

Brandteknisk riskvärdering av Hangar 92 F4 Östersund



Lovisa Hoff
Tor Lofström Johnsson
Kristoffer Roden
Joakim Åberg

Rapport 9377
Lund 2010



LUNDS
UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Brandteknisk riskvärdering av

Hangar 92 F4, Östersund

Lovisa Hoff
Tor Lofström Johnsson
Kristoffer Roden
Joakim Åberg

Lund 2010

Följande rapport är framtagen i undervisningen. Det huvudsakliga syftet har varit träning i problemlösning och metodik. Rapportens slutsatser och beräkningsresultat har inte kvalitetsgranskats i den omfattning som krävs för kvalitetssäkring. Rapporten måste därför användas med stor försiktighet. Den som åberopar resultaten från rapporten i något sammanhang bär själv ansvaret.

Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering

Lunds Tekniska Högskola

Lunds Universitet

Box 118

221 00 Lund

Telefon: 046-222 73 60

Telefax: 046-222 46 12

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

E-postadress: brand@brand.lth.se

Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety

Lund Institute of Technology

Lund University

P.O. Box 118

SE-221 00 Lund, Sweden

Telephone: +46 (46) 222 73 60

Telefax: +46 (46) 222 46

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

E-mail: brand@brand.lth.se

Titel / Title

Brandteknisk riskvärdering av Hangar 92 F4 Östersund

Fire safety evaluation of Hangar 92 F4 Östersund

Rapport / Report

9377

Av / By

Lovisa Hoff

Tor Löfström Johnsson

Kristoffer Roden

Joakim Åberg

Brandingenjörsprogrammet, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2010

Fire Safety Engineering Program, Lund Institute of Technology, 2010

© Copyright Brandteknik och riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2010

Nyckelord

@Risk, Argos, brandgasspridning, brandscenario, brandteknisk riskvärdering, CFD, dimensionerande bränder, effektutveckling, effektutvecklingskurva, FDS, Hangar 92 F4, kritiska förhållanden, känslighetsanalys, osäkerhetsanalys, personsäkerhet, Simulex, utrymning, utrymningssäkerhet.

Keywords

@Risk, Argos, CFD, critical conditions, evacuation, evacuation safety, design fire, FDS, fire modeling, fire safety evaluation, fire scenario, Hangar 92 F4, heat release rate, personal safety, risk uncertainty, risk sensitivity, sensitivity analysis, Simulex, smoke spread, uncertainty analysis.

Språk/Language

Svenska/Swedish

Sammanfattning

Denna rapport är slutresultatet av ett projektarbete i kursen *Brandteknisk riskvärdering VBR054* vid Lunds tekniska högskola vårterminen 2010. Syftet har varit att träna problemlösning och tillämpa kunskaper från tidigare kurser i mening att utvärdera personsäkerheten i händelse av brand, på ett befintligt objekt. Objektet är en byggnad på ett område som tidigare tillhörde flygflottiljen F4 i Östersund. Lokalen som heter *Hangar 92* skall konverteras till civil verksamhet och målet är att skapa samlingslokaler för exempelvis mässor och publika arrangemang.

Byggnaden består av två delar, en del med hangarhallar kallade lokal A-D, och en del med kontorslokaler i tre plan. Rapporten har avgränsats till att enbart omfatta hangardelen då dessa lokaler främst är aktuella för publik användning. Lokalerna har 9 meters takhöjd och en golvyta mellan 292-1940 m².

Tre brandscenarier har tagits fram och analyserats närmare med handberäkningar och datorprogram för att uppskatta hur lång tid som finns till förfogande innan lokalerna måste vara utrymda. För de mindre lokalerna är tiden cirka fyra till fem minuter och för byggnaden som helhet mellan fem till åtta minuter beroende på scenario och brandens placering.

Utrymningstider bedömdes genom simuleringar i datorprogrammet Simulex samt med uppgifter från forskningsförsök och tillgänglig litteratur. För att utrymma hela byggnaden med 1500 personer i lokalerna krävs en tid om cirka 10 minuter från det att branden startat. Den samlade bedömningen blev att lokalerna i sitt nuvarande skick inte uppfyller kraven gällande personsäkerhet vid publik verksamhet. För att förkorta utrymningstiden identifierades ett antal brandskyddstekniska förbättringar och även vissa åtgärder för att öka personsäkerheten generellt. Åtgärderna validerades med nya beräkningar och simuleringar samt med känslighets- och osäkerhetsanalys.

De viktigaste åtgärderna som skall genomföras är:

- Brandlarmet driftsätts och anpassas till den nya verksamheten.
- Utrymningslarmet förändras så att det blir lättolkat.
- Brandgasventilationens funktion säkerställs.
- Dörrar som används för utrymning breddas och förses med nya öppningsanordningar samt att trösklars höjd minimeras.
- Skjutportar mellan lokalerna byts ut eller fixeras permanent i öppet läge.
- Vägledande markeringar för utrymning monteras permanent.
- Nödbelysning installeras som komplement vid strömavbrott.
- Tillfälliga väggar och uppställning av mässmontrar får ej blockera utrymningsvägar.
- Förbud mot förvaring av större mängder emballage, kartonger och liknande lätt brännbara material inomhus .

Om åtgärderna genomförs anser projektgruppen att Hangar 92 kommer att uppfylla säkerhetskraven med avseende på brandskydd för publik verksamhet.

Abstract

This report is the final result of a project in the course *Brandteknisk riskvärdering VBR054* at Lunds University, Faculty of engineering, spring term of 2010. The aim has been to practise problem solving and to apply knowledge from previous courses with the purpose of evaluating the public safety in case of a fire, on an existing object. The object is a building on an area previously belonging to the air force base F4 in Östersund. The building, named *Hangar 92* is now being converted to civilian activities, and the aim is to create an assembly hall for exhibitions and other public arrangements.

The building consists of two parts, one part with hangar halls named hall A-D, and another part with office spaces in three levels. The report has been limited to only comprise the part with the hangar halls, as these are the areas that are of current interest for public use. The halls have a ceiling height of 9 m and a floor area between 292-1940 m².

Three fire scenarios have been constructed and further analyzed with hand calculations and computer programs to estimate how much time is at disposal before the building has to be evacuated. For the smaller halls, the time is about four to five minutes, and for the whole building between five to eight minutes, depending on the scenario and the placement of the fire.

Evacuation times were estimated by simulations in the computer program Simulex, and with data from scientific trials and available literature. It will take approximately ten minutes to evacuate the whole building with 1500 people on the premises. The overall assessment was that the building in its current state does not meet the demands regarding public safety at public arrangements.

To shorten the evacuation time, a number of fire technical improvements was identified, and also some measures that should be taken to increase the public safety in general. The measures were validated with new calculations and simulations, and also with sensitivity- and uncertainty analysis.

The most important measures that must be taken are:

- The fire alarm should be deployed and adjusted to the new operations.
- The evacuation alarm should be changed so that it is more easily interpreted.
- The function of the smoke management is ensured.
- Widen doors used for evacuation, install new opening devices and minimize the heights of thresholds.
- Interior sliding doors should be exchanged or permanently fix in an open position.
- Way leading markers for evacuation should be permanently mounted.
- Emergency lights should be installed as complement at power cuts.
- Temporary walls and exhibition stalls must not block evacuation routes and doors.
- Prohibition on storing large quantities of wrapping, cartons and similar easily flammable materials indoors.

If the measures are taken, the writers are of the opinion that Hangar 92 will meet the safety standards for fire safety for public arrangements.

Förord

Projektgruppen vill rikta det varmaste tack till de personer som varit oss behjälpliga under arbetets gång. Samtliga har varit ett stort stöd och bidragit med väsentlig information, många goda idéer och kloka råd vilket har varit värdefullt för oss.

Karl Fridolf	Handledare, Brandteknik och Riskhantering LTH
Teresia Gustafsson	Kontaktperson Jämtlands Räddningstjänstförbund
Niclas von Essen	Brandingenjör Jämtlands Räddningstjänstförbund
Per Englund	Kontaktperson Vasallen
Lars Jensen	Professor, Installationsteknik LTH
Robert Jönsson	Universitetslektor, Brandteknik och Riskhantering LTH
Ellen Schagerström	För hjälp med engelska översättningar

Nomenklatur

A	Golvarea [m ²]
c _p	Specifik värmekapacitet för luft vid konstant tryck 1,0 [J/(mol*K)]
D	Diameter [m]
D _{ekv}	Ekvivalent diameter [m]
g	Tyngdacceleration 9,81 [m/s ²]
H	Lokalhöjd [m]
L	Medelflamhöjd [m]
\dot{m}''	Massavbrinningshastighet per bränsleyta [kg/(s m ²)]
n	Effektutvecklingens accelerationsexponent = 2 för αt^2 och 0 för konstanta bränder [-]
Q	Frigjord energimängd [kJ]
\dot{Q}	Effektutveckling [kW]
\dot{Q}''_{max}	Brandens maximala effektutveckling per ytenhet bränsle [kW/m ²]
\dot{Q}''_{medel}	Brandens medeleffektutveckling per ytenhet totalyta [kW/m ²]
\dot{q}_r''	Infallande strålningsintensitet [kW/m ²]
RTI	Respons Time Index [(m s) ^{1/2}]
S	Sammanvägning av flammhöjd och avstånd vid strålningsberäkningar [-]
t	Tid [s]
T _a	Omgivningstemperatur 293 [K]
T _f	Flamtemperatur [K]
t _{förberedelse}	Förberedelsetid [s]
t _{förflyttning}	Förflyttningstid [s]
t _g	Tid för brand att nå effekten 1000 kW [s]
t _{kritisk}	Tid till kritiska förhållanden
t _{varseblivning}	Varseblivningstid [s]
z	Brandgaslagrets sluthöjd över golvet [m]
α	Tillväxtkoefficient [kW/s ²]
ϵ	Emissivitet [-]
ΔH_c	Förbränningsentalpi [kJ/kg]
Φ	Synfaktor [-]
ρ_a	Densitet för omgivande luft 1,205 [kg/m ³]
ρ_g	Densitet för brandgaser [kg/m ³]
σ	Stefan-Boltzmanns konstant 5,67·10 ⁻⁸ [W/(m ² K ⁴)]
χ	Förbränningseffektivitet [-]
χ_r	Strålningsandel av effekten [-]

Innehållsförteckning

Sammanfattning	V
Abstract	VI
Förord	VII
Nomenklatur	VIII
1. Inledning.....	1
2. Objektsbeskrivning	3
3. Verksamhetsbeskrivning	6
4. Befintligt brandskydd	10
4.1 Sammanfattning befintligt brandskydd	13
5. Ventilation	14
6. Riskidentifiering av brandscenarier	17
6.1 Riskvärdering och definition av begreppet risk.....	17
6.2 What if-analys.....	17
6.3 Att skatta sannolikhet och konsekvens för brandscenarier	18
6.4 Värsta troliga brandscenarier (worst credible cases)	18
6.5 Riskmatris	22
7. Brandteori och speciella förhållanden rörande brand i Hangar 92.....	23
7.1 Bränders tillväxthastighet.....	23
7.2 Bränders effektutveckling.....	24
7.3 Värmestrålning från bränder	24
7.4 Kritiska förhållanden vid utrymning	25
7.4.1 Siktbarhet	25
7.4.2 Värmestrålning	25
7.4.3 Temperatur	26
7.4.4 Toxicitet	26
7.5 Ansatta gränsvärden för kritiska förhållanden	26
7.6 Rökfyllnadsmodeller och tid till kritiska förhållanden.....	27
7.7 Datormodeller	28
8. Dimensionerande bränder	30
8.1 Brandscenario Mässmonter	31
8.1.1 Stor monterbrand lokal B	31
8.1.2 Liten monterbrand, lokal A.....	33
8.2 Brandscenario Emballage, lokal A	34
8.3 Brandscenario Scen, lokal C.....	35

8.5	Sammanfattning och slutsatser av brandscenarier	36
9.	Teori - Dimensionering av brandskydd	38
10.	Simuleringar i Simulex: förflyttningstiden med befintliga dörrar	40
10.1	Grundinställningar för simuleringar	41
10.2	Brandscenario mässmonter, lokal B	41
10.3	Brandscenario emballage, lokal A	41
10.4	Brandscenario scen, lokal C	42
10.5	Resultat utrymningssimuleringar, befintliga dörrar	42
11.	Utrymningsresultat med avseende på befintligt brandskydd	43
11.1	Brandscenario mässmonter, lokal B	43
11.2	Brandscenario emballage, lokal A	44
11.3	Brandscenario scen, lokal C	44
11.4	Sammanfattning befintligt brandskydd samtliga scenarier	44
12.	Större åtgärdsförslag	45
12.1	Brandlarm	45
12.2	Brandgasventilation	45
12.3	Utrymningslarm	46
12.4	Dörrars bredd och utformning	47
12.5	Vägledande markeringar	48
13.	Utrymningsresultat med avseende på åtgärdsförslag	49
13.1	Invariabler till @Risk	49
13.1.1	Fördelningskurvor	49
13.1.2	Tid till kritiska förhållanden	49
13.1.3	Varseblivningstid	49
13.1.4	Förberedelsetid	50
13.1.5	Förflyttningstid	50
13.2	Brandscenario mässmonter, lokal B	50
13.3	Brandscenario emballage, lokal A	52
13.4	Brandscenario scen, lokal C	53
14.	Osäkerhetsanalys	55
15.	Känslighetsanalys	56
16.	Åtgärder	58
16.1	Åtgärder som skall genomföras enligt analytisk dimensionering	58
16.2	Åtgärder som skall genomföras enligt regelverk BBR kapitel 5 och LSO	60
16.3	Åtgärder som bör genomföras	61

17. Diskussion.....	62
18. Källförteckning.....	65
Bilaga 1. Ritning över lokal A-G.	67
Bilaga 2. Kontrolljournal för brandlarm.....	70
Bilaga 3. Ventilation.....	71
Bilaga 4. Indata för simuleringar i Argos.....	72
Bilaga 5. FDS: Indata och resultat	74
a. Brandscenario mässmonter: liten monterbrand, lokal A	74
b. Brandscenario mässmonter: stor monterbrand, lokal B	80
Bilaga 6. Beräkningar av brandscenarier	86
a. Mässmonter: stor monterbrand, lokal B	86
b. Mässmonter: liten monterbrand, lokal A	91
c. Emballage, lokal A	95
d. Scen, lokal C.....	99
Bilaga 7. Uppställning i Simulex.....	103
Bilaga 8. Resultatgrafer för simuleringar i Argos med brandgasventilation.....	106
Bilaga 9. Beräkningar i @Risk	108
a. Indata till fördelningskurvor.	108
b. Grafer över utrymningsresultat brandscenario mässmonter.....	111
c. Grafer över utrymningsresultat brandscenario emballage.....	117
d. Grafer över utrymningsresultat brandscenario scen.	123
Bilaga 10. Beräkningar av detektionstider med DETACT-QS	129
Bilaga 11. Förflyttningstider i Simulex med utgångar fria eller blockerade	131
Bilaga 12. Förslag på ny brandcellsindelning.....	133

1. Inledning

Denna rapport har framställts som huvudmoment i kursen *Brandteknisk Riskvärdering (VBR054)* vid Lunds tekniska högskola, LTH, vårterminen 2010. Kursen ges under tredje året på brandingenjörsprogrammet och knyter samman färdigheter från tidigare kurser med nya kunskaper i brandsäkerhet och utrymning. Rapporten är slutprodukten av ett projektarbete där fyra studenter besökt en före detta militär hangar som nu ska få nya användningsområden, varav främst publik verksamhet. Objektet består av en flyghangar med tillhörande kontorsdel och ligger på det numera nedlagda flygflottilj F4:s område i Östersund. Lokalerna har i viss mån redan börjat användas till mässor och utställningar. Rapportens målgrupp är objektets fastighetsägare, lokal räddningstjänst samt studenter på brandingenjörsprogrammet. Det bör påpekas att på vissa ställen i rapporten anges exempelvis tider och effektutvecklingar med skenbart hög precision. Anledningen är att beräkningar och resonemang skall vara lätta att följa samt att möjliggöra kontroll av resultaten. I slutsatser och resonemang krig föreslagna åtgärder används ett mer generaliserande språk.

Syfte

Syftet med kursen är att knyta ihop och dra allmänna slutsatser med hjälp av de kunskaper som erhållits från denna kurs samt tidigare kurser på brandingenjörsprogrammet. Detta för att ge projektgruppen insikt i hur dessa kunskaper kan tillämpas för att värdera personsäkerheten vid händelse av brand i en byggnad. Syftet är även att öka ingenjörsmässigheten och förmågan att kunna bygga och analysera modeller.

Mål

Projektarbetet ska utvärdera personsäkerheten gällande utrymning vid brand i lokalerna och ge konkreta förslag på åtgärder i de fall där säkerheten är bristfällig. Lösningarna ska vara praktiskt och ekonomiskt genomförbara samt kunna accepteras av såväl myndigheter som fastighetsägare och hyresgäster.

