning från flamma till människa på golvet

Om förarplatsteknikern ramlar ner från räddningsliften är det av intresse att räkna ut hur mycket strålning som påverkar honom/henne. Om flammans approximeras med en rektangel och människan en punkt kan strålningen från flamma till människa beräknas med följande formel¹:

$$q'' = \Phi \cdot E = \Phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ där}$$

Φ = konfigurationsfaktor
 ε = emmissionstal
 $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$ Stefan Boltzmanns konstant
 T = Flammans temperatur (K)



$$\varepsilon = 1 - e^{-a \cdot d}$$

a = flammans absorptionskoefficient = 0,43 för dieselolja
 d = flammans djup = 2 m
 $T = 1000 \text{ }^\circ\text{C} = 1273 \text{ K}$

$$\Rightarrow \varepsilon = 1 - e^{-0,43 \cdot 2} = 0,6$$

Φ bestäms av $S = L_1/L_2$
 och $\alpha = (L_1 \cdot L_2)/D^2$
 D = avstånd till flammen = 8 m

1,2,3,4	$S = 2 / 5 = 0,4$	$\alpha = (2 \cdot 5)/8^2 = 0,16$	$\Rightarrow \Phi_{1,2,3,4} = 0,039$
2,4	$S = 1 / 5 = 0,2$	$\alpha = (1 \cdot 5)/8^2 = 0,08$	$\Rightarrow \Phi_{2,4} = 0,020$
3,4	$S = 2 / 1,5 = 1,3$	$\alpha = (2 \cdot 1,5)/8^2 = 0,05$	$\Rightarrow \Phi_{3,4} = 0,015$
4	$S = 1 / 1,5 = 0,7$	$\alpha = (1 \cdot 1,5)/8^2 = 0,02$	$\Rightarrow \Phi_4 = 0,006$

$$\Rightarrow \Phi = 0,039 - 0,020 - 0,015 + 0,006 = 0,01$$

$$\Rightarrow q'' = 0,01 \cdot 0,6 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1273^4 = 893 \text{ W/m}^2 \approx 0,9 \text{ kW/m}^2$$

¹ D. Drysdale, *Fire Dynamics*, 1999

BILAGA 8 – Konsekvensanalys scenario 2

Effektutvecklingskurva pölbrand

Om 100 liter MC 75 läcker ut och bildar en pöl på golvet antas pöldjupet bli 10 mm.

$$\text{pölradien} = r = \sqrt{\frac{V}{h \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{0,1}{0,01 \cdot \pi}} = 1,78 \text{ m}$$

$$\text{pölarean} = A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 1,78^2 = 10 \text{ m}^2$$

Med fotogen och MC 77 (äldre typ av flygbränsle) som referenser uppskattas

massavbrinningen (\dot{m}'') vara $0,040 \text{ kg/m}^2\text{s}^{1,2}$. Pölarean (A) är 10 m^2 , Förbränningshastigheten (χ) antas vara $0,7$ och förbränningsvärme (ΔH_c) för MC 75 är $42,8 \text{ MJ/kg}$. Med dessa data kan effekten från pölbranden räknas ut:

$$\text{Effekt från pölbranden} = A \cdot \dot{m}'' \cdot \chi \cdot \Delta H_c = 10 \cdot 0,040 \cdot 0,7 \cdot 42,8 = 12 \text{ MW}$$

Vid försök med en äldre typ av flygbränsle (MC 77) visade det sig att det tar cirka 1 min från antändning till massavbrinningen nått sitt högsta värde. Därefter ligger massavbrinningen och effekten från branden på ett konstant värde tills det att bränslet har brunnit upp.² Med bränslets densitet ($\rho = 840 \text{ kg/m}^3$), volymen, pölarean och massavbrinningen kan tiden till bränslet brunnit upp räknas ut:

$$\text{Tid till bränslet brunnit upp} = \frac{V \cdot \rho}{A \cdot \dot{m}''} = \frac{0,1 \cdot 840}{10 \cdot 0,04} = 210 \text{ s}$$

Det innebär att effektutvecklingen från denna brand ser ut enligt diagram B25.

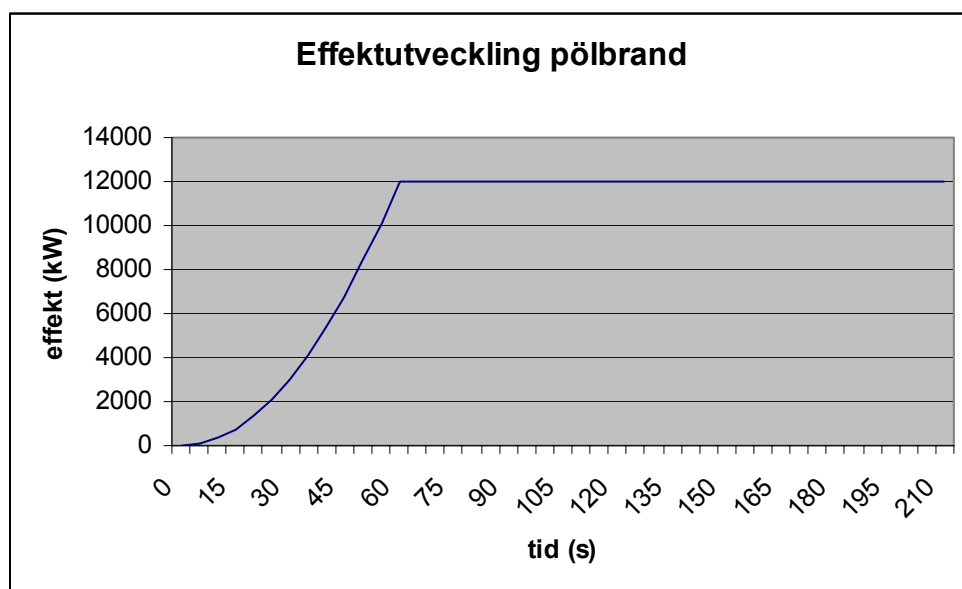


diagram B25: Effektutveckling från en pölbrand med 100 liter MC75

¹ B. Karlsson och J.G. Quintiere, *Enclosure Fire Dynamics*, 2000

² B. Hägglund, *The heat radiation from petroleum fires*, 1997

Flamhöjd och flamtemperatur

Med hjälp av effekten kan flamhöjden beräknas¹

$$L = 0,235 \cdot Q^{2/5} - 1,02 \cdot D = 0,235 \cdot 12000^{2/5} - 1,02 \cdot 2 \cdot 1,8 = 6,4 \text{ m}$$

Vid försöken med MC 77 visade det sig att flamhöjden och pöldiametern förhåller sig enligt; $H/D = 2,6 \cdot D^{-1/3}$. Enligt det uttrycket skulle flamhöjden i detta scenario vara 6,1 m, vilket stämmer väl överens med den beräknade flamhöjden. Det innebär att flammorna kommer vara så höga att de når taket redan efter cirka 1 min.

För att få inblick i hur brandförloppet i scenariot ser ut är det även av intresse att veta temperaturen på 1,5 m höjd (flygplanskroppens höjd över golvet).

Den högst uppmätta temperaturen i flammen i försöken med MC 77 var 970 °C, och det var på 1-1,5 m höjd. Andra uppgifter visar att en brand i flygfotogen JP-4 (MC 77) når cirka 1 000 °C på 20 s.¹ Även om flamtemperaturen alltså är något osäker så kan man dra slutsatsen att kolfiberkompositen kommer att antändas och aluminiumet börjar smälta då branden nått sin fulla effekt.

Det är därför av större intresse att undersöka vid vilken tidpunkt som lågorna når flygplanskroppen (1,5 m).

$$Q = \left(\frac{L + 1,02 \cdot D}{0,235} \right)^{5/2} = \left(\frac{1,5 + 1,02 \cdot 2 \cdot 1,8}{0,235} \right)^{5/2} = 2272 \text{ kW}$$

Det innebär att redan efter cirka 25-30 s kommer lågorna att nå flygplanskroppen och den höga temperaturen kommer då att innebära att flygplanet blir brandskadat på något sätt.