Metod

Inledningsvis studerades ritningar och information om objektet. Därefter genomfördes ett platsbesök på Hangar 92 i Östersund tillsammans med representanter från fastighetsägaren Vasallen och Jämtlands Räddningstjänstförbund. Under besöket fick projektgruppen en god överblick av objektet och dess komplexitet gällande brandskydd. Lokalernas mått antecknades, larm- och släckanordningar sågs över, synpunkter från kontaktpersoner noterades vilket sedan sammanställdes. Löpande under projektet har litteraturstudier bedrivits i framförallt *Boverkets byggregler*, BBR kap 5 (Boverket, 2008), *Brandskyddshandboken* (Brandteknik, 2005), *Tid för utrymning vid brand* (Frantzich, Tid för utrymning vid brand, 2000) samt *Utrymningsdimensionering* (Boverket, 2006). Litteraturen gav en fördjupad bild av hur brandskyddet för en lokal liknande Hangar 92 kan se ut och vilka krav som ställs på exempelvis utrymningsmöjligheter och larmanordningar. Värsta troliga brandscenarier för lokalerna togs därefter fram, varav tre scenarier med totalt fyra dimensionerande bränder valdes ut med hjälp av en riskanalys. För de fyra bränderna togs effektutvecklingskurvor fram för att kunna beräkna tiden till då kritiska förhållanden uppstår. Brandscenarierna har handberäknats med hjälp av Heskestads korrelation och Tanaka-Yamanas metod samt även simulerats i datorprogrammen Argos och i vissa fall FDS (Fire Dynamic Simulator). Utifrån rådande brandskydd har tider för varseblivning, förberedelse och förflyttning tagits fram vilka tillsammans utgör den totala utrymningstiden. Tiderna

har tagits fram med hjälp av datorprogrammen DETACT-QS och Simulex men även från litteratur. Genom att se till marginalen mellan tid till kritiska förhållanden uppstår och den totala utrymningstiden, fås en indikation om befintligt brandskydd är tillfredsställande. I de fall då marginalen blev nära noll eller mindre än noll, har åtgärder i brandskyddet genomförts så att kritiska förhållanden inte inträffar innan alla personer hunnit utrymma byggnaden. Åtgärdsförslagen har verifierats med ytterligare simuleringar och kontrollerats i en osäkerhets- och känslighetsanalys. Efter dessa analyser presenteras konkreta åtgärder som skall eller bör genomföras. Diskussion om innehållet förs löpande i texten och de viktigaste delarna sammanfattas även i slutet av rapporten.

Avgränsningar

Rapporten behandlar personsäkerhet med avseende på utrymning vid brand, i de delar av objektet där besökare vistas under arrangemangen. De lokaler som berörs är de stora hangarhallarna samt entréer och utgångar, lokal A-G se figur 3 senare i rapporten. Utrymmen som enbart används av mässpersonal och utställare har utelämnats. Personer som befinner sig utanför eller kommit ut ur byggnaden behandlas ej i rapporten.

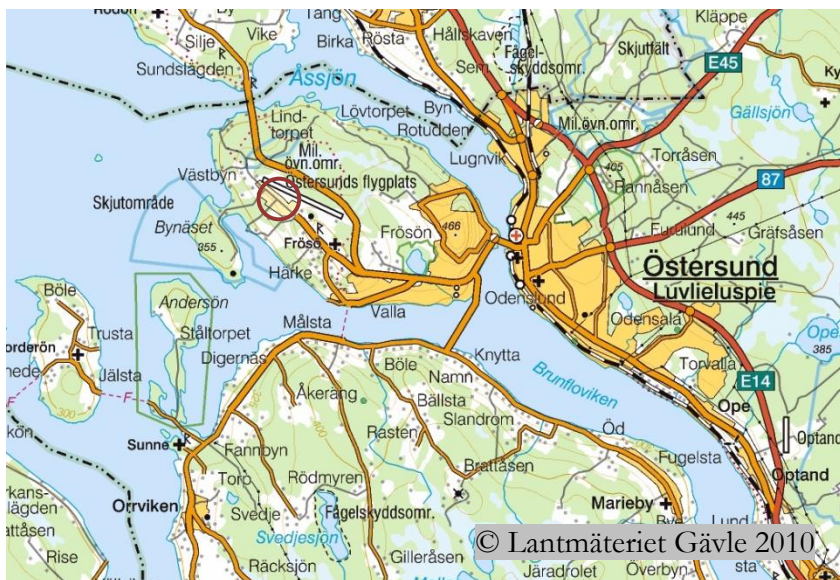
Begränsningar

De fyra varseblivningstiderna, då inget brand- eller utrymningslarm är i drift, har uppskattats då det inte finns någon data tillgänglig gällande tid för varseblivning (Frantzich, 2000).

I känslighetsanalysen har antagits att tillförlitligheten för de tekniska systemen är 100 %. Att system, som exempelvis brandgasventilation och brandlarm, kan falla har ej beaktats då detta skulle medföra en mer komplex känslighetsanalys. Specifik statistik för felfrekvens och tillförlitlighet för de installerade systemen har ej gått att finna. Av tidsskäl har därför inte genomförts någon djupare analys av tillförlitligheten för de tekniska systemen.

2. Objektsbeskrivning

Flygvapnets flygflottilj F4 etablerades 1926 och var verksam mellan åren 1926 till 2005 då flottiljen lades ned. Flottiljen var belägen på Frösön som ligger i nära anslutning till Östersund stad, se figur 1. I och med nedläggningen 2005 övergick ägandet av fastigheterna på området till fastighetsbolaget Vasallen AB, vars uppgift är att omvandla nedlagda regementen till nya verksamheter (Vasallen AB, 2010). Idag vill Vasallen anpassa Hangar 92 så att lokalen kan hyras ut till oberoende verksamheter som till exempel mässor och andra större publika evenemang. Denna rapport visar på de anpassningar som behöver göras med avseende på brandskydd och utrymnings säkerhet.



Figur 1. Översiktsbild av Östersund och Frösön med Hangar 92 markerad med en cirkel (Lantmäteriet, 2010).

Hangar 92

Hangar 92 är belägen nära Östersunds flygplats, se figur 2. Byggnaden användes förr till uppställning av flygplan vid service och underhåll samt till kontor för personal. Byggnaden kan därför delas in i två delar där den ena delen består huvudsakligen av kontor och den andra delen som uppställningsyta för flygplan. Som nämnts ovan, under avgränsningar, behandlar rapporten endast själva hangardelen.

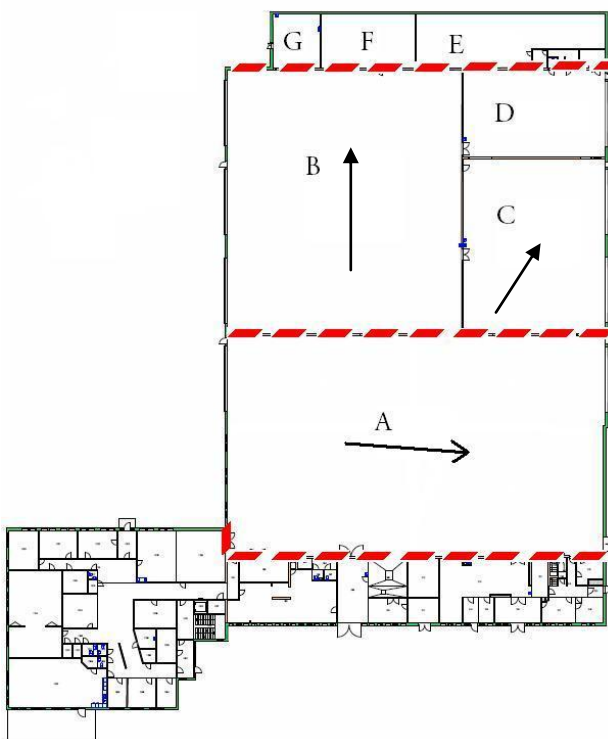


Figur 2. Översiktsbild av Östersunds flygplats med Hangar 92 markerad (Boberg, Jernström & Reuterswärd, 2009).

Hangaren är byggd i betongstomme med bärande betongpelare samt yttervägg av prefabricerade betongelement med plåt som fasadskikt. Stora delar av ytterskalet utgörs av nio motordrivna skjutportar á 13 meters bredd, se bilaga 1. Lokalerna i hangaren benämns hädanefter enligt figur 3 där även nuvarande brandcellsgränser är utritade. Hangaren är indelad i två brandceller, där lokal A utgör en brandcell och lokal B, C och D utgör den andra brandcellen. De mindre lokalerna tillsammans (E, F och G) samt kontorsdelen är brandtekniskt avskilda mot hangardelen. Brandcellerna är avskiljda i brandteknisk klass EI60. I lokalerna finns det många dörrar och portar med olika mått som antingen mynnar till det fria eller som mynnar till angränsande lokaler. Samtliga mått på dörrar och fönster redovisas i bilaga 1.

Lokal A-G

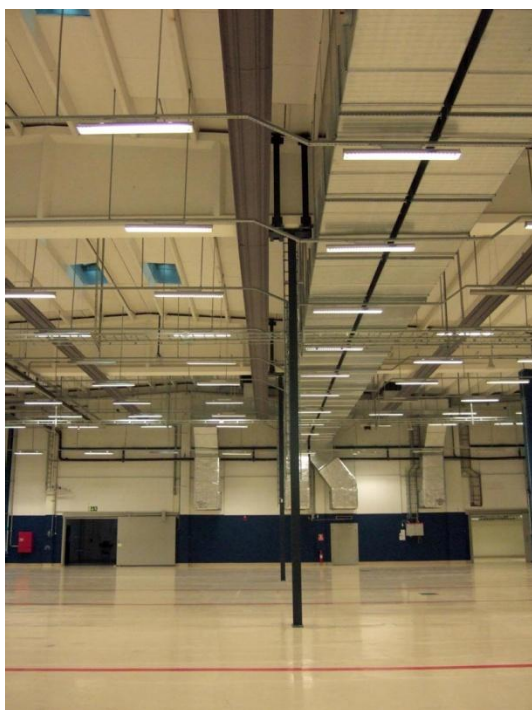
Lokalerna är ordnade i fallande ordning med Lokal A som den största lokalen ned till lokal G som är den minsta. Tabell 1 redovisar lokalernas mått. Efter regementstiden har lokalerna använts till olika verksamheter såsom mässlokal, restaurangdel med sittande under middagar, garderob, samlingslokal med plats för 400 personer eller danslokal och uppträdande. Lokalerna är normalt tomma då det inte pågår någon verksamhet och lös inredning som stolar och bord transporteras till platsen av arrangören. Vid objektsbesöket var alla lokaler så gott som tomma på interiör. Figur 4 visar ett foto taget i lokal A. Till höger i figuren syns det överhäng där kontorsdelen skjuter in i lokal A. Figur 5 och figur 6 är fotografier tagna i lokal B respektive lokal C.



Figur 3. Ritning över Hangar 92 där bokstäverna A-G anger lokaler som behandlas i rapporten, brandceller utritade med streckade linjer. Pilarna anger i vilken riktning fotografiernas i figur 4-6 är tagna.



Figur 4. Fotografi över lokal A. Observera utgången med dörrbredd 1,0 meter till vänster i bild, samt överhäng till höger i bild, foto privat.



Figur 5. Fotografi över lokal B, foto privat.



Figur 6. Fotografi över lokal C, foto privat.

Tabell 1. Mått över lokal A-G. Lokalernas totala volym uppgår till närmare 40,000m³.

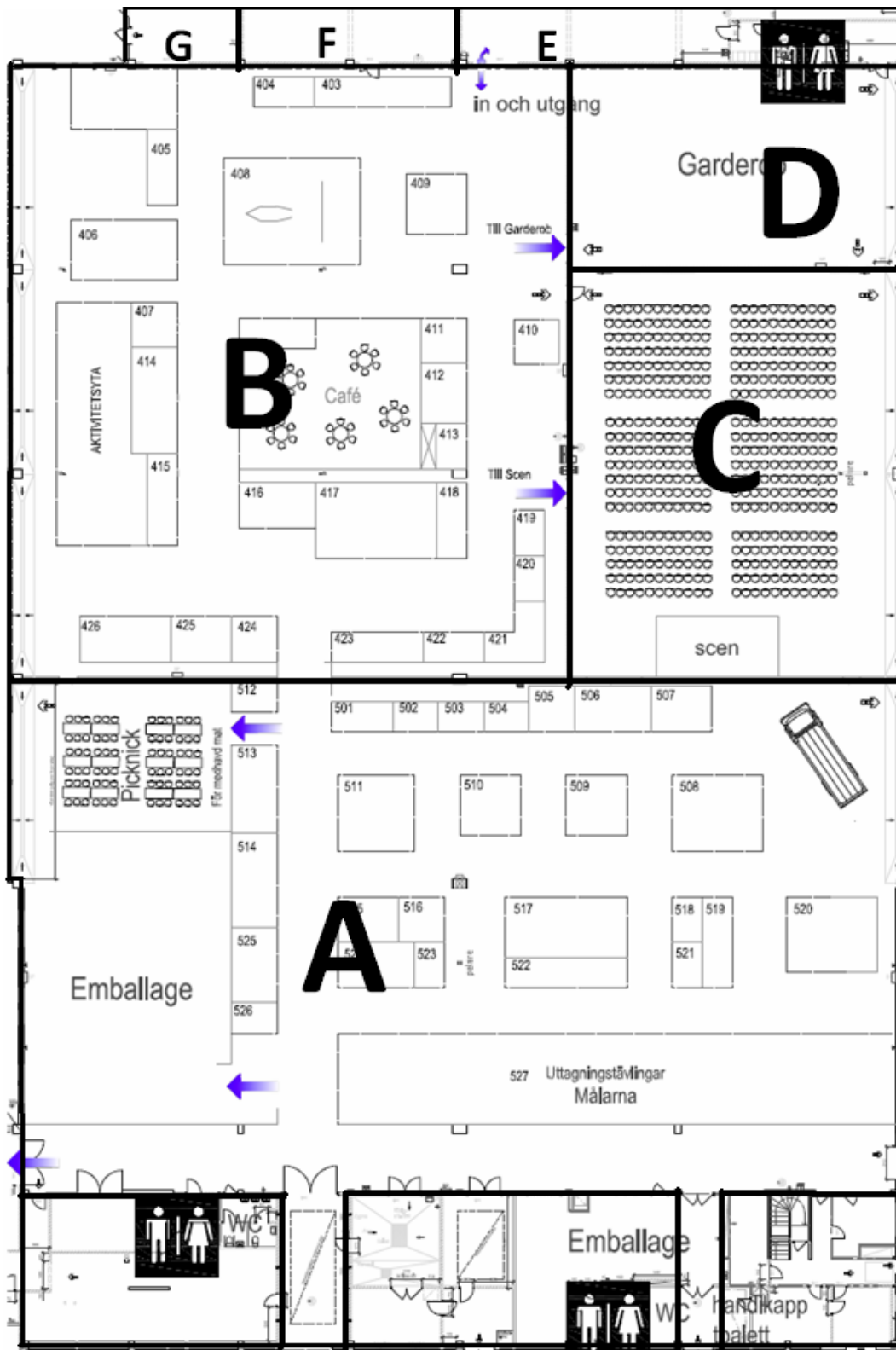
Lokal	Längd [m]	Bredd [m]	Höjd [m]	Area [m]	Volym [m]
A	57,4	33,8*	9	1940	17461
B	40,3	35,6	9	1435	12912
C	26,8	21,8	9	584	5258
D	21,8	13,4	9	292	2629
E	28,9	8,3	3,8	240	912
F	14,4	8,3	3,8	120	454
G	8,3	7,4	3,8	61	233

*33,8 meter motsvarar bredden med överhäng, utan överhäng är bredden 29,3 meter.

3. Verksamhetsbeskrivning

Det huvudsakliga önskemålet från fastighetsägaren Vasallen är att lokalerna utreds för mässverksamhet avseende brandskydd. Verksamheten beror på lokalens storlek och generellt kan sägas att de större lokalerna, A-C, har använts som utställningsyta under mässor. Det har arrangerats flera mässor i lokalerna sedan Vasallen tog över som förvaltare av Hangar 92. Vid dessa mässor har man löst problemet med brandskydd tillfälligt genom att ha personal från räddningstjänsten på plats innan mässa, för att bedöma brandskyddet. De stora skjutportarna mellan lokal A, B och C har då varit öppna, med avsikten att folk ska kunna ta sig ut relativt fort på bekostnad av att hålla brandcellsgränsen intakt. Detta har uppfattats som ett önskemål även för framtiden, då öppna skjutportar gör det lätt för besökarna att gå mellan lokalerna. Vid mässor och liknande är det även lätt hänt att skjutportarna hindras i sin automatiska stängningsfunktion till följd av att mattor, mässmontrar eller likande kommer i kläm.

Den ritning som varit utgångspunkt vid framtagandet av tänkbara brandscenarier, samt varit ritningsunderlag till utrymningssimuleringarna, är uppställningen för den så kallade Noliämässan, se figur 7. Noliämässan är en återkommande mässa och finns i flera städer (Nolia, 2010). I februari år genomfördes mässan i Hangar 92, med temat utbildning och framtid, med uppställning enligt figur 7. Som figuren visar kan en mässa innebära att exempelvis en tillfällig scen eller restaurangdel nyttjas. Uppställningar av dessa typer beaktas i rapporten.