Strålning mot flygplan

Strålningen från flammen till flygplanet kan beräknas med olika metoder. Här används flamtemperaturmetoden² som ger likvärdiga resultat som synfaktormetoden och vinkelmetoden.³ Emmisiviteten antas vara = 1 eftersom planet ligger mitt i flammen. Flamtemperaturen antas vara 1 000 °C.

$$q_{r,T} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 = 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1273^4 = 148900 \text{ W / m}^2 \approx 149 \text{ kW / m}^2$$

149 kW/m² är troligtvis ett något för högt värde på värmestrålningen mot planet. Värdet är dock representabelt i alla fall med tanke på den konvektiva värmeeffekten som också påverkar flygplanet. Summan av strålnings- och konvektionseffekten torde ligga på värden runt det beräknade.

¹ C. Spångberg, *Brandprov med uniforms- och flygdräktssystem 2001, 2002*

² *Brandskydd i teori och praktik*, Brandskyddslaget och LTH-brandteknik, 1994

³ A. Fredäng och J. Hermansson, *Pilotskydd vid brand – utredning oh utveckling*, 1999

Antändning av flygplan

Vid en yttre strålningspåverkan med 50 kW/m^2 på kolfiberkomposit sker en snabb antändning av materialet. Det betyder att då pölbranden är fullt utvecklad och strålningen mot flygplanet är 149 kW/m^2 kommer kolfiberkompositen att antändas snabbt och bli delaktig i branden.

Simulering i HSLAB har gjorts för att se hur lång tid det tar innan temperaturen i aluminiumskrovet blir 660 °C och smälter. Indata i dataprogrammet:

Antal material	1
Materialtjocklek	0.002 m
Skikt tjocklek	0.0002 m
Material	Aluminium

Påverkan på utsidan

Temperatur	20 °C
Strålning	420 W/m^2
Värmeövergångstal ¹	$0 \text{ W/m}^2\text{K}$
Emissivitet ³	0,7

Påverkan på insidan

Temperatur	20 °C
Strålning	149 kW/m^2
Värmeövergångstal ³	$8,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
Emissivitet ³	0,3

Resultatet från denna simulering visas i diagram B26.

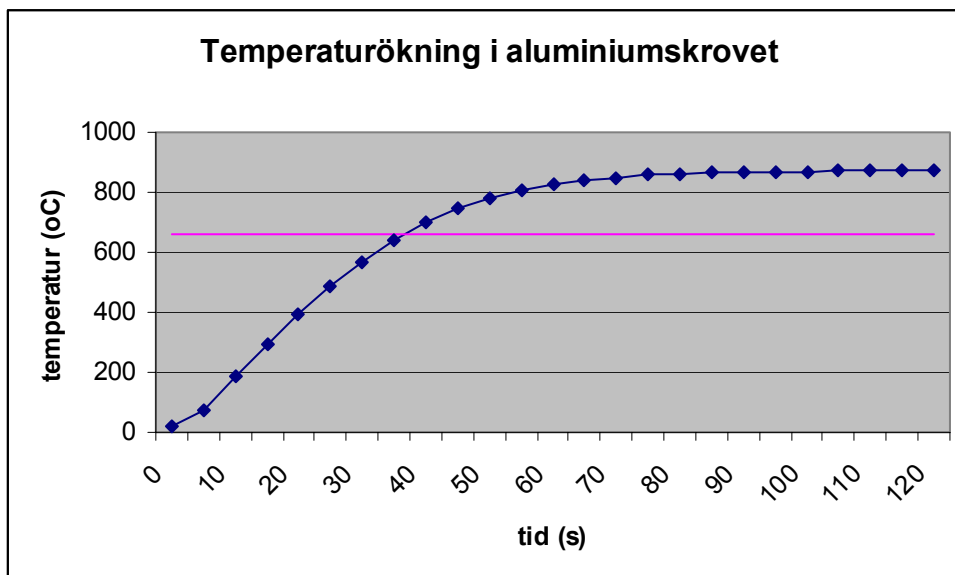


diagram B26: Temperatur ökning i aluminiumskrovet på flygplanet.

Resultaten visar att efter knappt 40 s i detta scenario kommer aluminiumet i flygplanskroppen att börja smälta och antändning av bränsle, kablar oljor etc. inuti flygplanet blir möjligt.

¹ A. Fredäng och J. Hermansson, *Pilotskydd vid brand – utredning oh utveckling*, 1999

Effektutvecklingskurva scenario 2

Den totala effektutvecklingskurvan i scenariot kommer den första minuten att följa pölbrandens effektutvecklingskurva (diagram B25). Därefter kommer effekten att vara konstant i 1 min tills det har gått håll på flygplansskrovet och flygplanskroppen blir delaktig i branden. Detta kan anses som ett värsta troliga scenario, ett värsta scenario kan vara att flygplanskroppen antänds redan då pölbranden nått sin maximala storlek dvs efter 60 s. Detta anses dock vara mindre troligt.

När flygplanskroppen blivit delaktig i branden antas effektutvecklingskurvan följa den effektutveckling som angivits i scenario 1. Effektutvecklingskurvan kommer att se olika ut beroende på vilket delscenario som studeras. Om skumsystemet fungerar antas det kunna släcka branden, vilket ger ett annat utseende på kurvan. Om flygplatsräddningstjänsten kommer efter 90 s och kan påbörja insats efter ytterligare 30 s så får kurvan ett annat utseende. De effektutvecklingskurvor som antagits i scenario 2 visas i diagram B27.

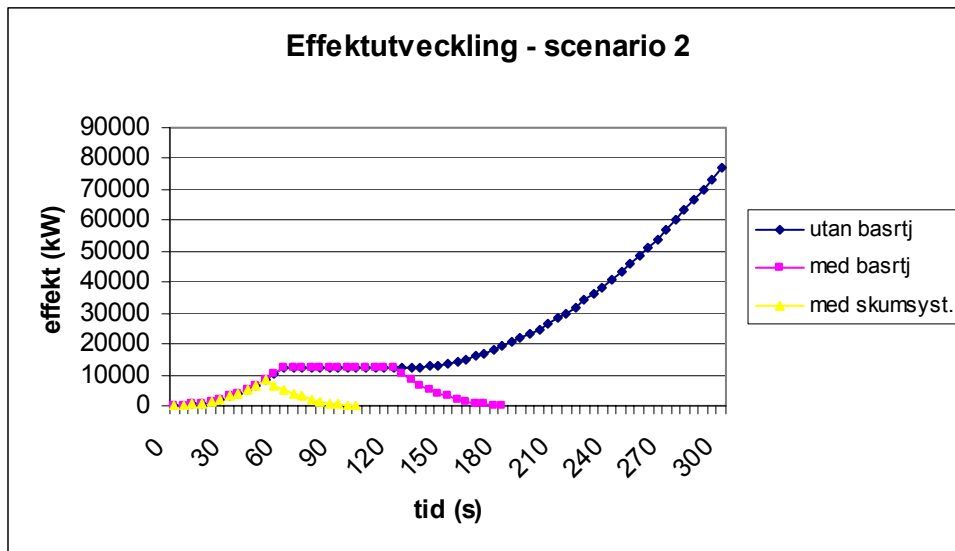


diagram B27: Antagna effektutvecklingskurvor i scenario 2.

Vid simuleringar i HAZARD används effektutvecklingskurvorna i diagram B27, övriga indata och antaganden är detsamma som i scenario 1.

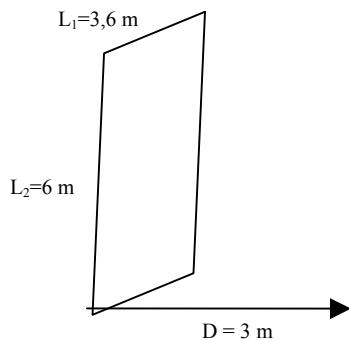
Strålning mot människa från flaman

Om förarplatsteknikern ramlar ner från räddningsliften är det av intresse att räkna ut hur mycket strålning som träffar honom/henne. Strålningen kommer dels från flaman och dels från det varma brandgaslagret. Det är av intresse att undersöka strålningseffekten vid 150 s då flygplatsräddningstjänsten förväntas kunna plocka ut personen som är kvar.

Om flaman approximeras med en rektangel och människan en punkt kan strålningen från flamma till människa beräknas med följande formel¹:

$$q'' = \Phi \cdot E = \Phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ där}$$

Φ = konfigurationsfaktor
 ε = emmissionstal
 $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$ Stefan Boltzmans konstant
 T = Flammans temperatur (K)



$$\Phi \text{ bestäms av } S = L_1/L_2 \text{ och } \alpha = (L_1 \cdot L_2)/D^2$$

$$S = 3,6 / 6 = 0,6$$

$$\alpha = (3,6 \cdot 6)/3^2 = 2,4$$

$$\Rightarrow \Phi = 0,172$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-a \cdot d}$$

a = flammans absorptionskoefficient = 0,43 för dieselolja
 d = flammans djup = 3,6 m

$$T = 1000 \text{ }^\circ\text{C} = 1273 \text{ K}$$

$$\Rightarrow \varepsilon = 1 - e^{-0,43 \cdot 3,6} = 0,8$$

$$\Rightarrow q'' = 0,172 \cdot 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1273^4 = 20489 \text{ W/m}^2 \approx 20 \text{ kW/m}^2$$

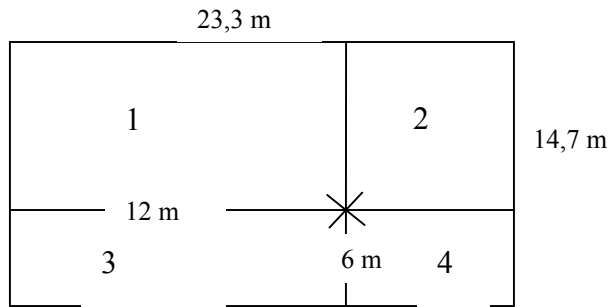
Experiment med MC 77 visade att strålningsintensiteten vid en brand i denna storleksordning till avståndet 3 m skulle ligga runt 15 kW/m^2 .² Värdet ligger i samma storleksordning som det tidigare framräknade vilket tyder på att det framräknade värdet stämmer relativt bra.

Strålning från det varma brandgaslagret

Strålning från det varma brandgaslagret simuleras i HAZARD, men för att kontrollera resultatet från de beräkningarna görs här en handberäkning. Det varma brandgaslagret kan också approximeras med en rektangel. Värmestrålningen beräknas då brandgaslagret är som lägst innan flygplatsräddningstjänsten kommer. Då ligger brandgaslagret på 3,5 m höjd och temperaturen är $360 \text{ }^\circ\text{C}$. Emissiviteten antas vara = 1, vilket kan ge ett något för högt värde på strålningseffekten.

¹ D. Drysdale, *Fire Dynamics*, 1999

² B. Hägglund, *The heat radiation from petroleum fires*, 1977



$$1. D / L_2 = 3,5 / 12 = 0,29 \quad D / L_1 = 3,5 / 8,7 = 0,40 \quad \Rightarrow \Phi_1 = 0,22$$

$$2. D / L_2 = 3,5 / 11,3 = 0,31 \quad D / L_1 = 3,5 / 8,7 = 0,40 \quad \Rightarrow \Phi_2 = 0,22$$

$$3. D / L_2 = 3,5 / 12 = 0,29 \quad D / L_1 = 3,5 / 6 = 0,58 \quad \Rightarrow \Phi_3 = 0,21$$

$$4. D / L_2 = 3,5 / 11,3 = 0,31 \quad D / L_1 = 3,5 / 6 = 0,58 \quad \Rightarrow \Phi_4 = 0,21$$

$$\Rightarrow \Phi_{\text{tot}} = 0,22 + 0,22 + 0,21 + 0,21 = 0,86$$

$$\Rightarrow q'' = \Phi \cdot E = \Phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 = 0,86 \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (360+273)^4 = 7828 \text{ W/m}^2 \approx 8 \text{ kW/m}^2$$

Resultat från simuleringar i HAZARD visade att strålningen mot människan vid den tidpunkten blir 5-6 kW/m². Skillnaden på resultaten beror troligtvis på att emissiviteten antogs vara = 1 i handberäkningarna vilket är ett något högt värde.

BILAGA 9 – Känslighetsanalys scenario 1

Denna känslighetsanalys ska studera hur skillnader i effektutvecklingen påverkar resultatet. Det är av intresse att studera hur en snabbare och en långsammare effektutveckling påverkar de framräknade konsekvenserna. Effektutvecklingskurvorna som används i känslighetsanalysen visas i diagram B28.

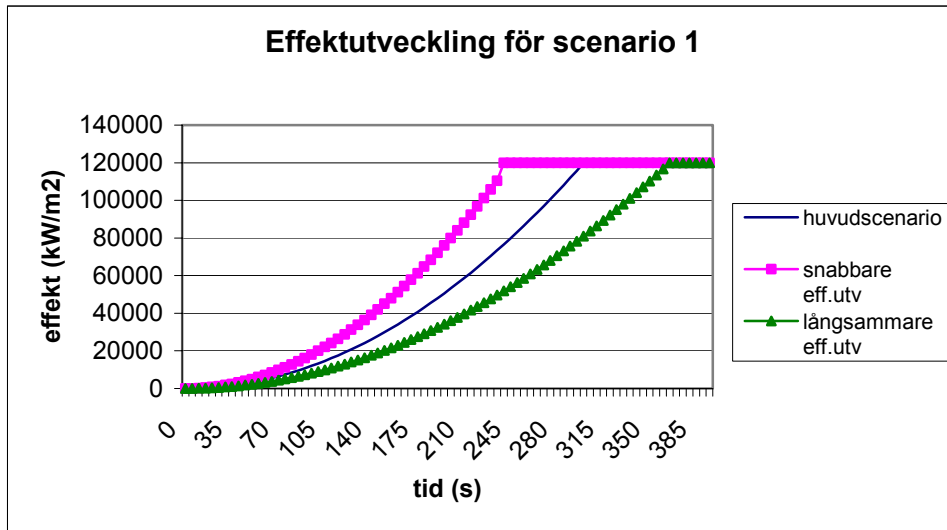


diagram B28: Antagna effektutvecklingskurvor i känslighetsanalysen för scenario 1.

Resultat från simuleringar i HAZARD visas i diagram B29-B34.

Delscenario 1-3

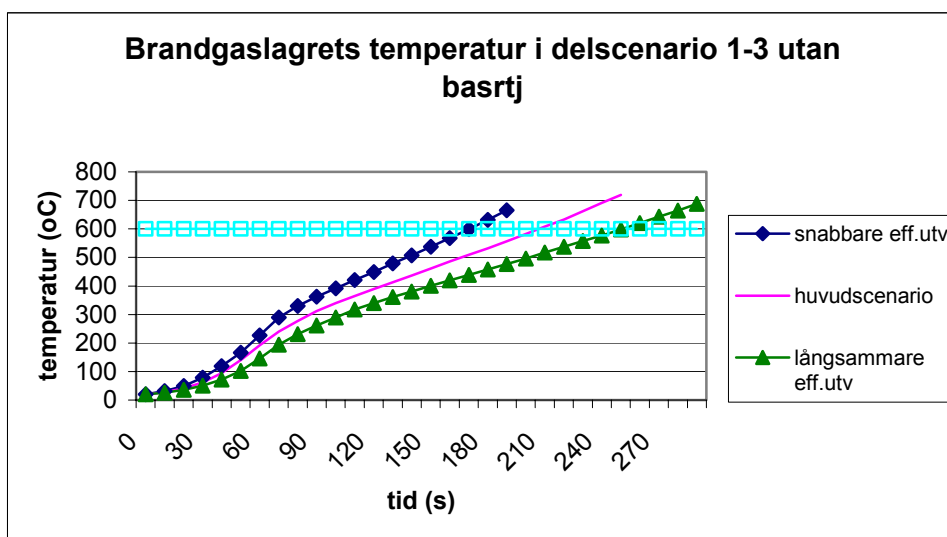


diagram B29: Brandgaslagrets temperatur i delscenario 1-3 utan flygplatsräddningstjänst.