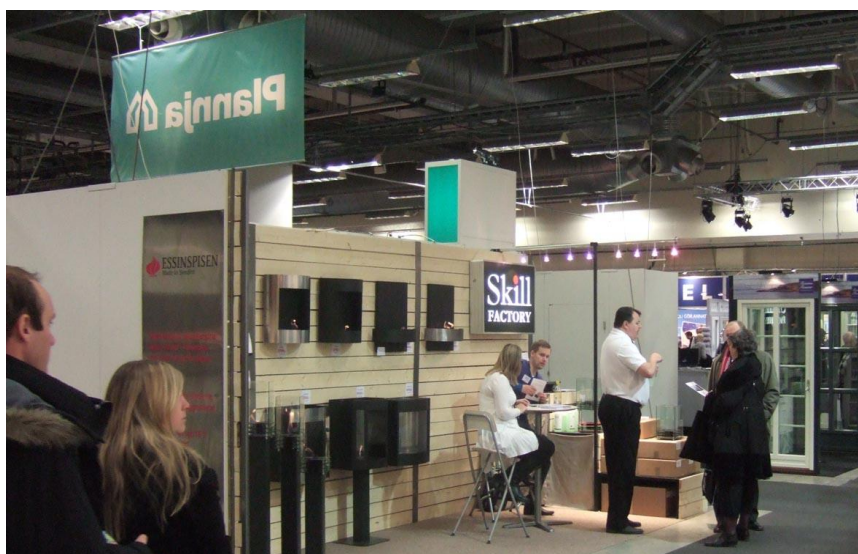
Figur 7. Exempel på uppställning vid mässa, Noliamässan (Nolia, 2010).

Noliamässan är bara ett exempel på tänkbar uppställning vid mässor, men placeringen av monstrar och utrustning tar upp flera av problemen som kan uppstå vid utrymning. Denna rapport bygger på uppställningen från Noliamässan men det bör poängteras att Noliamässan endast är *en* möjlig uppställning vid mässverksamhet. Figur 8-11 visar exempel på hur det kan se ut vid olika mässor.

Det antal personer som kan tänkas befinna sig i lokalerna beror mycket på vilken typ av evenemang det handlar om. Vid föregående mässor i lokalerna har det, enligt kontaktperson¹ på Vasallen, rört sig om tusentals besökare per dag. Enligt kontaktperson på objektet antas det maximalt finnas 1500 personer samtidigt inne i lokalerna.



Figur 8. Exempel på uppställning vid mässor och riskfaktorer markerade (Svenska Mässkonsult Nord AB).



Figur 9. Monter vid hem och byggmässa på Malmö. Observera att öppen eld finns i montern foto privat .

¹ Per Englund, Vasallen, samtal med 2010-02-05



Figur 10. Bild från Malmömässan, många besökare och skarpt ljus gör det svårt att hitta utrymningsskylten, foto privat.



Figur 11. Exempel på uppställning vid utbildningsmässa i Halmstad (Halmstad kommun).

4. Befintligt brandskydd

Under detta avsnitt behandlas det befintliga brandskyddet för Hangar 92. Lokalerna som inryms i Hangar 92 bär minnen från tiden då flygvapnet bedrev verksamhet här. Exempel på detta är brandgasventilation, inomhusbrandposter och lättskumsanläggning. Det råder osäkerhet om de olika systemens funktionsduglighet idag. Vid objektsbesöket erhöles ingen fullgod information anordningarnas skick och i många fall har inga löpande funktionsprov eller besiktningar genomförts. Vilka delar av brandskyddet som kan bli aktuellt att behålla för framtida bruk, utreds närmare under rubrik 12 *Åtgärdsförslag*.

Nedan följer en kort beskrivning av det befintliga brandskyddet och dess ursprungliga funktion. För mer utförlig information hänvisas till byggnadens driftinstruktion (Fortifikationsverket, 2003).

Brandteknisk klass

Nybyggda delar är utförda i lägst brandteknisk klass Br2 enligt gällande byggregler år 2003. Äldre byggnadsdelar är utförda enligt den äldre beteckningen "brandsäker byggnad" vilket idag motsvarar brandteknisk klass Br1 (Fortifikationsverket, 2003). Nybyggda brandcellsgränser mot lokal A-D är utförda i lägst brandteknisk klass EI60 med dörrar i lägst klass EI60-C. Bokstaven C innebär dörrstängare alternativt med uppställningsbeslag styrt av den automatiska brandlarmanläggningen. Äldre brandcellsgränser mot hallar är utförda i den äldre brandtekniska klassen A60 med dörrar i lägst motsvarande klass A 60(s). Detta innebär att väggar och dörrar hindrar en brand att sprida sig från angränsade utrymmen till lokal i minst 60 minuter. Brandcellsgränser som inte gränsar till hallar är utförda i lägst klass EI30 (gränsar till lokal E, F och G). Dörrar eller portar i brandcellsgränser som inte gränsar mot hallar är utförda i lägst klass EI30 alternativt lägst E30-C med skyddsavstånd till utrymmande personer och till brännbart material. För brandcellsgränser se figur 3.

Inomhusbrandposter

Lokalerna A-G innehar tillsammans åtta stycken vattenbrandposter, se figur 12. Varje brandpost uppges ha en kapacitet av 80 liter per minut och förses med vatten från bassäng (110m³). Det är osäkert om bassängen finns kvar idag eller om vattenförsörjning även kan ske från det kommunala vattennätet.

Handbrandsläckare

Handbrandsläckare, av typen pulver och koldioxid och av varierande storlek, finns utplacerade i lokalerna. Handbrandsläckarna var vid objektsbesöket ej kontrollerade.

Lättskumsanordning

Lättskumssystemet är idag nedmonterat. När skumanläggningen var i bruk utlöstes den när två flamdetektorer, två rökdetektorer eller två larmknappar aktiverades samtidigt.



Figur 12. Inomhusbrandpost, Lokal A, foto privat.

Brandgasventilation

Lokal A-D är försedda med brandgasventilation i form av luckor för att förhindra att lättskumaggregaten fick för högt mottryck vid skumbildning men även för att vädra ut brandgaser. Varje lucka är 1 x 2 meter och återfinns i lokal A (20 stycken), lokal B (12 stycken), lokal C (8 stycken) och lokal D (4 stycken).

Brandgasluckorna aktiverades manuellt via tryckknapp eller automatiskt på signal från brandlarmet eller via inbyggt smältbleck. Öppningsmekanismen är en gaskolv som trycker luckan uppåt, se figur 13.

Det är osäkert i vilket skick brandgasventilationen är i dagsläget, då ingen dokumentation över funktionskontroll har påträffats. Lokalernas normala ventilation och dess funktion i händelse av brand behandlas separat under rubrik 5 *Ventilation*.



Figur 13. Brandgaslucka, foto privat.

Sprinkler

Lokal E och F är försedda med sprinkler. Vattensprinkler utlöses av individuellt sprinklerhuvud när de uppvärms till +68°C. Vid objektsbesöket var sprinklersystemet ur funktion. Bassängen som försörjer systemet är samma som till inomhusbrandposterna och det är oklart om den finns kvar idag.

Brandlarm

Byggnaden är försedd med en automatisk analogt brandlarmenläggning som är uppdelad i fyra sektioner. Ett utlöst brandlarm avges på centralapparaten i källaren samt brandförsvarstablå i entrén till kontorsdelen. Larmet är ej vidarekopplat till räddningstjänsten men initierar utrymningslarmet i byggnaden. Brandlarmet var ej i funktion vid objektsbesöket då strömförsörjningen till det var bortkopplad.

Rökdetektorer

Alla lokaler är försedda med punktrökdetektorer. Rökdetektorerna är i dagsläget urkopplade enligt kontrolljournalen, se bilaga 2.

Samplande system

För indikering av brand finns så kallat samplande system i form av aspirerande detektorer i lokal A-D, se figur 14. Dessa detektorer består av en detekteringsenhet med inbyggd sugande fläkt ansluten till ett rörsystem genom vilket luft sugas in från aktuell lokal. Systemet är stort vilket innebär att brandgaserna måste färdas långt genom rör innan de analyseras, vilket innebär en lång detektionstid. Däremot är detektorenheten mycket känslig för rökpartiklar och kan därmed detektera även små bränder. När systemet var inkopplat användes två nivåer av larm vid detektering. Det är oklart om det samplande systemet är i drift i dagsläget. Enligt kontrolljournalen är nivå-två-detektorn bortkopplad i varje enhet, se bilaga 2.



Figur 14. Aspirationsdetektor. Återfinns i lokal A-D. (Fortifikationsverket, 2003)

Flamdetektorer

Förutom rökdetektorer och samplande system var hangarhallarna (lokal A-D) försedda med flamdetektorer. Flamdetektorerna nämns inte i anläggarintyget så det är oklart om de över huvud taget finns kvar.

Larmknappar

I byggnaden finns larmknappar utplacerade för manuell aktivering av brandlarmet. Dessa är dock i vissa fall mycket svåra att upptäcka, se figur 15.

Utrymningslarm

Larmdon finns i lokalerna i form av sirener, ringklocka och blyxtljus.

Utrymningslarmet aktiveras automatiskt av brandlarmet, dock är brandlarmet ur funktion i dagsläget.

Utrymningsvägar

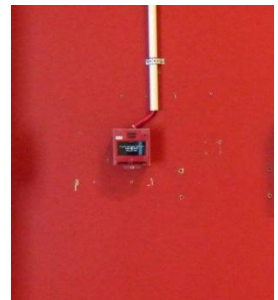
Dörrar i utrymningsvägar finns markerade på utrymningsplaner i byggnaden. De dörrar som finns idag är ej anpassade för publik verksamhet då de är svårforcerade. De är exempelvis tunga och har svårhanterliga öppningsbeslag samt i vissa fall trösklar.

Vägledande markering

Vägledande markering är idag bristfälliga. Vid mässor har temporära vägledande markeringar, såsom utrymningsskyltar, monterats med skarvsladd och utan batteribackup. Vissa efterlysande markeringar finns i golvet men dessa är inte tydliga i sitt budskap och kan förväxlas med markeringar för flygplanen, se figur 16. Det skall enligt dokumentation finnas nödbelysning för utrymningsvägar i lokal A-D som tänds automatiskt vid utlöst brandlarm, men det är osäkert om systemet är i drift.

Räddningstjänstens ingripande

Jämtlands Räddningstjänstförbund har 1 heltidskår, 21deltidskåror samt 20räddningsvårn. Heltidsstationen, som är den närmaste stationen för Hangar 92, ligger i inne i Östersund. Här finns en styrka på 1+5 man dygnet runt. Anspänningstid på 90 sekunder. Vid heltidsstationen finns möjligheter att bilda räddningsstab vid större händelser. Det är cirka en mil från stationen till Hangar 92 och insatstiden (anspänningstid+körtid) 10-20 minuter, enligt räddningstjänstens handlingsprogram².



Figur 15. Larmknapp, foto privat.



Figur 16. Vägledande markering i form av linjer i golvet och utrymningsskylt, foto privat.

² Teresia Gustafsson, Jämtlands Räddningstjänstförbund, samtal med 2010-05-17

4.1 Sammanfattning befintligt brandskydd

Lokalerna har haft ett gediget brandskydd under regementstiden, men idag är stora delar av brandskyddet ur funktion. Systemens status sammanställs i tabell 2. Delar som skall användas för framtida bruk måste genomgå funktionskontroll och regelbundet underhållas enligt gällande regelverk. Vilka delar som blir aktuella att rusta upp och använda avseende publik verksamhet behandlas under rubrik 12 Åtgärdsförslag.

Framkörningstiden för räddningstjänstens är så pass lång att de inte kan förväntas hinna fram för att hjälpa till vid utrymning.

Tabell 2. Sammanställning över status för befintligt brandskydd.

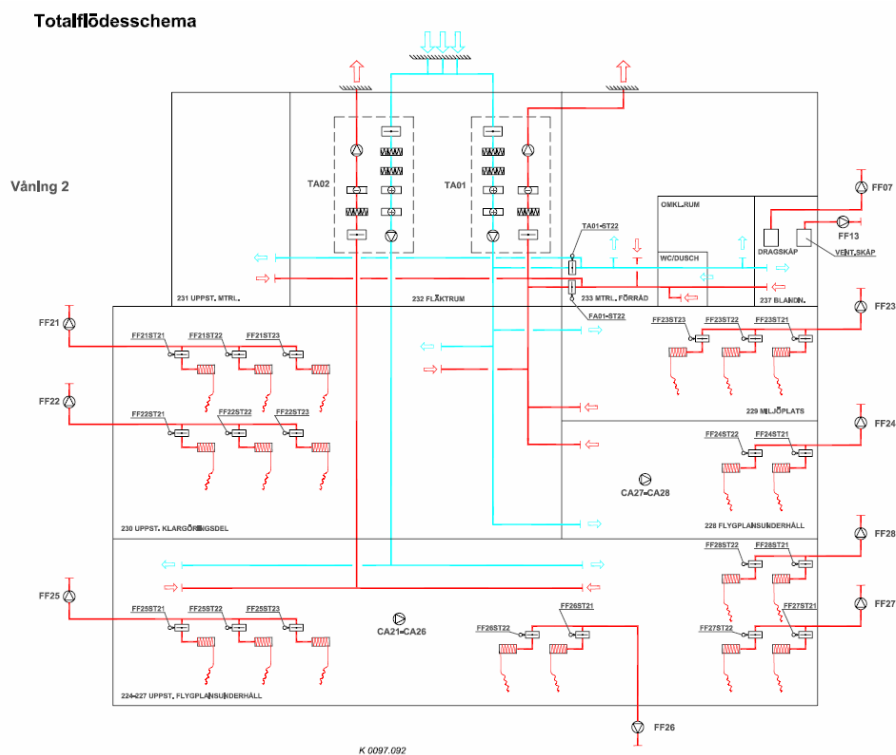
System	Status
Brandceller	Intakta om skjutportar stängda
Inomhusbrandposter	Finns men status oklar
Handbrandsläckare	Finns men ej kontrollerade
Lättskumsanordning	Nedmonterad
Brandgasventilation	Ej i drift
Sprinklersystem	Ej i drift
Brandlarm	Ej i drift
Rökdetektorer	Urkopplade
Samplande system	Oklart
Flamdetektorer	Oklart
Larmknappar	Svåra att identifiera
Utrymningslarm	Ej i drift
Utrymningsvägar	Svårforcerade
Vägledande markering	Bristfällig
Räddningstjänsten	10-20 minuters framkörning

5. Ventilation

Luftbehandlingssystemet för lokalerna består av till och frånluft, så kallat FT-system. Luftflödet fördelas i lokalerna enligt tabell 3. Lokalerna B-E samt G betjäns av LB01(luftbehandlingssystem 01 med aggregatet TA01) medan lokal A betjäns separat av system LB02, se figur 17 samt bilaga 3. Tilluftsdon är placerade vid golvet, se figur 18, medan frånluften tas i takhöjd. Systemet i de undersökta lokalerna består av tre delar enligt den gällande brandcellsindelningen med brandspjäll i LB02. Kontorsdelen försörjs med egna aggregat på annan plats i byggnaden och berörs därför inte närmare i rapporten. En gemensam del finns dock i en gång från lokal A ut till det fria och behandlas i ett eget avsnitt nedan. Enligt de befintliga ritningarna ska det även finnas utsugsfläktar för avgaser på de tidigare uppställningsplatserna för flygplan. Dessa verkar dock vara bortmonterade i dagsläget.

Tabell 3. Sammanställning över ventilationen för lokal A-G.

Lokal/rum	Tilluft [l/s]	Frånluft [l/s]
A	4870	4910
B	760	724
C	1390	1411
D	995	999
E	245	180
G	37	35
Gång från lokal A	150	150



Figur 17. Totalflödesschema över ventilationen.

LB01

Tilluftsaggregat TA01 ger cirka 3,5 m³/s med trycket 160 Pa i tilluftskanalen. För tryckfallet över respektive don har inga värden hittats. Frånluftsaggregatet FA01 suger ut cirka 3,4 m³/s och ger 260 Pa undertryck i frånluftskanalen. Mellan B, C, D och E, G sitter brandspjäll på till- och frånluften vilka stänger på signal från brandlarmet. Vid larm stoppas även fläktarna och reglerspjällen stänger. I frånluftskanalen sitter en rökdetektor monterad som är kopplad till brandlarmet.

LB02

Tilluftsaggregat TA02 ger cirka 4,9 m³/s med trycket 305 Pa i tilluftskanalen. Frånluftsaggregatet suger ut cirka 4,9 m³/s och ger 205 Pa undertryck i avluftskanalen. Vid signal från brandlarmet stoppas fläktarna och reglerspjällen stänger. I tilluftskanalen sitter en rökdetektor monterad som är kopplad till brandlarmet.

Cirkulationsfläktar

I lokal A och C finns sex respektive två cirkulationsfläktar CA21-CA28 monterade i taket. Fläktarnas uppgift är att utjämna temperaturen i lokalen genom att blåsa varm luft från taket ner till golvet och är i drift även när lokalen inte används. Start och stopp sker automatiskt på signal från temperaturgivare i golv och taknivå. Då temperaturdifferensen är större än 5 °C startar systemet. Om portarna är öppna blockeras och stoppas fläktarna.

Ventilation i gång från lokal A ut i det fria

Från lokal A leder en gång genom kontorsdelen, mellan dörr 36 och 37, se bilaga 1. Ritning över ventilationssystemet för denna del, se bilaga 3. Det normala till- och frånluftsflödet i gången är 150 l/s och kommer från LB03 som betjänar markplanet på kontorsdelen. I gången finns även punktutsug som är kopplad till ett fristående system med frånluftfläktar på taket. Fläktarna startas manuellt med strömställare och är normalt sett inte i drift.



Figur 18. Tilluftsdon för ventilation, foto privat.

Ventilationssystemet med avseende på brand

I FT-system sker brandgasspridning lättast via tilluftskanalerna och inträffar när trycket i brandrummet blir stort nog att vända luftflödet (Jensen, 1998). I lokal A är brandgasspridning via ventilationen inte ett problem då lokalen försörjs separat. Om brandlarmet inte fungerar fortsätter ventilationen att arbeta utan att fläktarna stängs av eller att spjällen stänger. Då tilluftsdonen är monterade i golvnivå kommer i första hand frisk luft att spridas mellan lokalerna. Trycket i hallarna vid brand har simulerats med Argos och uppgår som högst till cirka 10 Pa. Detta är ett alltför lågt tryck för att kunna vända luftflödet i tilluftssystemen. Om brand inträffar i en lokal som inte används och där alla dörrar är stängda kommer högre tryck att skapas. Då frånluftsfläktarna stoppas, om brandlarmet fungerar, kan brandgaser spridas via frånluftskanalerna mellan lokalerna B, C och D. Spridning sker i taknivå och efter att utrymningslarmet har aktiverats.



Figur 19. Brandgasspjäll, foto privat.

Brandgasspridning via ventilationen anses inte vara en större fara än den spridning som kommer att ske genom öppna dörrar mellan lokalerna. I händelse av att frånluftssystemet fortsätter arbeta vid brand kommer detta att vädra ut brandgaser och fördröja tiden till kritiska förhållanden. Saneringen av brandgaser är marginell i förhållande till det positiva bidrag systemet ger. Cirkulationsfläktarna kommer att starta då de varma brandgaserna når taket och temperaturgivarna. Fläktarna kommer att motverka bildningen av ett brandgaslager och blanda röken med den friska luften vid golvet. Detta kommer att medföra sämre sikt och risk för inandning av toxiska gaser för personer som befinner sig i lokalen.

Gången från lokal A ut till det fria är ansluten till LB03 och därmed finns risk för brandgasspridning i detta system. Vid brand i lokal A kommer röken först efter lång tid att nå utrymningsvägen och därmed innebära risk för spridning till kontorsdelen. Då detta sker bör även personer som vistas i kontoret blivit medvetna om faran och börjat utrymma, förutsatt att utrymningslarmet fungerar och har anpassats till publik verksamhet. Vid brand i kontorsdelen finns risk för att brandgaser sprids via tilluftssystemet ut i utrymningsvägen. Om kontoret är obemannat eller brandlarmet ej åtgärdats i dessa lokaler kommer gången, och därmed utrymningsvägen, att blockeras av brandgaser innan brandlarmet i lokal A utlöser. Då gången skall vara tom och lokal A i övrigt skiljs från kontorsdelen med en brandcellsgräns anses risken för brandspridning denna väg som liten. Det krävs dock närmare kontroll av tätheten och vissa förändringar i ventilationssystemet.

6. Riskidentifiering av brandscenarier

Under denna rubrik presenteras värsta troliga brandscenarier som kan uppstå i lokalerna. Först introduceras en What if-analys som verktyg till att ta fram scenarierna. Vidare utreds varje brandscenario mer utförligt för att kunna konstruera en riskmatris. Ur riskmatrisen väljs sedan de värsta troliga brandscenarierna ut, med avseende på sannolikhet och konsekvens. Dessa utvalda scenarier studeras ytterligare avseende utrymning vid brand, genom en analys av brandförlopp med hjälp av beräkningar och simuleringar.

6.1 Riskvärdering och definition av begreppet risk

I riskbedömningar görs indelning av riskkällor beroende på om risken är påtvingad eller frivillig (Riskkollegiet, 1993). Frivillig riskkälla innebär exempelvis att det finns en viss acceptans av förhöjd risk hos en arbetstagare som varje dag utsätts för risken på sin arbetsplats men samtidigt frivilligt valt att arbeta där. Påtvingad riskkälla är det omvända förhållandet då en individ inte kan påverka att utsättas för en förhöjd risk, exempelvis bostäder intill industrier. Beroende på om en risk är påtvingad eller frivillig sätts den tolerabla risknivån olika. Tolerabel risknivå är den nivå som kan anses vara acceptabel under normala omständigheter vilket i sig kan ge upphov till debatt eftersom det är en subjektiv bedömning (Riskkollegiet, 1991). I detta fall är den tolerabla risknivån högst subjektiv och ett resultat av projektgruppens bedömning. Risk definieras i denna rapport som sannolikheten för att en oönskad händelse ska inträffa i kombination med värsta troliga konsekvens. Det är svårt att skilja mellan frivilliga och påtvingade risker i de planerade verksamheterna i Hangar 92. Exempel på detta är skillnaden mellan personal och besökare. Kan en högre risk accepteras för de som arbetar på mässan än för besökarna? I denna rapport blir slutsatsen av detta resonemang att det är lämpligt att behandla alla risker som påtvingade.

6.2 What if-analys

För att kunna skatta sannolikhet och konsekvens för vart och ett av brandscenarierna har en modell kallad "Preliminary hazard analysis" använts. Metoden som använts är What if-metoden. Sannolikhet samt konsekvens för vart och ett av brandscenarierna är resultat av diskussioner i gruppen. Underlag till skattningarna för sannolikhet är främst statistik men även kunskaper som erhållits under föregående kurser på brandingenjörsprogrammet. Till dessa skattningar hör kunskap om olika materials brandförlopp, men även om hur ofta bränder av aktuell typ förekommer.

What if-metoden innebär en kvalitativ analys med syftet att identifiera riskkällor och värdera konsekvenser i systemet som väljs att studeras. Metoden går ut på att se över verksamhet, lokal samt varor som hanteras och utifrån detta se till möjliga tänkbara brandscenarier. What if-metoden är följaktligen ett verktyg att se till "vad kan hända om?" (*eng.* What if). Genom denna frågeställning finns ett oändligt antal möjliga brandscenarier, varvid vissa restriktioner krävs. I rapporten behandlas de värsta troliga brandscenarierna. De scenarier som tas upp är långt ifrån alla tänkbara fall men täcker in flera mindre scenarier. Uppenbara katastrofscenarier som störtande flygplan och terrorhandlingar har utelämnats då de faller utanför ramarna för arbetet.

Samtliga brandscenarier åskådliggörs i en riskmatris, se figur 20. Riskmatrisen är ett verktyg i analysen som visar scenariernas kombination av sannolikhet och konsekvens. De brandscenarier som utreds vidare är de fall med högst kombination av sannolikhet och konsekvens.

6.3 Att skatta sannolikhet och konsekvens för brandscenarier

För vart och ett av brandscenarierna skattas sannolikhet och konsekvens. Gällande sannolikhet bygger skattningarna främst på statistiska data, hämtat från informationssystemet IDA från Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB, 2010). Statistiken ger att anlagd brand är den vanligaste brandorsaken i allmän byggnad, sett till hela landet. Anlagd brand skulle kunna vara möjlig brandorsak till vart och ett av brandscenarierna nedan. Risken för anlagd brand är större i obemannade utrymmen, exempelvis förvaringsutrymmen, toaletter och soprum. Statistiken visar att risken för anlagd brand även ökar med verksamheter som lockar mycket barn och ungdomar. Över hälften av alla anlagda bränder i landet är verk av barn och ungdomar under 18 år, vilket innebär att en liten andel av befolkningen står för majoriteten av anlagda bränder (SP). Vidare ger statistiken att "tekniskt fel" orsakar en stor del av bränderna. I denna kategori inryms flera elektriska orsaker till att brand kan uppstå, såsom isolationsfel, glappkontakt, kortslutning och 3-faskontakter (Skellefteå Kommun, 2009). Statistiken från MSB visar att glömd spis, värmeöverföring, rökning och levande ljus ligger i det övre spannet gällande brandorsaker. Det är även mycket vanligt att brandorsaken inte är känd eller inte är angiven (MSB, 2010).

Sannolikheten skattas från 1-5 med hänsyn till ovan nämnd statistik, verksamhet i lokalerna och relativt varandra. Skalan går från 1 (Liten sannolikhet) till 5 (Mycket Sannolik). Gällande skattningarna för konsekvens har hänsyn tagits till hur varje brandscenario påverkar utrymningen ur lokalerna. Denna skattning är följaktligen en bedömning av hur brandförloppet i varje enskilt fall kan tänkas utvecklas samt försvåra utrymning och på så sätt innebära att människor kommer till skada. Skalan för konsekvens går från 1-5, där 1 innebär "Små konsekvenser" och 5 "Katastrofala konsekvenser". Innebörden av dessa termer är lite flytande, men spannet går från "lindriga obehag" med avseende på värdet 1, till flera dödsfall med avseende på siffran 5 (Jacobsson, 2009).

6.4 Värsta troliga brandscenarier (worst credible cases)

Samtliga brandscenarier som tagits fram utgår från den planerade framtida verksamheten. Exempel på detta är bilmässa, utbildningsmässa, båtmässa, dansbandsgala, konserter med mera. Nedan listas de värsta troliga brandscenarierna som kan tänkas uppstå i lokalerna. För alla scenarier gäller att ingen första insats sker med handbrandsläckare, brandfilt eller dylikt, då detta leder till en lägre konsekvens. Gemensamt för alla scenarier är att de kan uppstå till följd av anlagd brand. Detta tas endast upp i de fall där risken anses vara extra stor. I tabell 4 och figur 20 sammanfattas brandscenarierna.

Brandscenario 1. Brand i mässmonter.

Montrar är ett givet inslag vid mässa och innebär att många olika typer av material hanteras. Innehållet i och storlekarna på mässmontrar varierar mycket med vilken utställare och mässa det rör sig om. Monterytan varierar från 2 till 32 m² (Svenska Mässkonsult Nord AB). Under en utbildningsmässa kan det finnas stora mängder papper och broschyrer. Vid andra mässor kan det förekomma textilier samt hantverk och på motormässan kan exempelvis brandfarliga bilvårdsprodukter finnas i sortimentet. På bygg- och husmässor visas ofta gasspisar och etanoleldade eldstäder, se figur 9. Antändning kan ske bland annat genom elfel, levande ljus, varma spotlights eller brännbart material i kontakt med spisplatta. Sannolikheten har skattats till tre på grund av att personerna som betjänar montrarna inte antas ha någon brandskyddsutbildning och de förväntas inte ha uppsikt över sin monter hela tiden. Dessutom är montrarna temporärt uppställda och kan därför inte förväntas uppfylla några brandskyddskriterier. Konsekvensen av att en brand uppstår har

antagits vara fyra då montern kan innehålla mycket olika sorters brännbara material som kan ge en snabb tillväxande brand med en hög effektutveckling. Monternas placering i lokalerna kan försvåra utrymning vilket också höjer konsekvensen.

Sannolikhet = 3

Konsekvens = 4

Brandscenario 2. Brand i emballage i förvaringsutrymme.

Material i form av exempelvis kartonger, papper, plast och cellplast förvarat på sämsta tänkbara ställe med avseende på utrymning. Eftersom branden antas generera en hög effektutveckling och därmed försvåra utrymningen har konsekvensen skattats till fem. Förvaringsutrymmet antas vara obemannat och avskilt från övrig verksamhet. Antändning kan ske bland annat genom elfel i utrustning i anknytning till lokalen, rökning (smygrökning). Det är givet, enligt uppställning se figur 7, att emballage förvaras inne i mässlokalerna. I fallet med anlagd brand är emballageuppställningen ett optimalt utrymme att starta en brand på, då det ligger avskilt från resterande verksamhet och materialet är lättantändligt. Sannolikheten har av denna anledning skattats till tre.

Sannolikhet = 3

Konsekvens = 5

Brandscenario 3. Brand i garderob.

En garderob med 500-1000 jackor innebär en stor mängd lättantändligt material som till exempel dunjackor och syntetmaterial. Om garderoben är obemannad är detta en möjlig plats att anlägga en brand på. Antändning kan även ske bland annat genom osläckt cigarett i jackficka eller på grund av jackor för tätt inpå belysningsarmaturer. Garderoben antas i de flesta fall vara bemannad och därför har sannolikheten att en brand skall uppkomma skattats till två. Då det förvaras en stor mängd brännbart material på en liten yta, kan branden antas få en snabb effektutveckling och därför har konsekvensen skattats till fyra.

Sannolikhet = 2

Konsekvens = 4

Brandscenario 4. Brand i lastbil.

Uppställning av lastbil i mässlokal kan exempelvis vara aktuellt vid bilmässa. Lastbilen antas vara "monteranpassad" med exempelvis lampor och möjlighet att gå in i lastbilen. Brand kan uppstå till följd av att en lampa trillar ner på sätet som består av stoppat material. Att en lastbil finns tillgänglig på mässan förekommer sällan och därför har detta sannolikheten för detta scenario skattats till ett. Konsekvensen skattats till tre då en lastbilsbrand innebär en hög effektutveckling och brandspridning kan ske i lokalen.

Sannolikhet = 1

Konsekvens = 3

Brandscenario 5. Brand i personbil.

Brand i personbil kan vara aktuellt vid bilmässa. Bilarna kan vara utrustade med nitrometan, lustgas eller annat okonventionellt och lättantändligt drivmedel. Antändning kan ske bland annat genom gnistor i elsystemen eller annat fel på bilarna. Sannolikheten skattas till ett, då uppvisningsfordon oftast är nyttillverkade eller välsköta och antas stå parkerade utan att ha motorn i drift.

Konsekvensen skattas till två då branden kommer medföra en lägre effektutveckling än i scenariot med lastbilsbrand.

Sannolikhet = 1

Konsekvens = 2

Brandscenario 6. Brand i scen.

Antändning kan ske bland annat genom elfel i utrustning såsom rökmaskiner, lampor, mixerbord eller högtalarsystem. Antändning kan även ske vid framträdanden med eldslukare, pyrotekniska effekter eller levande ljus på scen. Sannolikheten har i detta scenario antagits till fyra då det finns många olika antändningskällor. Det kan inte tas för givet att tyger, draperier och dylikt på scenen är flamskyddade, vilket i sin tur ökar sannolikheten för att en brand kan inträffa. Konsekvensen i detta scenario har antagits till fyra eftersom scenen ofta blockerar en hel vägg och därmed en eller flera utgångar. Persontätheten i lokalen antas vara hög och utrymningen kommer på så sätt fördröjas.

Sannolikhet = 4

Konsekvens = 4

Brandscenario 7. Brand i lös inredning.

Vid tillställningar som större middagar kan en tillfällig restaurangdel uppföras med bord och stolar samt varmhållningsmateriel. Antändning kan ske bland annat genom levande ljus som antänder duk på bordet eller till följd av rökning. Om folk är berusade kan en högre grad av oaktsamhet inträffa och på så sätt kan en brand starta genom slarv eller lek med tändare. Sannolikheten skattas till två, då detta scenario relativt de övriga, är mindre troligt. Konsekvensen har antagits till tre då persontätheten i lokalen är hög och lös inredning kan försvåra utrymningen.

Sannolikhet = 2

Konsekvens = 3

Brandscenario 8. Brand utanför byggnaden.

Brand som uppstår på utsidan av byggnaden medför risk för spridning in till lokalerna och brandgaser som kommer i närheten av ventilationssystemets friskluftsintag kan sugas in. Ett exempel är ambulerande korvkiosk med gasoltub som är uppställd utanför byggnaden. Antändning kan ske bland annat genom elfel, rökning, eller att gasoltub läcker och brännbara koncentrationer av gasen bildas och antänds. Sannolikheten för detta scenario skattas till två då det är mindre troligt att en brand inträffar i en vagn placerad så nära intill byggnaden. Konsekvensen har skattats till ett då fasaden är i betong och friskluftsintagen till ventilationssystemet är placerade högt upp på ena gaveln av byggnaden.

Sannolikhet = 2

Konsekvens = 1

Brandscenario 9. Brand i ventilationsrum lokal F.

Endast liten mängd brännbart material finns i rummet och antändning sker troligast genom elfel eller överhettning av fläktmotor. Obehöriga personer antas inte ha tillgång till denna lokal och därför har sannolikheten skattats till ett. Då det inte finns mycket brännbart material och ventilationssystemet finns i ett eget rum antas konsekvensen bli ett.

Sannolikhet = 1

Konsekvens = 1

Brandscenario 10. Brand i tillfällig konferensdel med cirka 400 sittplatser.

Brännbart material i form av lös inredning. Antändning kan ske bland annat genom oförsiktighet med tändare. Sannolikheten i detta scenario har skattats till ett, eftersom möjlighet till antändning är begränsad. Konsekvensen har antagits till fyra då persontätheten i lokalen är hög och lös inredning kan försvåra utrymningen.

Sannolikhet = 1

Konsekvens = 4

Tabell 4. Sammanställning brandscenarier.

Scenario	Sannolikhet	Konsekvens
Brandscenario 1	3	4
Brandscenario 2	3	5
Brandscenario 3	2	4
Brandscenario 4	1	3
Brandscenario 5	1	2
Brandscenario 6	4	4
Brandscenario 7	2	3
Brandscenario 8	2	1
Brandscenario 9	1	1
Brandscenario 10	1	4

6.5 Riskmatris

Riskmatrisen visar på tre områden. Det nedre vänstra innebär acceptabla risker, här krävs ingen vidare utredning. Det mellersta området motsvarar det så kallade ALARP-området (As low as reasonably practicable) (Jacobsson, 2009). Inom detta område kan det vara aktuellt med en kostnad/nytta-analys över riskerna men detta utreds inte närmare i denna rapport. Fokus ligger på det övre högra området, vilket visar på risker som ej är tolerabla. Här ger riskmatrisen de tre scenarier som ligger högt med avseende på både sannolikhet och konsekvens. Dessa är brandscenario 1 (mässmonter), brandscenario 2 (emballage) och brandscenario 6 (scen). Dessa tre scenarier utreds vidare som fyra dimensionerande bränder, då scenario 1 kan tänkas utvecklas på två olika sätt. Detta behandlas närmare under rubrik 8 *Dimensionerande bränder*.