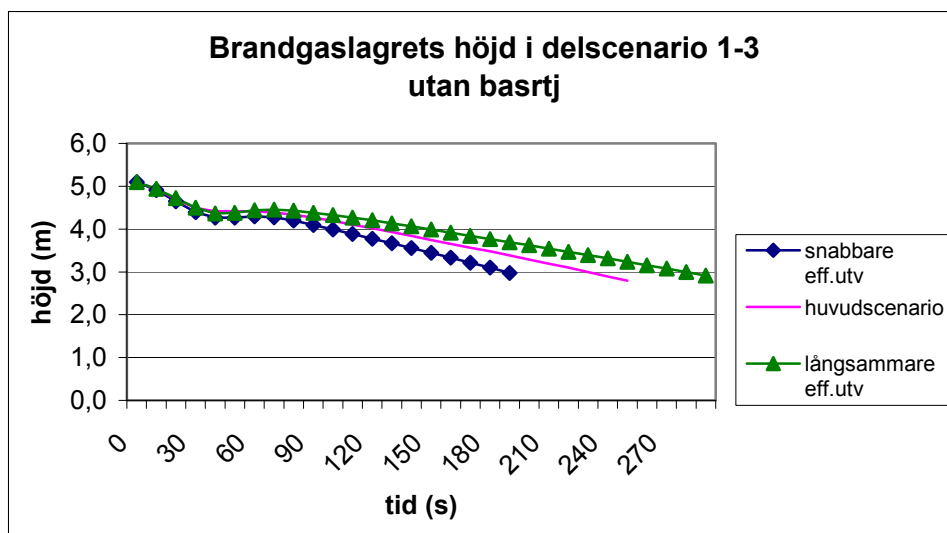


diagram B30: Brandgaslagrets höjd i delscenario 1-3 utan flygplatsräddningstjänst

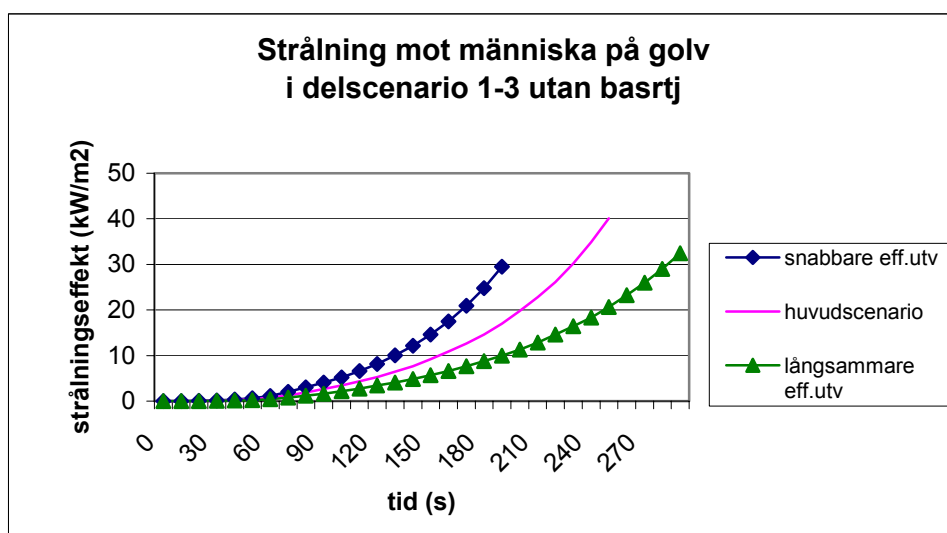


diagram B31: Strålning mot människa på golv från det varma brandgaslagret i delscenario 1-3 utan flygplatsräddningstjänst.

Av simuleringsresultaten kan utläsas att i de fall förarplatsteknikern kan utrymma själv så blir det ingen större skillnad på konsekvenserna. Däremot så blir det vissa skillnader när förarplatsteknikern blir kvar i provhallen. Om inte flygplatsräddningstjänsten kommer så sker övertändning efter knappt 3 min i det snabbare brandförloppet och efter drygt 4 min i det långsammare. Det betyder att konsekvensen om inte flygplatsräddningstjänsten kommer blir M4 i vilket fall som helst. Om flygplatsräddningstjänsten däremot kan komma och hämta ut personen efter 2,5 min blir konsekvenserna skilda beroende på hur snabbt förloppet sker. I fallet med snabbare brandförlopp är strålningsintensiteten från brandgaslagret 15 kW/m^2 efter 150 s och 6 kW/m^2 i det långsammare fallet. Därtill ska läggas strålningsintensiteten från flaman som är cirka 1 kW/m^2 .

Även om strålningsskillnaderna kommer att ge olika grader av brännskador så kommer konsekvenserna ändå att bli lika som i huvudscenariot eftersom sjukhusvård kommer att behövas i alla fall.

Delscenario 4-6

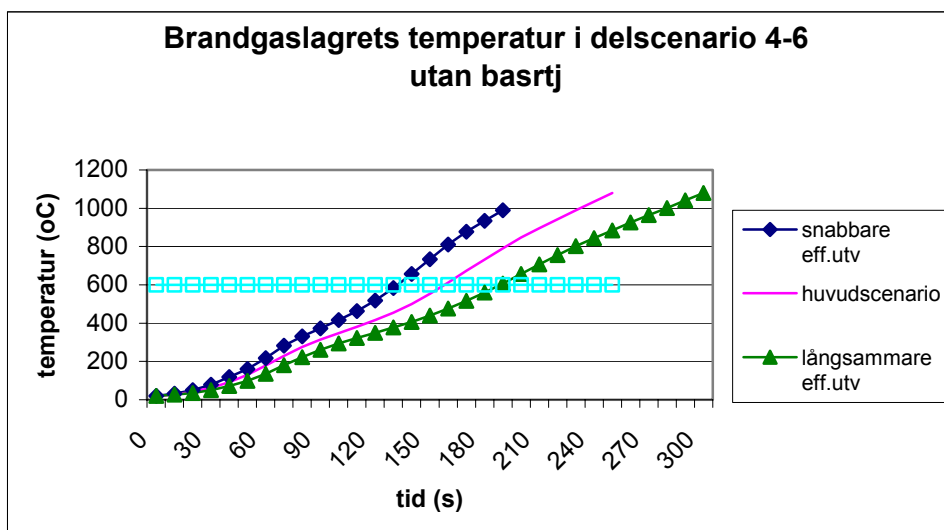


diagram B32: Brandgaslagrets temperatur i delscenario 4-6 utan basrtj.