Sannolikhet

5					
4				Scenario 6	
3				Scenario 1	Scenario 2
2	Scenario 8		Scenario 7	Scenario 3	
1	Scenario 9	Scenario 5	Scenario 4	Scenario 10	
	1	2	3	4	5

Konsekvens

Figur 20. Riskmatris över brandscenarier. Tre scenarier (1,2,6) i området med oacceptabel hög risk.

7. Brandteori och speciella förhållanden rörande brand i Hangar 92

För att teoretiskt bedöma en lokals brandskydd används så kallade dimensionerade bränder som testas i olika scenarier. Scenariernas syfte är att simulera ett troligt brandförlopp och tider tills kritiska förhållanden uppstår. De kritiska förhållandena kan vara av olika slag men innebär kortfattat att när de inträffar är det inte längre säkert att vistas i lokalen varför utrymning då skall vara avslutad.

Brandscenariernas storlek kan variera från små isolerade bränder i exempelvis papperskorgar till större brandförlopp med många kvadratmeters area. Effektutvecklingen mellan olika bränder kan skilja sig kraftigt, som jämförelse visas några exempel i tabell 5 (Särdqvist, 1993) (Karlsson & Quintiere, 2000).

Tabell 5. Exempel på effektutveckling vid brand beroende på bränsle.

Föremål	Effekt [kW]
Sopsäck	200-500
TV	300-600
Fåtölj	1000-2000
3-sits soffa	2000-3000
Träpallar staplade med höjden 1,2 m	3500
Pallsystem med PET-flaskor i kartonger	30 000 - 40 000

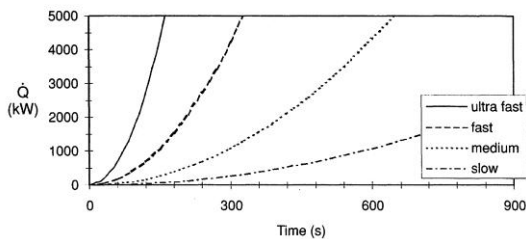
7.1 Bränders tillväxthastighet

Bränders effektutveckling styrs av hur snabbt flammorna sprider sig i de brännbara materialen samt hur stor effekt som utvecklas per ytenhet bränsle då branden fått fäste. Initialt kan flamspridningen antas ske radiellt vilket medför att effektutvecklingen ökar kvadratisk med tiden. Effektutvecklingen vid en viss tidpunkt kan då uttryckas som en αt^2 -kurva, ekvation 1, där α är en tillväxtkoefficient som beror på vilket material som brinner och sätts utifrån schablonvärden eller genomförda experiment. Den energi som frigjorts från brandens start kan räknas ut med integralen av αt^2 -kurvan enligt ekvation 2.

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \quad \text{ekvation 1}$$

$$Q = \int \alpha t^2 dt = \frac{\alpha t^3}{3} \quad \text{ekvation 2}$$

Vanliga värden på α är från 0,003 kW/s² för långsamt tillväxande bränder, i bland annat flamskyddade madrasser, upp till 0,19 kW/s² för exempelvis bränder i plast och kartong, se figur 21 (Karlsson & Quintiere, 2000). Modellen är främst avsedd för brandens initiala skede och beräkning av tid till detektoraktivering.



Figur 21. Tillväxt för olika α -värden, ur Enclosure fire dynamics (Karlsson & Quintiere, 2000).

7.2 Bränders effektutveckling

Det finns endast lite teoretiskt stöd för att en brand ska fortsätta utvecklas enligt en αt^2 -kurva senare i brandförloppet, troligare är att accelerationen avstannar och att effektutvecklingen blir mer konstant (Babrauskas, 1996). I vissa beräkningsmodeller för rökfyllnad krävs dock att brandens effektutveckling antingen är accelererande eller helt konstant, detta behandlas under rubrik 7.6 *Rökfyllnadsmodeller och tid till kritiska förhållanden*. Huruvida accelerationen avstannar eller inte måste därmed bedömas från fall till fall och beror bland annat på bränslets form och sammansättning, rummets geometri samt tillgången på både bränsle och syre i lokalen. Om effektutvecklingen stabiliseras får branden en mer konstant effekt per ytenhet vars storlek mycket beror på tillgången till och placeringen av det brännbara materialet. Om lokalen är stor och bränslet utspritt blir branden inte begränsad av syretillgången utan kan nå en hög effektutveckling. Den mängd syre som behövs för en viss effektutveckling kan beräknas med antagandet att ett kilo syrgas bidrar till frigörelsen av 13,1 MJ energi (Drysdale, 2000). Luft innehåller 23 viktprocent syrgas vilket då kan användas för att uppskatta om luften i lokalen är tillräcklig för förbränningen. I datorprogrammet Argos som använts till rökfyllnadsberäkningar antas att hälften av syrgasen i luften kan förbrukas innan branden hämmas (Husted & Södring, 2003). Om syretillgången eller flödet av luft in i lokalen är låg blir branden så kallad ventilationskontrollerad vilket medför ökad sotbildning och större produktion av toxisk kolmonoxid (Drysdale, 2000). I den minsta lokalen där brand simulerats, lokal C, är halva syremängden tillräcklig för att förbränna motsvarande 2,3 ton trä eller cirka 100 lastpallar. Syretillgången kommer alltså inte att vara en begränsning för brändernas utveckling.

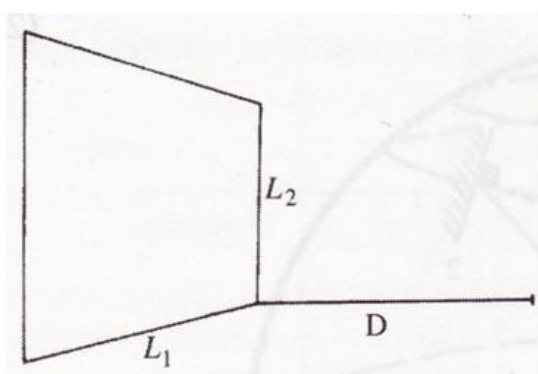
7.3 Värmestrålning från bränder

Flammornas höjd har i denna rapport beräknats med Heskestads flamhöjdskorrelation, ekvation 3, vilken ger medelflamhöjden baserad på brandens effektutveckling (Karlsson & Quintiere, 2000). Medelflamhöjden har även använts för att approximera ett tvärsnitt av flammorna som rektanglar vid beräkning av värmestrålningen. Värmestrålningen från en brand kan utgöra fara för människor i dess närhet samt bidra till antändning av intilliggande föremål. Trä antas kunna antändas med pilotlåga vid en infallande strålningsintensitet på 12,5 kW/m² och spontant vid 20 kW/m². Kartonger och papper antänds spontant vid 17 kW/m² (Babrauskas, 2003). För beräkning av värmestrålningen från en flamma enligt ekvation 4 behövs emissivitet och flamtemperatur. Emissiviteten antas ofta till 1 för sotande flammor och flamtemperaturen varierar beroende på bränslet. Bränder i polystyren ger en varmare flamma än fibrösa bränder så som trämaterial och har en flamtemperatur på cirka 1190 K

(Drysdale, 2000). För beräkningar i denna rapport har antagits en flamtemperatur om 1073 K och med emissiviteten 1 vilket ger en utstrålning från flammorna på 75 kW/m². Strålningsintensiteten mot en punkt avtar med avståndet i kvadrat och den infallande strålningen mot ett objekt kan beräknas med olika modeller. I denna rapport har använts metoden med synfaktorberäkningar enligt figur 22 (Drysdale, 2000). Ingen absorption från vattenånga eller koldioxid i luften har tagits med i beräkningarna.

$$L = 0,235\dot{Q}^{2/5} - 1,02 \quad \text{ekvation 3}$$

$$\dot{q}'' = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_f)^4 \quad \text{ekvation 4}$$



Values of $\phi(\alpha, S)$ for various values of α and S^*

α	$S=1$	$S=0.9$	$S=0.8$	$S=0.7$	$S=0.6$	$S=0.5$	$S=0.4$	$S=0.3$	$S=0.2$	$S=0.1$
2.0	0.178	0.178	0.177	0.175	0.172	0.167	0.161	0.149	0.132	0.102
1.0	0.139	0.138	0.137	0.136	0.133	0.129	0.123	0.113	0.099	0.075
0.9	0.132	0.132	0.131	0.130	0.127	0.123	0.117	0.108	0.094	0.071
0.8	0.125	0.125	0.124	0.122	0.120	0.116	0.111	0.102	0.089	0.067
0.7	0.117	0.116	0.116	0.115	0.112	0.109	0.104	0.096	0.083	0.063
0.6	0.107	0.107	0.106	0.105	0.103	0.100	0.096	0.088	0.077	0.058
0.5	0.097	0.096	0.096	0.095	0.093	0.090	0.086	0.080	0.070	0.053
0.4	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.079	0.075	0.070	0.062	0.048
0.3	0.069	0.068	0.068	0.068	0.067	0.065	0.063	0.059	0.052	0.040
0.2	0.051	0.051	0.050	0.050	0.049	0.048	0.047	0.045	0.040	0.032
0.1	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.027	0.026	0.024	0.021
0.09	0.026	0.026	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.024	0.022	0.019
0.08	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.022	0.022	0.020	0.017
0.07	0.021	0.021	0.021	0.021	0.020	0.020	0.020	0.019	0.018	0.016
0.06	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.017	0.017	0.017	0.016	0.014
0.05	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.014	0.014	0.013
0.04	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.011	0.010
0.03	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.008
0.02	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
0.01	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003

* $S = L_1/L_2$ and $\alpha = (L_1 \times L_2)/D^2$ (see Figure 2.21). From McGuire (1953). Reproduced by permission of The Controller, HMSO. © Crown copyright.

Figur 22. Synfaktor beräknas med hjälp av figur 22.

7.4 Kritiska förhållanden vid utrymning

Kritiska förhållanden är ett begrepp som används för att beskriva att det inte längre kan anses säkert att vistas i en lokal. Eventuell utrymning skall då vara avslutad, annars är risken för personskador oacceptabelt hög. I BBR, kapitel 5, anges tre olika gränsvärden för kritiska förhållanden; siktbarhet, värmestrålning och temperatur (Boverket, 2008). Även toxiska (giftiga) gaser kan utgöra en fara (Brandteknik, 2005). Observera att endast ett av de kritiska gränsvärdena behöver uppnås för att det inte anses vara acceptabelt. Gränsvärdena för respektive förhållande beskrivs nedan.

7.4.1 Siktbarhet

Med siktbarhet menas den sträcka på vilken ett belyst föremål kan ses. Siktsträckan får inte underskrida 10 meter för personer i okänd miljö såsom varuhus och samlingslokaler. Om ett brandgaslager bildas bör detta inte komma närmare golvet än vad som ges av ekvationen $1,6 + (0,1 \times H)$, där H är höjden på lokalen (Boverket, 2008). Detta för att utrymmande inte skall besvärmas av brandgaserna då dessa kan vara både toxiska och optiskt täta (Brandteknik, 2005).

7.4.2 Värmestrålning

Den högsta strålningsintensitet som personer får utsättas för under längre tid är 2,5 kW/m². En strålningsintensitet om maximalt 10 kW/m² kan tillåtas kortvarigt förutsatt att den totala strålningsenergin inte överstiger 60 kJ/m² (Boverket, 2008).

7.4.3 Temperatur

Högsta lufttemperatur som personer får utsättas för är 80°C oavsett var de befinner sig i byggnaden (Boverket, 2008).

7.4.4 Toxicitet

Vid förbränning bildas gaser som kan vara mer eller mindre giftiga beroende bland annat på vad som brinner och under vilka förhållanden. Förutom koldioxid, CO₂, och vatten bildas ofta kolmonoxid, CO, och vid förbränning av vissa plaster saltsyra, HCL. Om branden pågår tillräckligt länge kommer även syrehalten i rummet att sjunka vilket kan leda till kvävning om koncentrationen understiger 15 %. Koncentrationen av CO får inte överstiga 0,2 % för att utrymning ska kunna ske säkert. Toxicitet är svårt att beräkna och ofta antas att kritiska förhållanden på grund av toxicitet uppstår samtidigt som brandgaslagret når en kritisk höjd över golvet (Brandteknik, 2005).

7.5 Ansatta gränsvärden för kritiska förhållanden

Rapporten avgränsas till att främst se till gränsvärden för siktbarhet vid beräkning av tid för kritiska förhållanden. Ansatta värden sammanfattas i tabell 6. Värmestrålningen från brandgaslagret visar sig vid överslagsberäkningar och datorsimuleringar bli så låg att den inte behöver beaktas, det samma gäller för lufttemperaturen. Detta kommer sig av att lokalernas stora volym. Brandgasernas som samlas i taket kyls av och får en relativt låg temperatur, därmed blir strålningsintensiteten låg. För att ge en strålning på 2,5 kW/m² måste brandgasernas temperatur vara cirka 175-200 °C, vilket inte uppnås förrän långt in i brandförloppet. Den maximala tiden vid denna strålning är cirka 10 minuter (Brandteknik, 2005) vilket är längre tid än vad som krävs för att fylla lokalerna med rök. Lokala kritiska förhållanden på grund av strålning inträffar dock i brandhårdens direkta närhet, exempelvis vid utrymning förbi brinnande mässmontrar. Utifrån ritningar har gångarna antagits vara 2,5 meter breda vilket ger en passagetiden på cirka 8 sekunder och därmed en högsta tillåtna strålningsintensitet på 7,5 kW/m² (Brandteknik, 2005). Som jämförelse kan nämnas att smärta i huden uppstår vid exponering för 6,4 kW/m² i 8 sekunder (Drysdale, 2000). Som gränsvärde för lufttemperaturen i de nedre delarna av lokalen där människor vistas ansattes 80 °C som högsta temperatur i enlighet med BBR.

För siktbarhet i den brandbelastade lokalen ansattes brandgaslagrets lägsta höjd till 3,2 meter över golvet istället för de 2,5 meter som erhålls med ekvationen i BBR. De största portarna som leder mellan lokalerna är 3,2 meter höga och vägledande markeringar som placeras ovanför dessa måste vara siktbara. Ett brandgaslager lägre än 3,2 meter kommer även innebära att brandgasspridning sker mellan lokalerna. Kritiska förhållanden på grund av toxicitet antas sammanfalla med brandgaslagrets höjd. När så sker bildas en balkongspillplym i porten vilken suger in stora mängder luft i brandgaserna och kyler ned dem. Detta kan göra att brandgaserna som strömmar in i den angränsande lokalen kan bli så pass nedkylda att de sjunker mot golvet och försämrar siktbarheten.

Tabell 6. Sammanställning över när kritiska förhållanden inträffar i Hangar 92.

Kritisk parameter	Gränsvärde
Siktbarhet	10 meter
Värmestrålning	2,5/7,5 kW/m ²
Temperatur	80°C
Brandgaslagrets höjd över golvet	3,2 meter

7.6 Rökfyllnadsmodeller och tid till kritiska förhållanden

Lokalerna A-G har en enkel geometri men är mycket stora till volymen. Detta medför problem vid beräkning av tider till kritiska förhållanden och bränders utveckling. De stora vägg- och takytorna medför att brandgaserna kan kylas av och sjunka mot golvet. Den så kallade transporttiden, det vill säga tiden från att rök börjar stiga från en brand fram till dess att den når rökdetektorer, kan bli betydande vilket fördröjer aktiveringen av utrymningslarmet. Det finns flera hand- och datamodeller för beräkning av rökfyllnad men osäkerhet råder om de är validerade för så stora volymer och takhöjder som finns i Hangar 92. Modellerna kan även skilja sig åt beroende på exempelvis vilken form av bränsle som använts vid försöken samt hur begreppet "rök" har definierats. Av denna anledning har flera modeller använts och resultaten jämförts. Rökfyllnadsmodellerna ställer även olika krav på hur avancerade brandförlopp som kan användas. För handberäkningar är konstanta eller enkelt accelererande bränder mest lämpliga. I datorprogram kan mer komplicerade förlopp analyseras men risken finns att modellen då kräver för stor datorkraft för att kunna beräknas inom en rimlig tid. Resultaten mellan handberäkningar och datormodeller blir även svåra att jämföra om bränderna skiljer sig för mycket åt. Av denna anledning har brändernas maximala effektutveckling ansatts högt då stora lokaler medför lång rökfyllnadstid och därmed höga effekter enligt α^2 -acceleration. För varje brandscenario redovisas den effektutveckling som branden har vid tid för kritiska förhållanden. Mer avancerade brandförlopp med spridning mellan olika inredningsdetaljer och material i lokalen riskerar även att blir för specifika. Verksamheten i Hangar 92 kan variera och med denna de brännbara material som finns i lokalen. Av denna anledning har de dimensionerande bränderna generaliserats och gjorts relativt enkla medan rökfyllnadsmodellerna analyserats närmare. Av beräkningsskäl har lokalerna approximerats som ett rätblock utan bjälkar och hinder i taket. Lokal A har beräknats utan den korridorliknande del, kallad överhäng i figur 4, som ligger under de utstickande kontorslokalerna.