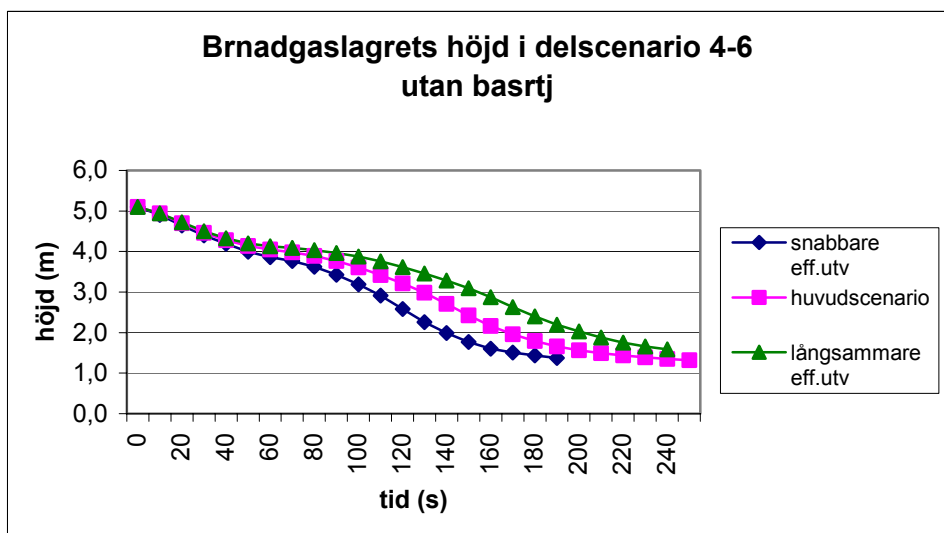


diagram B33: Brandgaslagrets höjd i delscenario 4-6 utan basrtj

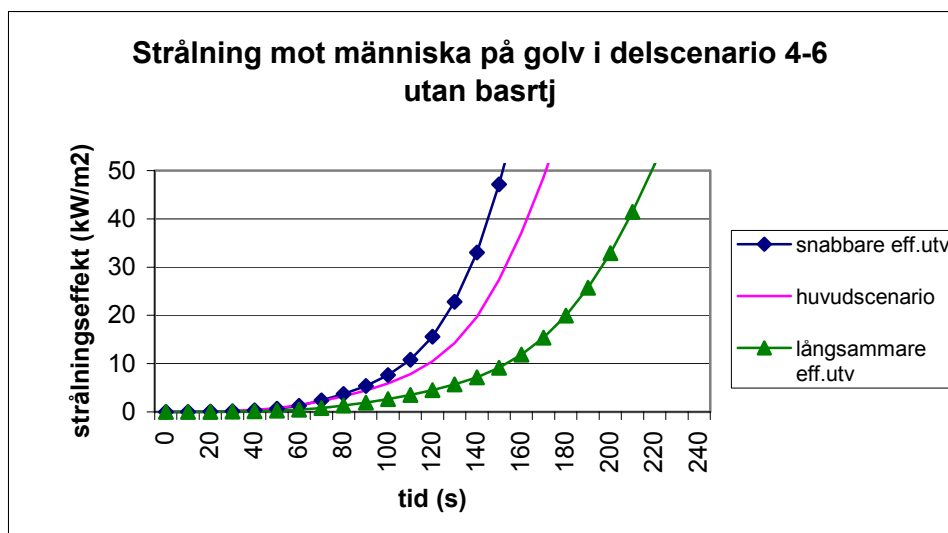


diagram B34: Strålning mot människa på golv från det varma brandgaslagret i delscenario 4-6 utan flygplatsräddningstjänst.

Liksom i delscenario 1-3 så kommer förändringar i effektutvecklingen att påverka konsekvenserna när utrymning uteblir. Resultatet av simuleringarna visar att övertändning kommer att ske 30 s tidigare respektive 30 s senare än i huvudscenariot vid snabbare respektive långsammare brandförlopp. Vid det snabbare brandförloppet inträffar övertändning efter drygt 2 min och vid det långsammare efter 3 min . Strålningen mot en kvarvarande människa är betydligt högre i det snabbare brandscenariot än det långsammare. Konsekvensen av en snabbare effektutveckling än i huvudscenariot kommer att bli M4 om inte flygplatsräddningstjänsten lyckas släcka branden på en gång och hämta ut personen omgående. Den långsammare effektutvecklingen kommer att ge också konsekvensen M3 om flygplatsräddningstjänsten kommer och släcker branden och hämtar ut personen. Om de inte kommer blir konsekvensen M4.

BILAGA 10 – Känslighetsanalys scenario 2

Bränslemängd

I scenariot studerades brand i 100 liter flygbränsle. Anta att läckaget bara genererar halva mängden dvs. 50 liter flygbränsle, med samma pöldjup som i scenariot (10 mm).

$$\text{pölradien} = r = \sqrt{\frac{V}{h \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{0,05}{0,01 \cdot \pi}} = 1,26 \text{ m}$$

$$\text{pölarean} = A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 1,26^2 = 5 \text{ m}^2$$

$$\text{Effekt från pölbranden} = \dot{Q} = A \cdot \dot{m}'' \cdot \chi \cdot \Delta H_c = 5 \cdot 0,040 \cdot 0,7 \cdot 42,8 = 6 \text{ MW}$$

$$\text{flamhöjden} = L = 0,235 \cdot \dot{Q}^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot D = 0,235 \cdot 6000^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot 2 \cdot 1,26 = 5 \text{ m}$$

Det innebär att flamhöjden fortfarande kommer att sträcka sig ända till taket och flygplanet kommer att finnas mitt i flammen. Antändning av flygplanet kommer alltså att ske även om pölbranden grundar sig på halva bränslemängden. Scenariot påverkas alltså inte så mycket av att bränslemängden halveras.

Ovanstående resonemang väcker frågan vilken bränslemängd som ger lågor som inte når flygplanet (1,5 m)? Temperaturen strax ovanför lågorna är lägre än inne i flammen och kommer således att påverka antändningsförloppet på flygplanskroppen. Försök har visat att vid brand i pöl med diametern 2 m är temperaturen cirka 300 °C lägre (650 °C) i överkant på flammen än på 1,5 m höjd.¹

$$L = 0,235 \cdot \dot{Q}^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot D = 0,235 (A \cdot \dot{m}'' \cdot \chi \cdot \Delta H_c)^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot D$$

$$L = 0,235 \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \dot{m}'' \cdot \chi \cdot \Delta H_c \right)^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot D$$

Om L sätts till 1,5 m och $\dot{m}'' \cdot \chi \cdot \Delta H_c$ är som innan så kan pöldiametern D beräknas.

$$1,5 = 0,235 \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 0,04 \cdot 0,7 \cdot 42800 \right)^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot D$$

$$\Rightarrow D = 0,5 \text{ m}$$

Pöldiametern får alltså inte överstiga 0,5 m om flammorna inte skall nå flygplanskroppen. Det innebär att bränslemängden inte får överstiga 2 liter om pöldjupet blir 10 mm och inte 1 liter om pöldjupet blir 5 mm.

¹ B. Hägglund, *The heat radiation from petroleum fires*, 1977

Om bränslemängden skulle vara hälften skulle effektutvecklingskurvan för scenariot se lite annorlunda ut. Detta illustreras i diagram B35.

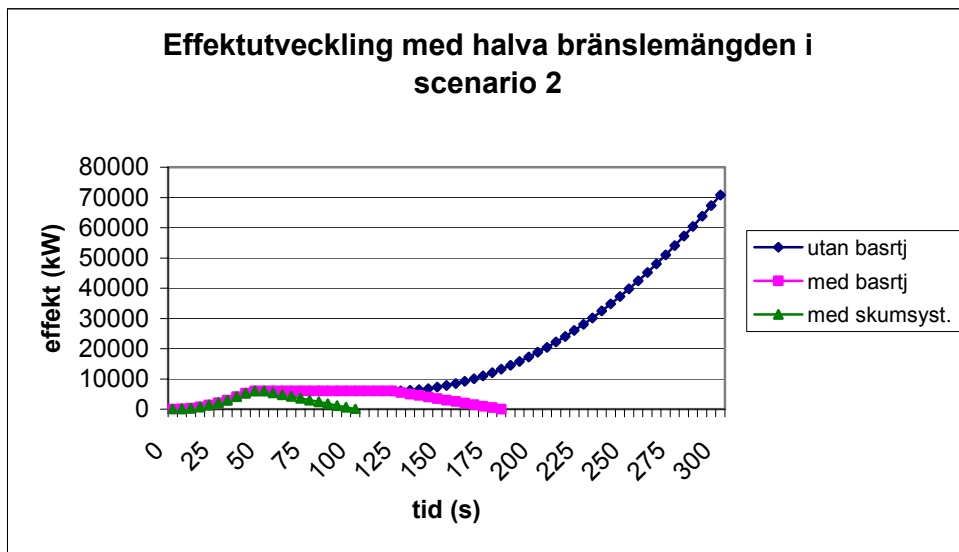


diagram B35: Effektutveckling med halva bränslemängden i scenario 2.

Vid simulering av delscenario 10-12 då flygplatsräddningstjänsten ej kommer visade det sig att skillnaderna inte blir så stora även om bränslemängden är hälften så stor. Detta illustreras i diagram B36 – B38.

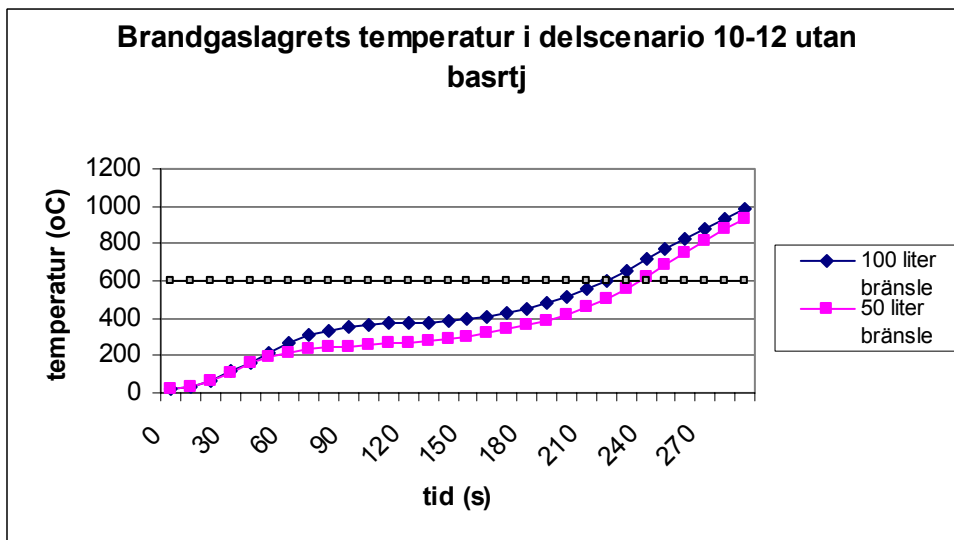


diagram B36: Brandgaslagrets temperatur beroende på hur stor mängd bränsle som finns i pölbranden.

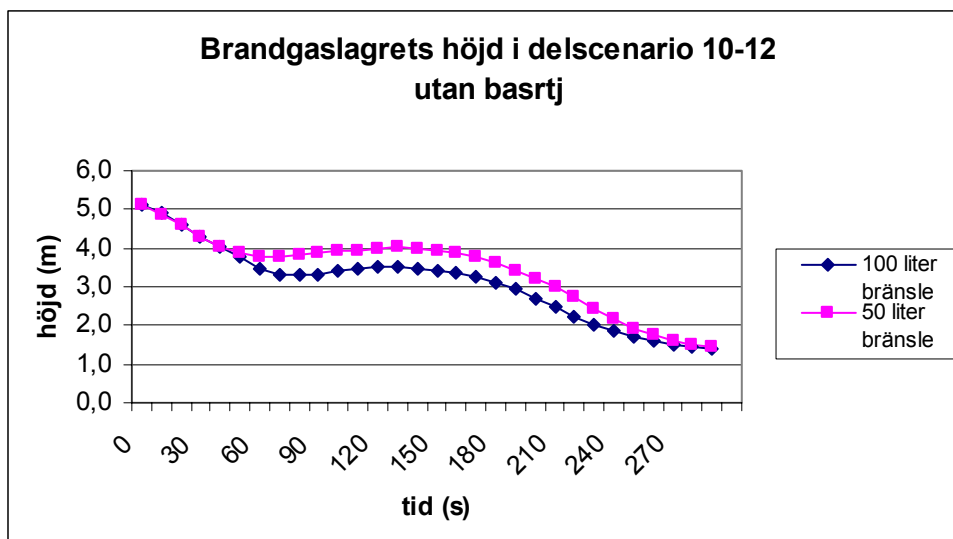


diagram B37: Brandgaslagrets höjd beroende på mängden bränsle i pölbranden.

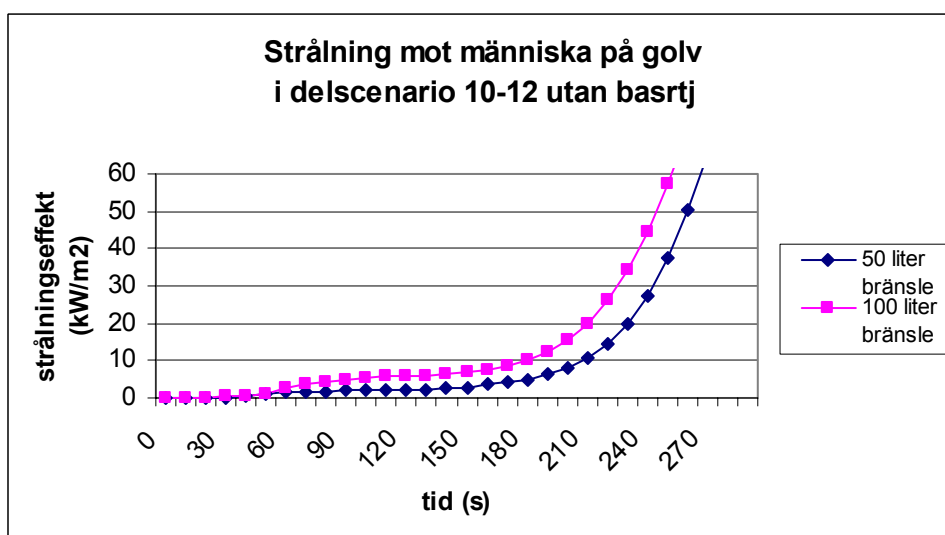
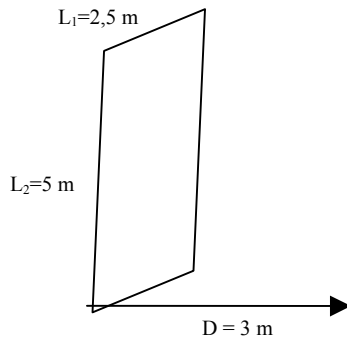


diagram B38: Strålning mot människa på golv i delscenario 10-12 utan flygplatsräddningstjänst.

Diagrammen visar att det tar 20 s längre tid innan övertändning inträffar i ett scenario med hälften så mycket bränsle. Temperaturen i brandgaslagret efter 1 min blir dock runt 100 °C lägre i scenariot med mindre mängd bränsle. Det visar också att brandgaslagret sjunker 0,5 m mindre i ett scenario med hälften så mycket bränsle. Strålningen mot en människa på golvet från det varma brandgaslagret blir ungefär 3 kW/m² (5,5-2,5) lägre i fallet med mindre bränsle. För att kunna säga något om hur en människa på golvet påverkas av värmestrålning måste även strålningen från flaman beräknas.

Strålning från flammans:

$q'' = \Phi \cdot E = \Phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ där Φ = konfigurationsfaktor
 ε = emmissionstal
 $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$ Stefan Boltzmans konstant
 T = Flammans temperatur (K)



Φ bestäms av $S = L_1/L_2$ och $\alpha = (L_1 \cdot L_2)/D^2$

$$S = 2,5 / 5 = 0,5$$

$$\alpha = (2,5 \cdot 5) / 3^2 = 1,4$$

$$\Rightarrow \Phi = 0,144$$

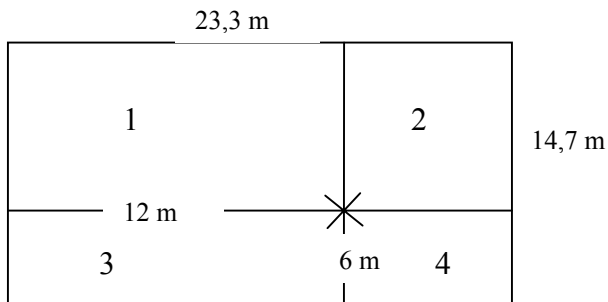
$\varepsilon = 1 - e^{-ad}$
 a = flammans absorptionskoefficient = 0,43 för dieselolja
 d = flammans djup = 2,5 m

$$T = 1000 \text{ }^\circ\text{C} = 1273 \text{ K}$$

$$\Rightarrow \varepsilon = 1 - e^{-0,43 \cdot 2,5} = 0,66$$

$$\Rightarrow q'' = 0,144 \cdot 0,66 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1273^4 = 14151 \text{ W/m}^2 \approx 14 \text{ kW/m}^2$$