Handberäkningar har genomförts dels med Tanaka-Yamanas metod (Tanaka & Yamana, 1985), dels med Heskestads korrelation omskriven till metersystemet (NFPA, 2009). Beräkningsgången i Tanaka-Yamanas metod är att först gissa en densitet på brandgaserna för att beräkna faktorn "k" med ekvation 5. Därefter används ekvation 6 för att beräkna tiden tills brandgaserna når en viss höjd över golvet. När tiden är uträknad bestäms genom beräkning av energibalansen brandgasernas densitet på nytt. Genom iteration erhålls den tid där den första och den andra uträkningen av densiteten ger lika resultat. Modellen bygger på adiabatiska förhållanden, vilket medför att all energi som frigörs från branden går åt till att värma upp brandgaserna. Temperaturen på dessa kommer att bli grovt överskattade, särskilt vid längre brandförlopp (Karlsson & Quintiere, 2000). Sluttemperaturen kan dock användas som en indikation på om strålningen från brandgaserna närmar sig höga nivåer.

$$k = \frac{0,21}{\rho_a} \left(\frac{\rho_a^2 \cdot g}{c_p \cdot T_a} \right)^{1/3} \quad \text{ekvation 5}$$

$$t = \left[\left(z^{-2/3} - \frac{1}{H^{2/3}} \right) \cdot \frac{A \cdot (n+3)}{2 \cdot k \cdot \alpha^{1/3}} \right]^{\frac{1}{1+3/n}} \quad \text{ekvation 6}$$

Heskestads korrelationer är enklare med endast en beräkning att genomföra och lämpar sig därför för analytiska resonemang och simuleringar. Korrelationerna bygger på försök i större lokaler än de aktuella och med bränder på upp till 8 MW. För konstanta eller kvadratisk accelererande bränder används ekvation 7 respektive ekvation 8. Kravet är att förhållandet $golvarea/takhöjd^2 < 14$ respektive < 23 . För konstanta bränder är därmed lokalernas golvyta för stora i förhållande till takhöjden men modellen används ändå enligt tidigare resonemang.

$$t = \frac{A}{\dot{Q}^{1/3} H^{2/3}} \cdot e^{[(1,11 - \frac{z}{H}) / 0,28]} \quad \text{ekvation 7}$$

$$t = \left(\frac{0,91 \cdot H}{z}\right)^{1/1,45} \cdot \frac{t_g^{0,4} A^{0,6}}{H^{0,4}} \quad \text{ekvation 8}$$

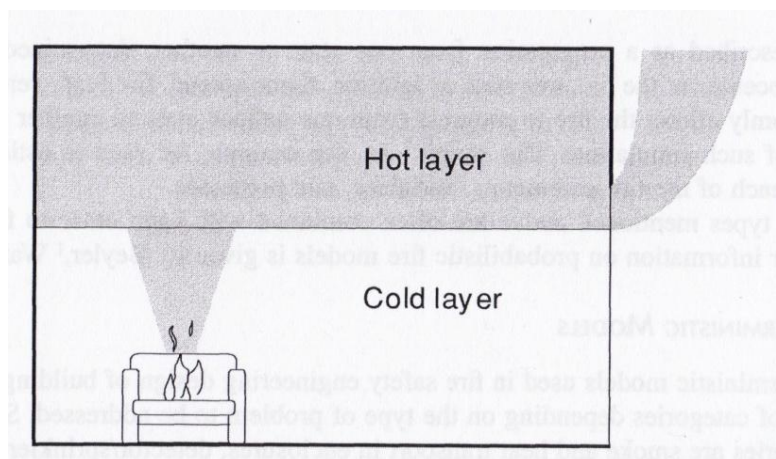
Då brandgaserna når en höjd av 3,2 meter över golvet kommer de att strömma ut genom de öppna portarna till de angränsande lokalerna. I den brandbelastade lokalen går då rökfyllnaden långsammare och blir svårare att beräkna. Detta orsakar även en form av så kallad balkongspillplym vilken suger in stora mängder omgivande luft, se figur 23 (Harrison & Spearpoint, 2006). Även om väggen begränsar insuget kommer brandgaserna som redan kylts mot taket och väggarna att kylas ytterligare när mer kall luft sugas in. Detta kan innebära att brandgaserna inte stiger mot taket utan istället sjunker mot golvet där utrymmande personer kan vara samlade i kö. Hur toxiska och täta brandgaserna blir är svårt att bedöma och beror på det material som brinner. För handberäkningsmodellerna antas därför kritiska förhållanden inträffa då brandgaserna sprids från en lokal till en annan, det vill säga vid höjden 3,2 meter.



Figur 23. Balkongspillplym (Harrison & Spearpoint, 2006)

7.7 Datormodeller

Datormodeller kan delas upp i enklare två-zons och mer avancerade CFD-modeller. I tvåzonsmodellerna anses luften vara skiktad i två zoner inom vilka det råder homogena förhållanden. Den undre zonen består av ren luft, den övre zonen av brandgaser och gränsen däremellan är knivskarp. Masstransporten från den rena zonen till brandgaserna sker genom plymen som bildas av branden, se figur 24. Transporten antas ske

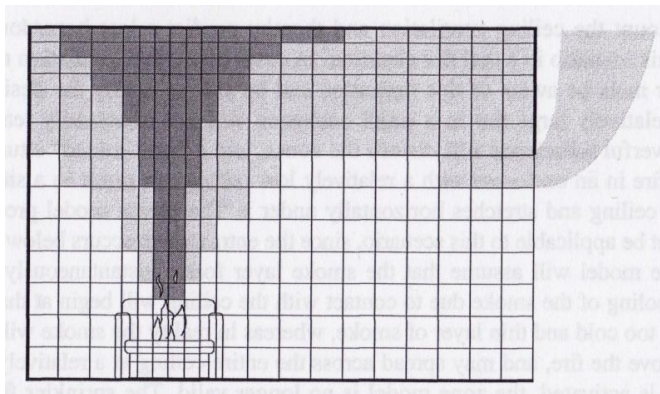


Figur 24. Bild över tvåzonsmodell (Karlsson & Quintiere, 2000).

omedelbart och tar ej hänsyn till den tid som går innan brandgaserna når taket. För beräkning av tvåzons modeller har programvaran Argos version 5.483.400 använts och beräkningarna redovisas närmare i bilaga 4. Det bör beaktas att tvåzonsmodeller kan vara ogiltiga för stora volymer då det

inte alltid bildas någon tydlig skiktning mellan brandgaserna och omgivningsluften. Vid små bränder med låg effektutveckling, exempelvis glödbränder, antas röken blandas homogent i lokalen och leda till en gradvis försämrad sikt. Detta kan även inträffa då brandgaser sprids från en lokal till en annan, i detta fall då brandgaserna når ner till 3,2 meter över golvet. I resultatgraferna från Argos syns detta som att sikten försämras i stort sett linjärt men att brandgaslagrets höjd fortfarande är i taknivå. Därför har i vissa fall en CFD-modell använts i ett av scenarierna för att kontrollera resultaten från tvåzonsmodellerna och handberäkningarna.

CFD-modeller (Computational Fluid Dynamics) innebär att rumsvolymen delas in i många små kontrollvolymen i form av celler, se figur 25. För varje cell löses sedan på numerisk väg kontinuitetsekvationerna för massa, rörelsemängd, energi och kemisk sammansättning. Huruvida resultatet från simuleringar i CFD stämmer överens med verkligheten beror i stor grad på hur bra användaren kan beskriva brandproblemet i programmet. Men det bör beaktas att alla CFD-modeller är som andra datorprogram, modeller av verkligheten. Det vill säga att även om användaren beskriver brandproblemet perfekt så använder programmen förenklade modeller av förbränning, turbulens med mera vilket påverkar resultatet från simuleringen. Positivt med CFD-modeller är att de kan användas på olika stora volymer och komplicerade geometrier. Nackdelen är att simuleringar på stora lokaler och bränder med hög effektutveckling blir mycket tidskrävande. CFD-simuleringar har av denna anledning bara använts där det ansetts befogat.



Figur 25. Principskiss över kontrollvolymen i CFD (Karlsson & Quintiere, 2000).

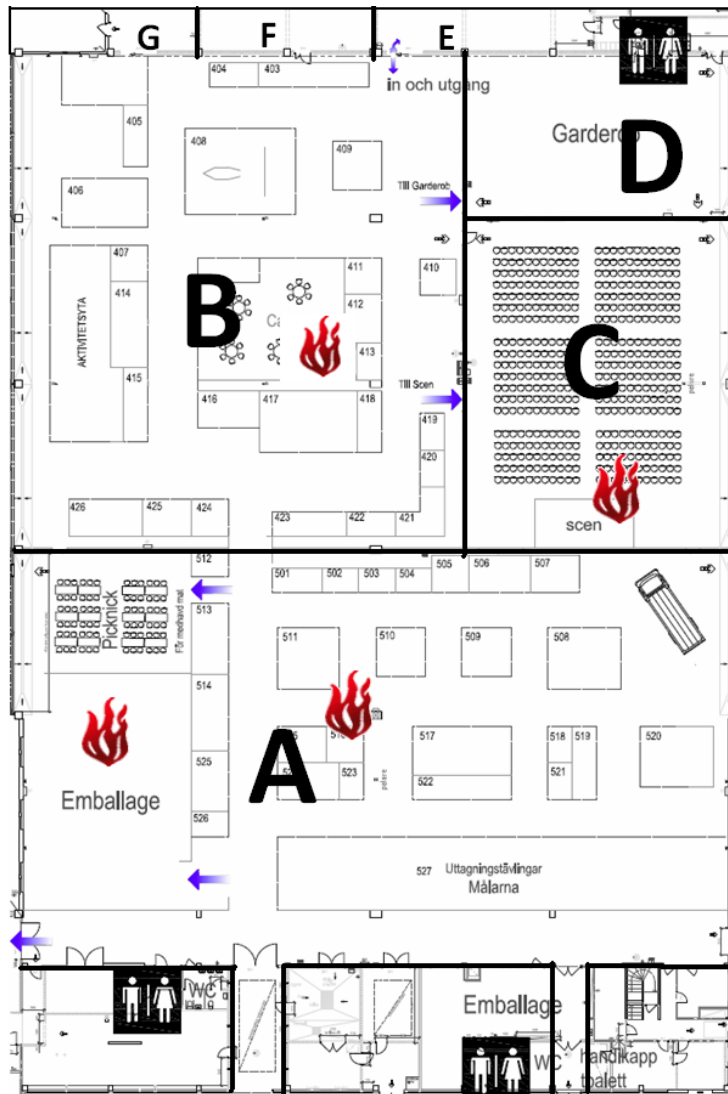
För modellering av bränder har datorprogrammet FDS (Fire Dynamic Simulator) version 5 använts. Det är ett program som löser kontinuitetsekvationerna transient vilket innebär att lösningarna beräknas för små kvasistatiska tidsintervall (McGrattan et al., 2007). Två bränder har simulerats i FDS, dels stor monterbrand i lokal B och dels liten monterbrand i lokal A. För varje brand har två olika simuleringar gjorts. Detta för att verifiera rutnätets oberoende, det vill säga kontrollera att cellernas storlek inte påverkar utdata. Indatafil för simulering av lokalerna bifogas i bilaga 5.

Utdata som användes från simuleringarna var temperatur samt brandgaslagrets höjd i lokalerna och presenteras under respektive brandscenario.

8. Dimensionerande bränder

Tre brandscenarier har valts ut till dimensionerande bränder för byggnaden, varav ett scenario behandlas på två olika sätt vilket ger totalt fyra fall att utreda vidare. I analysen av de fyra fallen presenteras en beskrivning av brandförloppet, där brandens olika faser såsom antändning, förbrinntid, tillväxt och vidare förlopp studeras. Beräkningar för de enskilda scenarierna återfinns i bilaga 6.

Brandscenarierna utgår från uppställningen enligt figur 26.



Figur 26. Ritning över mässlokal. Brandkälla för de tre scenarierna (fyra fall) utmarkerade. (Nolia, 2010)

8.1 Brandscenario Mässmonter

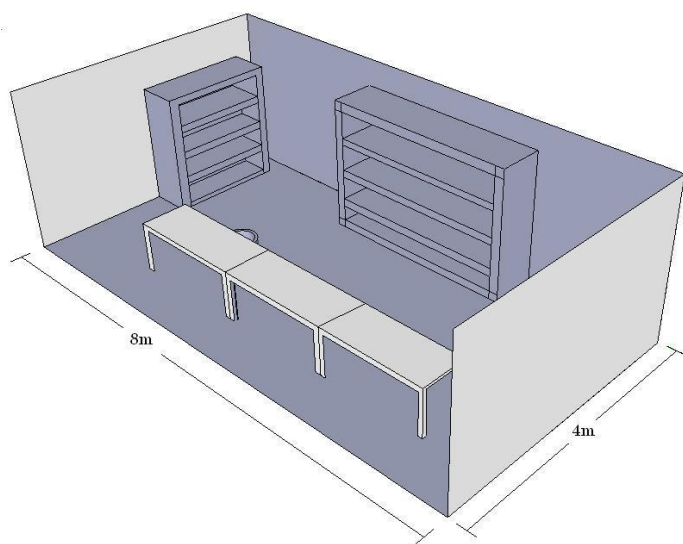
Storleken på montrar varierar från 2 till 32 kvadratmeter. En brand kan utvecklas sakta eller snabbt och med en låg eller hög effektutveckling beroende på vad och var det brinner. Möjliga antändningskällor är exempelvis elfel och varma lampor, levande ljus och eldstäder samt värmeplattor och spisar.

Brandscenariot med mässmonter behandlas i två fall, ett då en stor monter brinner i lokal B samt ett fall med en mindre monterbrand i lokal A. Två brandscenarier av typen monterbrand studeras, då de behandlar två helt olika typer av brandförlopp. Den stora monterbranden i lokal B innebär en högre effektutveckling och då den är placerad i en mindre lokal kan tiden till rökfyllnad antas bli kort. Den mindre monterbranden i lokal A, vilket är den största lokalen, ger en lägre effektutveckling men att rökfylla lokalen behöver inte ta längre tid än för den stora branden i lokal B, eftersom brandgaserna kan bli bättre omblandade med luften. Enligt Argos bildas inte något brandgaslager från en liten brand i lokal A då volymen anses vara för stor. För att kontrollera detta resultat och verifiera handberäkningarna har de båda bränderna simulerats i FDS.

8.1.1 Stor monterbrand lokal B

De stora montrarna förekommer främst i lokal A och lokal B. De kan även förekomma i lokal C, men då lokalen är mindre till ytan väntas antalet besökare vara färre där. I lokal C finns i detta fall även färre övriga montrar som kan försvåra utrymningen. En stor brand är därför som värst i lokal B då denna har en mindre volym än lokal A och därför fylls snabbare med brandgaser. Tiden till kritiska förhållanden blir då kortare i lokal B än i lokal A. Beräkningar redovisas närmare i bilaga 6a.

Scenariot innefattar att en brand uppstår i en av de större mässmontrarna med ytan 32 m² och är placerad i lokal B. Väggarna är uppbyggda av laminatklädda spånskivor och invid dessa finns bokhyllor av spånskiva med broschyrer. På väggarna hänger tyg och banderoller. Mot gången, där besökare väntas gå, finns tre stolar och tre bord á 1,5 x 0,8 meter på vilka det ligger produkter och reklammaterial, se figur 27. Avståndet mellan borden och bakre monterväggen samt till monter på andra sidan gången är 2,5 meter. Avstånd mellan borden och sidoväggarna är 1,5 meter.



Figur 27. Uppställning av stor monter, lokal B

Antändning väntas ske på sidan eller under ett av borden. Förbrinntiden sätts till noll då en pyrande brand troligen skulle kunna upptäckas och stoppas i tid. Värsta troliga scenario är att en flamma etableras direkt eller obemärkt och att ingen person i närheten ingriper. Branden antas accelerera relativt snabbt enligt en α^2 -kurva till följd av den stora mängden brännbart material. Brand i vertikalt monterade spånskivor har testats i *Initial Fires*, test O4/22 (Särdqvist, 1993). Beräknad tillväxtkoefficient α blev för detta test $0,025 \text{ kW/s}^2$ vilket stämmer väl med effektkurvan i försöket enligt *Initial Fires*. Banderoller och väggbeklädnad kan leda till en snabbare brandspridning än för ren spånskiva. För kontorsmiljöer rekommenderas $0,047 \text{ kW/s}^2$ (Karlsson & Quintiere, 2000) och uppbyggnaden av skärmar och bord i mässlokalen kan antas likna möbleringen i ett kontorslandskap. Takhöjden i lokalen är dock högre vilket minskar återstrålningen från brandgaserna och leder till en långsammare brandtillväxt. På grund av ovanstående resonemang valdes tillväxtkoefficienten till $0,036 \text{ kW/s}^2$ vilket är ett medelvärde mellan kontor och spånskivor.

Effektutvecklingen per m^2 bränsleyta uppskattas till 800 kW vilket motsvarar brinnande möbler (Karlsson & Quintiere, 2000). Branden i borden approximeras som sex bränder bredvid varandra med vardera basmåttet $0,8 \times 0,75$ meter. Den maximala genomsnittliga effektutvecklingen över hela monterns golvyta antas vara $250\text{-}500 \text{ kW/m}^2$, vilket motsvarar 8-16 MW. Detta rekommenderas för kontor respektive försäljningslokaler (AUFEG, 2000).