Strålningen från det varma brandgaslagret:



$$1. D / L_2 = 4 / 12 = 0,30 \quad D / L_1 = 4 / 8,7 = 0,46 \quad \Rightarrow \Phi_1 = 0,22$$

$$2. D / L_2 = 4 / 11,3 = 0,35 \quad D / L_1 = 4 / 8,7 = 0,46 \quad \Rightarrow \Phi_1 = 0,22$$

$$3. D / L_2 = 4 / 12 = 0,30 \quad D / L_1 = 4 / 6 = 0,6 \quad \Rightarrow \Phi_1 = 0,21$$

$$4. D / L_2 = 4 / 11,3 = 0,31 \quad D / L_1 = 4 / 6 = 0,58 \quad \Rightarrow \Phi_1 = 0,21$$

$$\Rightarrow \Phi_{\text{tot}} = 0,22 + 0,22 + 0,21 + 0,21 = 0,86$$

$$\Rightarrow q'' = \Phi \cdot E = \Phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 = 0,86 \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (300+273)^4 = 5257 \text{ W/m}^2 \approx 5,5 \text{ kW/m}^2$$

Av beräkningen framgår att den mesta strålningspåverkan kommer från flammans. När det gäller strålningen mot en människa på golvet blir skillnaden $27 - 19,5 \approx 8 \text{ kW/m}^2$ om bränslemängden är hälften av den i ursprungsscenarioet. Det är en ganska stor skillnad för en förarplatstekniker som blir kvar på golvet i provhallen. Strålningsskillnaden i fallen med olika bränslemängd betyder att han/hon får mindre brännskador i det fall flygplatsräddningstjänsten kommer och hämtar ut honom/henne. Konsekvensen kommer dock att vara densamma (M3) oavsett om bränslemängden är hälften stor. Om flygplatsräddningstjänsten inte kommer spelar strålningsskillnaden ingen roll för konsekvensen (M4) eftersom övertändning inträffar innan den kommunala räddningstjänsten kommer fram.

Flamtemperatur

Flamtemperaturen har stor betydelse vid beräkning av strålning från flammans, eftersom strålningen är proportionell mot fjärde potensen av flammans temperatur. Temperaturen i flammor från MC 75 varierar beroende på vilket underlag bränslet ligger på. I scenarioet antogs flamtemperaturen vara $1\,000 \text{ }^\circ\text{C}$. Det är en rimligt antagen temperatur, men flamtemperaturen kan även vara $800 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$q'' = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 = 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4 = 75159 \text{ W/m}^2 \approx 75 \text{ kW/m}^2$$

Denna siffra ska jämföras med 149 kW/m^2 som erhöles vid beräkning med flamtemperaturen $1\,000 \text{ }^\circ\text{C}$. Simuleringar i HSLAB har gjorts för att de vilken betydelse skillnaden i strålnings-effekt har på tiden till aluminiumskrovet smälter. Resultatet visas i diagram B39.

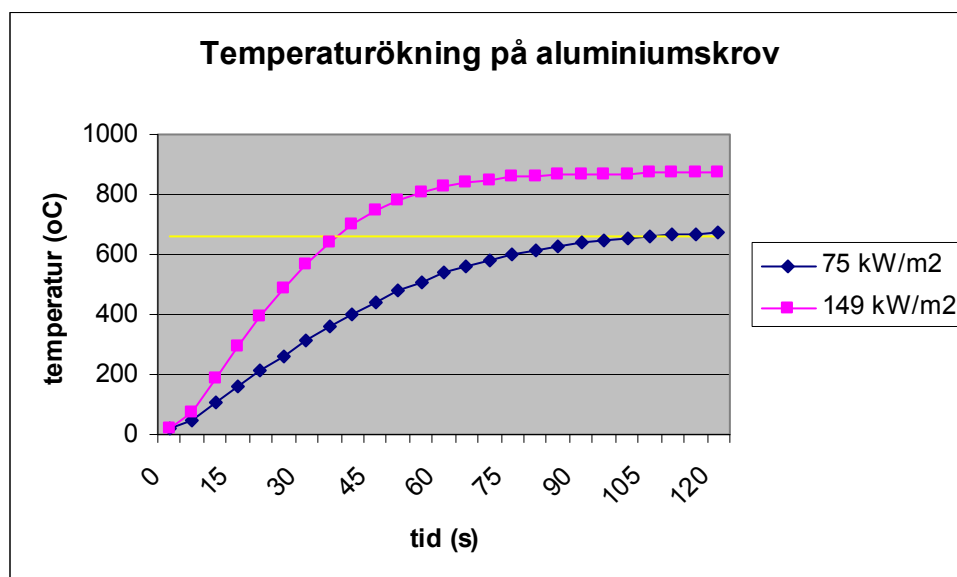


diagram B39: Skillnad på temperaturökning i aluminiumskrov beroende på strålnings effekten.

Resultatet visar att strålnings effekten har en stor inverkan på hur snabbt temperaturen i aluminiumet ökar. Vid strålnings effekten 149 kW/m^2 tar det cirka 40 s för aluminiumet att nå smältpunkten och vid 75 kW/m^2 tar det cirka 100 s.

Fullskaleförsök med J 35 Draken i en pölbrand visade att en kraftig pölbrand orsakar hål på skrovet som snabbt vidgas och efter 90 s började hålen i skrovet bli relativt stora (cirka 1 dm).¹ I scenarioet är den antagna tiden från branden startat till antändning av flygplanet

¹ G. Holmstedt, *Brandförsök med J35 Draken på Nyårsåsens skjutfält den 7 juni 1995*, 1995

120 s. Det tyder på att den antagna tiden till antändning av flygplanskroppen är något högt räknat.

Ett scenario som vore intressant att studera är om antändning av flygplanskroppen sker redan efter 90 s istället för 120 s. Effektutvecklingskurvan för ett sådant scenario visas i diagram B40.

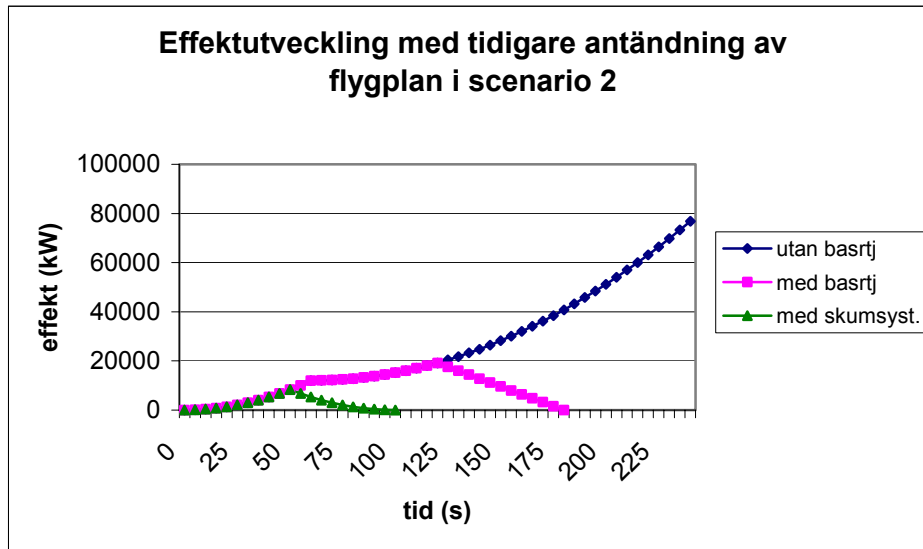


diagram B40: Effektutveckling vid tidigare antändning av flygplan i scenario 2.

Resultaten från simuleringar med HAZARD visas i digram B41 –B43.

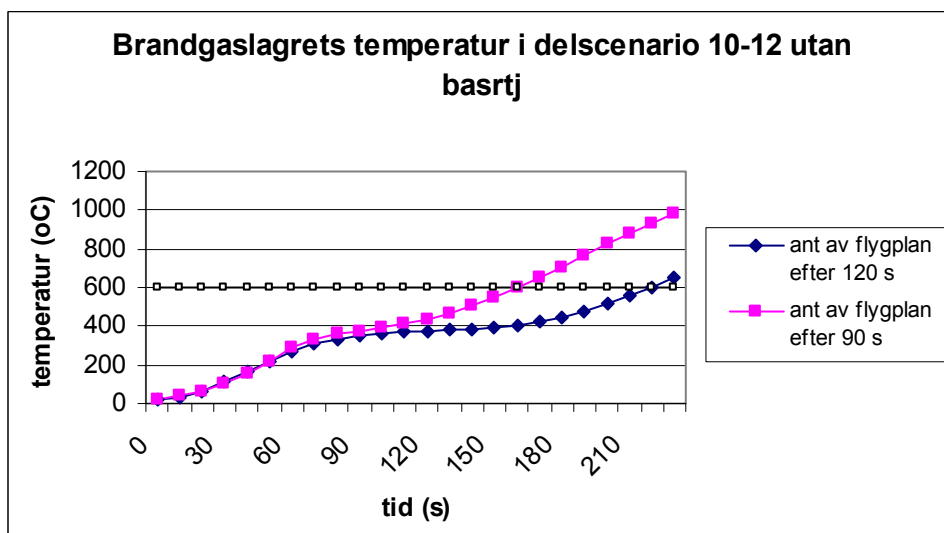


diagram B41: Brandgaslagrets temperatur i delscenario 10-12 utan flygplatsräddningstjänst.

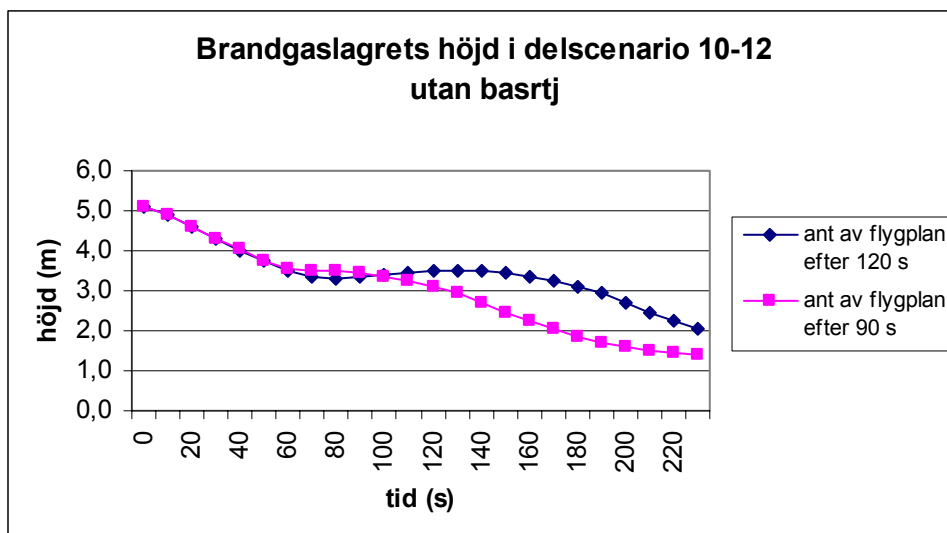


diagram B42: Brandgaslagrets höjd i delscenario 10-12 utan flygplatsräddningstjänst.

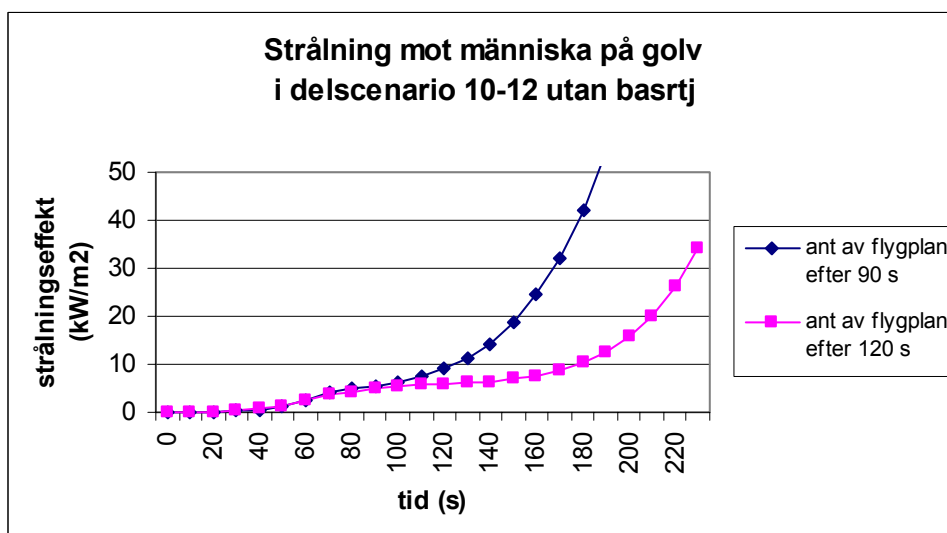


diagram B43: Strålning mot människa på golv i delscenario 10-12 utan flygplatsräddningstjänst.

Resultaten visar att det blir en tydlig skillnad på brandgaslagrets egenskaper om antändning av flygplanet sker snabbare. Resultaten är samma den första minuten men sedan ökar temperaturen snabbare och brandgaslagret sjunker snabbare vid tidigare antändning av flygplanet. Övertändning sker också 1,5 min tidigare dvs. efter 2,5 min. Detta betyder att i de fall förarplatsteknikern kan ta sig ut själv kommer konsekvenserna vara detsamma som i huvudscenariot, men när han/hon blir kvar i provhallen kommer andra konsekvenser att observeras. När det gäller strålning mot en kvarvarande människa ökar strålningen från det varma brandgaslagret snabbt efter 100 s om antändning av flygplanet sker snabbare. Strålning från flaman är densamma som i huvudscenariot dvs. 20 kW/m².

Strålningen mot människan på golvet efter 120 s blir 20 + 10 = 30 kW/m² vilket är en mycket hög strålningsnivå som en människa inte klarar av så lång tid även om ha/hon har skyddsutrustning. Det blir alltså en stor skillnad för en kvarvarande människa om antändning av flygplanet sker efter 90 s eller efter 120 s.

BILAGA 11 – Mänsklig tillförlitlighetsanalys

Utrymnings-situation

Sannolikheten för att en person ska handla fel i olika situationer kan beräknas med hjälp av faktorer som uppskattas med hjälp av tabell B19.¹ Beräkningen sker sedan med

$$\text{ekvationen: } P = \prod_{i=1}^5 K_i .$$

tabell B19: Faktorer för skattning av mänsklig tillförlitlighets enligt TESEO

Typ av aktivitet	K₁
- Enkel, rutinbetonad	0,001
- Rutinbetonad, men kräver uppmärksamhet	0,01
- Ej rutinbetonad	0,1
Momentan stressfaktor (rutinbetonad aktivitet)	K₂
Tillgänglig tid (s)	
- 2	10
- 10	1
- 20	0,5
Momentan stressfaktor (ej rutinbetonad aktivitet)	K₂
Tillgänglig tid (s)	
- 3	10
- 30	1
- 60	0,1
Operatörens förutsättningar för aktuell aktivitet	K₃
- Noga utvald, expert, väl utbildad	0,5
- Genomsnittlig kunskap oh utbildning	1
- Liten kunskap, dålig utbildning	3
Situationens allvarlighetsgrad	K₄
- Allvarligt nödläge	3
- Hotande nödläge	2
- Normal situation	1
Ergonomisk situation	K₅
Bild av arbetsmiljö resp anläggningsstatus	
- Mycket bra	0,7
- Bra	1
- Varierande	3
- Varierande respektive dålig	7
- Dålig	10

I detta arbete är det intressant att se hur stor sannolikheten är att förarplatsteknikern ska handla fel under en utrymnings-situation.

K ₁ :	ej rutinbetonad	0,1
K ₂ :	tillgänglig tid 30 s	1
K ₃ :	genomsnittlig kunskap	1
K ₄ :	allvarligt nödläge	3
K ₅ :	varierande	3

$$P = \prod_{i=1}^5 K_i = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 = 0,1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 3 = 0,9$$

¹ F. Olsson, *Risikanalysmetoder*, 1999

Förberedande av motorprovning

K ₁ :	rutinbetonad	0,001
K ₂ :	tillgänglig tid 20 s	0,5
K ₃ :	välutbildad	0,5
K ₄ :	normal situation	1
K ₅ :	bra	1

$$P = \prod_{i=1}^5 K_i = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 = 0,001 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1 = 2,5 \cdot 10^{-4}$$