Flamhöjden beräknades till 1,9 meter och bredden på flammen växandes upp till 4,5 meter. Efter 1 minut 45 sekunder är strålningen tillräckligt stark för att med sticklågor antända banderoller, tyg och broschyrer vid väggarna. Då 2 minuter 30 sekunder gått är strålningen från branden så hög att utrymning förbi montern inte längre är möjlig eftersom kritiska förhållanden med avseende på strålning inträffat. Efter 4 minuter 30 sekunder till 5 minuter är risken stor att motsvarande bord placerade i montern på andra sidan gången antänds. Då strålningen har förvärmat monterväggarna och bokhyllorna antas branden i dessa accelerera med samma α som för borden. I och med att branden kan sprida sig till andra montrar antas ingen effektbegränsning då tillgången på bränsle är god. När kritiska förhållanden uppstår efter cirka 8 minuter är brandens effekt 8,3 MW vilket motsvarar en brand i två större vardagsrumsoffor. Om hela montern brinner motsvarar detta 8-16 MW vilket är en mycket stor brand med höga strålningsnivåer. Denna effekt uppnås efter 8-11 minuter och då skall utrymning av byggnaden redan vara avslutad. Hur branden utvecklas efter att kritiska förhållanden uppstått är inte relevant för utrymning och behandlas inte närmare.

Brandgasernas höjd över golvet handberäknades med Tanaka och Yamanas metod samt med Heskestads korrelation vilka ger tiden 7-8 minuter till kritiska nivåer. Brandgasernas adiabatiska, och därmed kraftigt överskattade, temperatur blir $180 \text{ }^\circ\text{C}$ vilket är för lågt för att skapa kritiska strålningsnivåer.

Datorsimulering i FDS gav att den adiabatiska temperaturen i brandgaslagret blev maximalt $360 \text{ }^\circ\text{C}$ efter 10 minuters simulering. Avståndet mellan golvet och punkten med den maximala temperaturen är cirka 9 meter. I och med att avståndet är så pass stort uppstår inte kritiska förhållanden med avseende på värmestrålning. Resultatet vad gäller brandgaslagrets höjd över tid visade att efter cirka 9 minuter 40 sekunder nåddes kritiska förhållanden då brandgaslagret når en höjd av 3,2 meter över golvet. Simuleringar i FDS redovisas närmare i bilaga 5. Datorsimuleringar med Argos gav en rökfyllnadstid på 8 minuter och ingen kritisk strålning från brandgaslagret. Samtliga tider till kritiska förhållanden sammanfattas i tabell 7.

Tabell 7. Resultat av samtliga beräkningsmodeller, stor monterbrand.

Beräkningsmodell	t_{kritisk} [s]
Tanaka-Yamana	440
Heskestad	482
Argos	480
FDS	580

8.1.2 Liten monterbrand, lokal A

En brand i ett bord eller i en monter med lite brännbart material kommer att resultera i en lägre effektutveckling än vad som beskrivits i fallet ovan. Tiden till rökfyllnad kan då intuitivt tänkas bli längre, men så är inte nödvändigtvis fallet. En mindre brand ger en lägre temperatur på brandgaserna vilka lättare blandas med den omgivande luften och kyls. I lokal A har brandgaserna en stor yta att breda ut sig på vilket medför snabb avkylning och luftinblandning. Detta kan resultera i att det inte bildas en lika tydlig skiktning mellan brandgaserna och den friska luften som vid en större brand. Brandgaslagret kan således komma att sjunka snabbare mot golvet än i fallet med en hög effektutveckling. Beräkningar redovisas närmare i bilaga 6b.

Likt scenariot med den stora monterbranden så antas ingen förbrinntid utan att flamma etableras direkt vid antändning. Som i fallet med den stora monterbranden ansätts tillväxtkoefficienten α till $0,036 \text{ kW/m}^2$ och effektutvecklingen begränsas till 1 MW vilket ungefär motsvarar ett monterbord med utställningsmaterial och produkter. Branden antas inte sprida sig vilket medför att effekten hålls konstant. Enligt Heskestads formel beräknas flamhöjden till 2,3 meter, då branden approximeras som en cirkel med diametern 1,4 meter. Utrymning förbi branden är inte möjlig närmare än 3 meter, på grund av de höga strålningsnivåerna, vilket medför att gången vid montern ej kan användas för utrymning.

Brandgasernas höjd över golvet handberäknades med Tanaka och Yamanas metod samt med Heskestads korrelation vilka ger tider över 9 minuter till kritiska nivåer. Brandgasernas adiabatiska, och därmed kraftigt överskattade, temperatur blir cirka $100 \text{ }^\circ\text{C}$ vilket är för lågt för att skapa kritiska strålningsnivåer.

Simuleringar i FDS ger att brandgaserna och den omgivande luften ej blir väl omblandade. Däremot visar resultaten från simuleringarna att virvlar med brandgaser tillfälligtvis är 3,2 meter från golvet. Virvlarna varar inte någon längre tid och behandlas därför inte närmare. Scenariot med att brandgaser blandas med luft och fyller hela luftutrymmet i rummet, inträder således inte.

Datorsimulering i FDS gav resultatet att temperaturen i brandgaslagret var som maximalt 75°C efter 10 minuters simulering. Den högsta temperaturen uppnåddes på cirka 8,9 meter från golvet. Det innebär att kritiska förhållanden inte nås vad gäller temperaturen i rummet. Resultatet vad gäller brandgaslagrets höjd över tid visade att efter cirka 8 minuter 20 sekunder nåddes kritiska förhållanden, det vill säga en höjd på 3,2 meter över golvet. Resultaten avseende rökfyllnadstid och temperatur redovisas i bilaga 5. Datorsimuleringar i Argos visade att inget brandgaslager bildas utan att röken blandas homogent i lokalen och kritiska förhållanden inträffar på grund av dålig siktbarhet. Stora takytor och låg temperatur på brandgaserna medför att Argos inte beräknar rökfyllnaden som

en två-zons modell. Resultaten från Argos bedöms som mindre rimligt på grund av övriga beräkningar och brandteoretiska resonemang. Samtliga tider till kritiska förhållanden sammanfattas i tabell 8.

Tabell 8. Resultat av samtliga beräkningsmodeller, liten monterbrand.

Beräkningsmodell	t_{kritisk} [s]
Tanaka-Yamana	710
Heskestad	567
Argos	662
FDS	500

Jämförelsevis med den stora monterbranden så blir strålningen från den lilla monterbranden mindre och brandgaslagrets höjd över golvet blir högre. Dessa tre resultat sammantaget gör att den lilla monterbranden ej utreds vidare, då den stora monterbranden är "värre" inom alla parametrar som analyseras. Framöver innebär *brandscenario mässmonter* brand i stor mässmonter lokal B.

8.2 Brandscenario Emballage, lokal A

Emballage kan förvaras i alla lokaler, men fallet då det förvaras i lokal A (den största lokalen) studeras eftersom detta scenario inrymmer alla övriga fall med avseende på tid till kritiska förhållanden. Om tiden till kritiska förhållanden i lokal A blir oacceptabelt låg innebär detta att så även sker i de mindre lokalerna, förutsatt att mängden material är densamma. Vid mässarrangemang förekommer stora mängder emballage och kartonger. Även reklamartiklar, engångsmuggar och frigolit kan finnas förvarat på avskilda platser. I figur 26 visas hur plats i lokalen avsatts för emballageförvaring under Noliämässan. En uppsåtlig brand anläggs troligen i en undanskymd del av lokalen, exempelvis i emballageförvaringen. Eftersom branden anläggs i ett avskilt utrymme, kan det antas att branden får fäste och därmed blir svårsläckt innan upptäckt.

Då emballage ofta innehåller löst paketerade kartonger och plastmaterial kan en snabbt tillväxande brand enligt α^2 acceleration förväntas. Brandgaserna kommer att innehålla stora mängder giftiga brandgaser på grund av plastinnehållet. I lagerytan kan emballaget antas vara tätt placerat, eventuellt på lastpallar, och separerat med cirka 1,5 meter breda gångar. Den effektiva ytan kan variera beroende på mäsas, enligt figur 26 är ytan cirka 280 m² som antas vara fylld till 75 % och till en höjd av 1 meter. Tillväxtkoefficienten α för brand i kartonger är 0,047 kW/s² (fast) och 0,19 kW/s² (ultra fast) om de innehåller polyetylenflaskor vilket kan likställas med engångsmuggar i plast och frigolit (Karlsson & Quintiere, 2000). Effekttutvecklingen per m² varierar mellan 1,7 och 2 MW/m² och om en begränsning på 20 MW antas, så uppnås denna effekt efter cirka 4,5 till 9,5 minuter beroende på tillväxtkoefficienten. Denna effekttutveckling är mycket hög och rimligheten i antagandet kan diskuteras. Kartonger i wellpapp innehåller dock stora mängder luft vilket underlättar förbränningen och frigolit bildar pölbränder av smält plast. Eftersom scenariot och brandförloppet är svårbedömt har två tillväxtkoefficienter använts. Vid den högsta, 0,19 kW/s², är brandens effekttutveckling cirka 20 MW vid tid för kritiska förhållanden. Risken för den höga effekttutvecklingen är mindre sannolik men kan inte negligeras. Brandförloppet för kartonger är snabbt och efter ett tag, då bränslemängden avtar, minskar effekten snabbt.

Flamhöjden då en 3x3 meter stor ruta med kartonger brinner blir över sju meter hög och strålningen så pass kraftig att kartonger på andra sidan gången antänds. Branden kan därmed antas kunna sprida sig obehindrat och riskerar även att påverka bärigheten hos takkonstruktionen. Strålningen mot personer i lokal A riskerar att överstiga $7,5 \text{ kW/m}^2$ på avstånd närmare än 6 meter och $2,5 \text{ kW/m}^2$ på 11 meter vilket medför att intilliggande utgångar riskerar att blockeras.

Brandgasernas höjd handberäknades med Tanaka och Yamanas metod, Heskestads korrelation samt Argos. Beräkningar med FDS ansågs inte nödvändiga då effektutvecklingen är hög och därmed blir antagandet om en tvåzonsmodell med väldefinierat brandgaslager mer giltigt. Resultaten från de genomförda beräkningar stämmer väl överrens med varandra vilket minskar behovet av ytterligare tidskrävande simuleringar. Beräkningar ger att tiden till kritiska förhållanden, det vill säga när brandgaserna når höjden 3,2 meter, inträffar inom 5-8 minuter beroende på val av tillväxtkoefficient och rökfyllnadsmodell. Samtliga tider till kritiska förhållanden sammanfattas i tabell 9.

Tabell 9. Resultat av samtliga beräkningsmodeller, brand i emballage.

Beräkningsmodell och α -värde	t_{kritisk} [s]
Tanaka-Yamana 0,19	297
Tanaka-Yamana 0,047	437
Heskestad 0,19	376
Heskestad 0,047	498
Argos 0,19	300
Argos 0,047	465

8.3 Brandscenario Scen, lokal C

Scenariot innefattar en brand i scen vid exempelvis framträdande eller paneldebatt. Antändning kan ske på grund av att det används pyrotekniska effekter på scenen, elfel i den tekniska utrustningen uppstår eller anlagd brand under eller bakom scenen. Beräkningarna har utgått från att antändning sker under scenen, i förvarat emballage som består av kartonger fyllda med frigolit. Branden sprids därefter upp i scenens byggnadsmaterial som antas bestå av spånskivor. Detta kommer att generera ett snabbt brandförlopp i början, därefter kommer effektutvecklingen att bli mer konstant då scenens golv och väggar börjar brinna. Beräkningar redovisas närmare i bilaga 6c.

Scenen kan vara placerad i alla lokaler, dock behandlar scenariot Noliämässans uppställning, se figur 26, där scenen är placerad i lokal C. Lokal C är en mindre lokal och har endast en dörr ut till det fria. Utrymning till andra lokaler kan försvåras av scenens placering. Då lokalen är liten kommer rökfyllnaden och därmed kritiska förhållanden att ske snabbare än i övriga lokaler. Lokalens lilla volym och brandens höga effektutveckling gör att Argos och antagandet om tvåzonsmodell blir mer giltigt. Ytterligare tidskrävande simuleringar med FDS har därför inte genomförts.

Scenen antas vara 24 m^2 och består mestadels av trä i form av spånskivor i golv och bakre vägg. Brännbart material på scenen antas vara högtalare, olika typer av scenskärmar samt tyger, gardiner och lös inredning som soffor och talarstolar. En snabb tillväxande brand förväntas under 2,5 minuter med en tillväxtkoefficienten α på $0,19 \text{ kW/s}^2$ (kartonger innehållande polyetenflaskor) som kan jämföras med kartonger innehållande frigolit. Därefter antas spånskivorna ge en effektutveckling

med ett något lägre tillväxtkoefficient på 0,025 kW/s² (Särdqvist, 1993, p. 04/22). Lös inredning, tyger och stoppade möbler antas brinna relativt snabbt med tillväxtkoefficient på 0,047 kW/m² (Karlsson & Quintiere, 2000). Takhöjden i lokal C är så pass hög att återstrålningen från brandgaserna är begränsad vilket leder till en långsammare brandtillväxt. Tillväxtkoefficienten valdes till 0,048 kW/s² vilket är ett medelvärde av hela brandförloppet för scenbranden.

Vid beräkningar har antagits att brandens maximala effektutveckling är 12 MW. Med denna effektutveckling kommer en flamhöjd på 6 meter uppnås efter 8 minuter 20 sekunder. Denna effekt kommer medföra en strålningsnivå på 17,5 kW/m² på främre bänkraden som ligger 6 meter från scenen, och en strålningsnivå på 2,6 kW/m² på personerna som antas utrymma ut igenom den enda dörren som leder direkt till det fria. Kritiska förhållanden uppstår dock tidigare på grund av rökfyllnad efter cirka 4 minuter 30 sekunder. Strålningen är således inte ett bekymmer ur utrymningssynpunkt men medför att branden kommer att kunna sprida sig i lokalen. När kritiska förhållanden inträffar på grund av brandgaslagrets höjd är brandens effekt cirka 3,5 MW vilket motsvarar en brand i en större vardagsrumssoffa. Brandgasernas adiabatiska, och därmed kraftigt överskattade, temperatur blir 115 °C vilket är för lågt för att skapa kritiska strålningsnivåer. Samtliga tider till kritiska förhållanden sammanfattas i tabell 10.

Tabell 10. Resultat av samtliga beräkningsmodeller, brand i scen.

Beräkningsmodell	t _{kritisk} [s]
Tanaka-Yamana	266
Heskestad	265
Argos	305

8.5 Sammanfattning och slutsatser av brandscenarier

Vid brand i en av de större mässmontrarna kan lokal B fyllas med brandgaser till 3,2 meters höjd på 7-8 minuter. När brandgaserna sprids till intilliggande lokaler sker enligt Argos en gradvis siktförsämring som i vissa lokaler övergår till bildandet av nya brandgaslager.

Om en mindre brand utbryter i lokal A kommer det enligt handberäkningsmodeller och Argos inte att bildas något brandgaslager på grund av lokalens stora volym. Kritiska förhållanden uppstår istället på grund av dåligt sikt och inträffar enligt Argos efter 11 minuter. Vid simuleringar i FDS bildas ett brandgaslager som når 3,2 meter över golvet efter 8 minuter 30 sekunder. Beräkningarna och simuleringarna visar att även små bränder kan skapa problem i lokalerna. Tiden till kritiska förhållanden är dock något längre än vid större bränder och scenariot behandlas därför *inte* vidare i rapporten.

I emballageförvaringen finns materiel som vid antändning snabbt kan bilda en stor brand med stark värmestrålning och kort tid till rökfyllnad. Lokal A kan rökfyllas på så kort tid som 5 minuter om mycket plast och frigolit finns bland det brännbara materialet. De höga flammorna riskerar att slå i taket och påverka installationer och ytskikt som kan falla ner.

I lokal C sker rökfyllnaden på 5-6 minuter vid en kraftig brand i scenen. Därefter sker brandgasspridning till de intilliggande lokalerna vilket ger en gradvis siktförsämring fram till tiden 8 minuter. Därefter bildas i lokal A ett brandgaslager som snabbt sjunker mot golvet medan

siktförsämringen avstannar då brandgaserna samlas i taket istället för att blandas med den friska luften. I lokal B fortsätter siktförsämring då temperaturdifferensen är för låg för att bilda ett stabilt brandgaslager.

Generellt kan sägas att efter 8 minuter har samtliga bränder vuxit till sådana proportioner att spridning kan ske till andra bränslepaket som montrar och stolar. Brandgasspridning sker mellan lokalerna och installationer samt takets ytskikt kommer troligen att påverkas av flammorna och de varma brandgaserna. Utrymningen av hela bygganden måste därför vara avslutad vid denna tidpunkt. Utrymning ur den lokal där branden startat måste dock vara avslutad enligt de tider som gäller för respektive scenario. I alla scenarier inträffar kritiska förhållanden på grund av värmestrålning och lufttemperatur efter det att brandgaslagret sjunkit till en kritisk höjd. Nedan presenteras en sammanställning över de tre brandscenarierna.

Heskestads rökfyllnadskorrelation ger tider som överrensstämmer med de övriga modellerna, utom i fallet med emballagebranden där tiden är längre. Då korrelationen även är validerad för lokalernas geometri och storlek samt är lämplig för simuleringar används korrelationen fortsättningsvis i rapporten. Det visas senare i rapporten att även om den längre rökfyllnadstiden från Heskestads korrelation används vid simulering av brand i emballageförvaringen, kan utrymning inte genomföras på ett säkert sätt. Denna enskilda avvikelse från de övriga tiderna påverkar därmed inte slutresultatet.

Tabell 11. Sammanställning över de tre brandscenarierna.

Brandscenario	Tillväxtkoefficient [kW/m²]	Maximal effektutveckling [MW]	Effektutveckling vid t_{krit} [MW]	Flamhöjd [m]
Mässmonter	0,036	16	8,3	1,9
Emballage	0,19/0,047	20	20	>7,0
Scen	0,048	12	3,5	6,0

9. Teori - Dimensionering av brandskydd

För att utreda brandskyddet för Hangar 92 genomförs en analytisk dimensionering. Dock kan vissa riktlinjer hämtas från förenklad dimensionering. Förenklad dimensionering innebär att kraven i BBR efterföljs utan avsteg medan den analytiska modellen innebär att beräkningar och simuleringar validerar alternativa lösningar för brandskyddet. Huvudprincipen för analytisk dimensionering är att brandskyddet ska vara *minst* lika bra som med förenklad dimensionering (Boverket, 2006). De åtgärder som presenteras innebär dock att en del krav enligt BBR kvarstår, till exempel beslag på dörrar och vägledande markering. För att få en uppfattning om hur kraven enligt BBR ser ut för en större samlingslokal är det främst två punkter som avviker från andra typer av lokaler; gångavstånd samt dörrbredd i utrymningsväg. Förenklad dimensionering ger att en samlingslokal som inhyser mer än 150 personer skall ha en total bredd av samtliga utrymningsvägar på minst 1,0 meter per 150 personer (Boverket, 2008). Detta innebär att Hangar 92 skulle vara tvunget att ha 10 meter dörrbredd ut till det fria, baserat på att 1500 personer befinner sig inne i lokalerna samtidigt. Enligt förenklad dimensionering är det krav på att det ska finnas minst 4 stycken utgångar, samt vart de ska vara placerade. Den analytiska dimensioneringen kan resultera i att ett annat antal dörrar behövs i lokalerna. För den analytiska dimensioneringen kommer simuleringar att genomföras avseende utrymning, vilka kommer visa på behoven av antal dörrar, bredd och placering. Den analytiska dimensioneringen bygger på att se till den marginal av tid som kvarstår efter det att alla personer utrymt lokalerna (Boverket, 2006). För att kunna beräkna denna marginal krävs information om tid till kritiska förhållanden inträffar, varseblivningstid, förberedelsestid samt förflyttningstid, där de tre senare tiderna utgör tillsammans den totala utrymningstiden.

Tid till kritiska förhållanden definieras som den tid då alla skall ha utrymt lokalerna eftersom risken för personskador är oacceptabelt hög om denna tid överskrids. Gränsvärden för kritiska förhållanden behandlas ovan under rubrik *7.4 Kritiska förhållanden vid utrymning* samt *7.5 Ansatta gränsvärden för kritiska förhållanden*. Kort kan sägas att BBR har schablonvärden för när kritiska förhållanden inträffar, dock är kritisk nivå ansatt till när brandgaslagret når en höjd på 3,2 meter över golvet.

Varseblivningstiden definieras som den tid det tar för aktuell person att bli varse om att det brinner. Detta kan ske genom att brand- och utrymningslarmet aktiveras, personen ser branden eller känner röklukt. Varseblivningstiden bestäms genom att bland annat se till brandlarmets funktion. Varseblivningstiden ökar om brand- och utrymningslarm inte är intakta. Det finns inga generella rekommendationer för varseblivningstiden, då den kan variera från några få sekunder till flera minuter (Boverket, 2006). Exempel på detta är brandscenariot med brand på scenen i lokal C och då inget brand- och utrymningslarm finns installerat. Varseblivningstiden för personerna i lokal C blir kort, då de ser branden i tidigt skede. De som befinner sig i andra lokaler blir varse om branden först när personerna som utrymmer från lokal C muntligen informerar om att det brinner.

Förberedelsestiden definieras som den tid en person behöver för att tolka signal och bestämma sig för vilken utgång hon ska använda. Tiden kan variera från en till flera minuter. Den förberedande tiden är högst individuell och skattas främst med hjälp av statistik. Många faktorer påverkar denna tid, däribland människors beteende. Det som styr dessa beteenden är bland annat vilken roll personen har vid utrymningstillfället. Det är dokumenterat stor skillnad om personen är besökare eller personal då personalrollen medför ett visst ansvar att informera och visa besökande till närmsta utgång. Byggnadens utformning påverkar förberedelsestiden bland annat genom dess öppenhet, ljud, ljus, vägledande markeringar och larm (Frantzich, 2000). Individens egenskaper är också avgörande

såsom vana, motivation, hörsel, funktionshinder och sociala relationer. Brandens förlopp påverkar även förberedelsetiden genom att en synlig brand ger en omedelbar uppfattning om faran. På så sätt förkortas tiden gentemot om branden inte syns och tolkning endast sker av utrymningslarmet eller upptäckt av brand i senare skede. Typen av utrymningslarm påverkar förberedelsetiden. I rapporten *Tid för utrymning vid brand* (Frantzich, 2000) har försök genomförts med olika typer av utrymningslarm där resultatet skiljer sig mycket mellan de olika larmtyperna. Omfattande försök har genomförts i varuhus, nattklubbsmiljö samt vårdavdelningar, där varuhus är den lokaltyp som bäst överensstämmer med mässverksamhet i aktuella lokaler. I *Tid för utrymning vid brand*, tabell 36, redovisas förberedelsetiden för olika typer av utrymningslarm. Medelvärdet för förberedelsetiden varierar från 45 sekunder till cirka 3 minuter 30 sekunder, då utrymningslarm finns installerat. I fallet utan utrymningslarm varierar tiden från 1 minut 30 sekunder till 4 minuter, beroende på om branden är synlig eller ej. De förberedelsetider som används i denna rapport bygger på dessa resultat.

Det skall tilläggas att benämningen "förberedelsetid" är ett nytt begrepp. Tidigare har förberedelsetiden benämnts besluts- och reaktionstid. I den referenslitteratur som använts benämns förberedelsetiden enligt äldre beteckning.

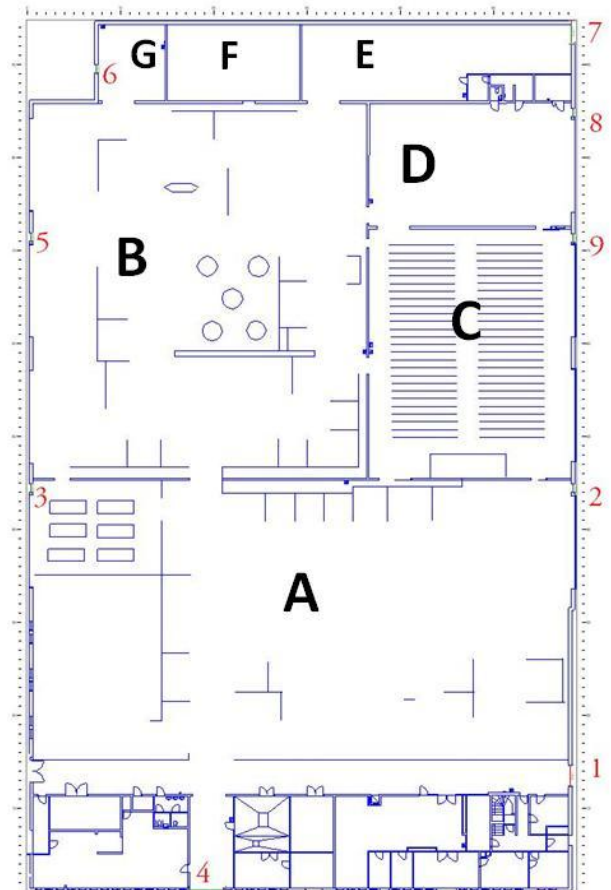
Förflyttningstiden definieras som den tid det tar för alla personer att utrymma ur lokalerna. Rapporter som behandlar människors beteende vid brand, har visat att människor ofta tar samma väg ut som de tog in till lokalen (Proulx & Sime, 1991). Förflyttningstiden beror på hur personerna är fördelade i lokalen, personers hjälpbehov, förmåga att förflytta sig med mera. Gånghastigheten påverkas även av faktorer som belysningsnivån och utrymningsskyltar. För att ta fram förflyttningstiden simuleras olika brandförlopp i programmet Simulex.

Marginalen, det vill säga tiden för kritiska förhållanden subtraherat den totala utrymningstiden, ska vara större än noll för att brandskyddet ska vara acceptabelt. Marginalen beräknas enligt följande ekvation:

$$t_{\text{marginal}} = t_{\text{kritisk}} - t_{\text{varseblivning}} - t_{\text{förberedelse}} - t_{\text{förflyttning}} \quad \text{ekvation 9}$$

10. Simuleringar i Simulex: förflyttningstiden med befintliga dörrar

För att ta reda på hur lång tid som krävs för att utrymma lokalerna har simuleringar gjorts i datorprogrammet Simulex. Simulex är ett program där användaren definierar utgångar från lokalerna, antal personer som vistas i lokalerna och deras karaktärsdrag. Det finns många olika karaktärsdrag som är valbara i programmet vilken i sin tur kommer påverka resultatet av simuleringen. Karaktärsdragen styr fördelningarna för personerna i lokalen, det vill säga andelen män, kvinnor och barn samt andelen medelpersoner. Medelperson motsvarar ett värde mellan mannens och kvinnans storlek. Det är viktigt att göra inställningarna så likt verkligheten som möjligt men samtidigt vara införstådd med att programmet är en modell av verkligheten, det vill säga resultatet ska granskas kritiskt. Negativt med programmet Simulex är att det inte tar hänsyn till trösklar, hur människor påverkar varandra samt att det behandlar utrymningen som ett flödesproblem (Frantzich, 1998). I programmet antas personerna vara jämt fördelade i lokalerna och är endast tvungna att undvika hinder på ritningen. Lös inredning och byggnadsdelar som inte är inritade påverkar inte förflyttningen. Detta kan främst vara ett problem om merparten av de utrymmande är samlade i mitten av lokalen. De kan då krävas längre tid än beräknat innan de första personerna når en utgång och det bildas köer. När köer bildats blir utrymningstiden i princip linjärt beroende av flödes hastigheten genom utgångarna. Ytterligare ett problem som måste beaktas är att programmet inte tar hänsyn till någon förberedelse tid innan förflyttning sker. Resultatet som fås i programmet är endast förflyttningstiden, som i sin tur är en del av den totala utrymningstiden.



Figur 28 . Simulexuppställning. Siffrorna anger utrymningsvägarna, där 1="Exit 1", 2="Exit 2" och så vidare.

Olika simuleringar har genomförts beroende på vart branden startar och vilken aktivitet som råder i lokalen. För samtliga simuleringsscenarier har uppställningen av mässmontrar och väggar och lös inredning varit i enlighet med figur 7. Antal utrymningsvägar, totalt 9 stycken, är de samma för alla simuleringar och benämns som "Exit 1" till "Exit 9", se figur 28. Vilka utrymningsvägar som personerna i lokalerna använder beror på vart i lokalerna de befinner sig samt vilket brandscenario som föreligger. Vilken utgång som de besökande väljer, är en uppskattning där hänsyn tagits till var det brinner, var aktuell person befinner sig i förhållande till branden samt var närmsta utgång finns. Dessutom har hänsyn tagits till beteendet att personer ofta använder samma utgång som de kom n genom. Det antas att mässlokalerens två entréer för besökande, som benämns "Exit 7" och "Exit 4", är de prioriterade utgångarna.

Nedan presenteras simuleringarna som gjorts i de olika brandscenarierna samt inställningarna för dem.

10.1 Grundinställningar för simuleringar

Tre brandscenarier har simulerats, med samma utgångsläge gällande antal personer i lokalerna, antal sittande samt deras karaktärsdrag. Grundinställningen med karaktärsdraget "Shoppers" innebär en personfördelning med 20 % män, 30 % kvinnor, 20 % barn samt 30 % medelpersoner.

Grundinställningarna sammanfattas i tabell 12. Antal personer är 1412, enligt uppställning från Noliämässan vilket är något färre än det maximala antalet personer som kan tänkas vara i lokalerna samtidigt. Simuleringar visar dock att även med det färre antalet personer kommer utrymningen att kräva för lång tid och påverkar således inte slutsatserna. Ingen person kommer att utrymma via "Exit 1" då denna utgång är skyddad från mässlokalerna. Bränderna antas starta på de platser som visas i figur 26 och kommer därmed att påverka valet av utgång.

Tabell 12. Grundinställningar för simuleringar i Simulex.

Antal personer totalt	Antal sittande	Karaktärsdrag
1412	412	Shoppers

10.2 Brandscenario mässmonter, lokal B

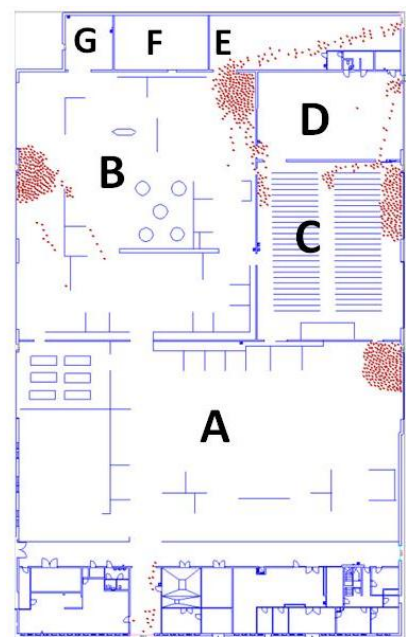
Branden startar i mässmonter lokal B. I bilaga 7 ges uppställningen i simuleringen, det vill säga var personer befinner sig när brand utbryter samt deras val av utgång. Eftersom branden startar i en monter antas merparten av personerna som vistas i lokalen B utrymma via "Exit 7" alternativt via lokal A till "Exit 4". Personer som vistas i lokal A utrymmer genom "Exit 4", personer i lokal C utrymmer endast genom "Exit 9".

Resultat av simuleringen i Simulex visar att alla personer utrymt mässlokalerna efter 4 minuter 52 sekunder. Efter 1 minut och 40 sekunder finns det inga personer kvar i lokal B, det vill säga i den lokal där branden startat. Störst flödesproblem blir det vid "Exit 2" och "Exit 9".

10.3 Brandscenario emballage, lokal A

Branden startar i uppställt emballage i lokal A. I bilaga 7 ges uppställningen i simuleringen, det vill säga var personer befinner sig när brand utbryter samt deras val av utgång. Branden medför att endast ett mindre antal utrymmer ut via "Exit 4", då personerna måste gå förbi brandhärden. I övrigt liknar utrymningen fallet med brand i scen, med undantaget att en del av besökarna i lokal C utrymmer via "Exit 8". Detta skulle kunna motsvara att en del personer går och hämtar sin jacka innan de utrymmer, då lokal D har fungerat som garderobsutrymme vid tidigare mässor.

Störst flödesproblem blir det vid de två dörrarna "Exit 5" och "Exit 2". Figur 29 visar hur utrymningen ser ut i Simulex. Det är tydligt vid vilka utgångar det bildas kö. "Exit 5" är en dörr med 1 meters bredd och med en 8 centimeters tröskel. "Exit 7" är en dubbeldörr som kan ställas upp till en total bredd av nästan 4 meter, dock antas den ej vara uppställd under utrymningsförloppet (då den är sväröppnad) vilket ger bredden



Figur 29. Snapshot över utrymningsförloppet i Simulex vid brand i emballage. De röda prickarna motsvarar människor.

2,5 meter. "Exit 2" är en utgång med bredden 1 meter och tröskel på 8 centimeter. Simuleringen ger att efter 3 minuter 6 sekunder har brandrummet, det vill säga lokal A, utrymts. Alla har hunnit lämna lokalerna efter 4 minuter 10 sekunder.

10.4 Brandscenario scen, lokal C

Branden startar i scenen i lokal C. I bilaga 7 ges uppställningen i simuleringen, det vill säga var personer befinner sig när brand utbryter samt deras val av utgång. Eftersom branden startar i scenen i lokal C antas personerna som vistas där utrymma dels genom "Exit 9" och dels genom "Exit 7". Simuleringarna visar att det blir störst flödesproblem vid "Exit 2", "Exit 5" och "Exit 9".

Simuleringen ger att utrymningen av lokal C tar 2 minuter 33 sekunder, det vill säga lokalen där branden startar. Alla personer har hunnit lämna lokalerna efter 4 minuter 50 sekunder.

10.5 Resultat utrymningssimuleringar, befintliga dörrar

Simuleringarna ger att förflyttningstiden med befintliga dörrar är mellan fyra till fem minuter för varje scenario. De största flödesproblemen blir vid "Exit 2", "Exit 5" och "Exit 9", vilket motsvarar dörrarna ut till det fria från lokal A, lokal B och lokal C. Simuleringarna för de tre brandscenarierna redovisas nedan i tabell 13.

Tabell 13. Sammanställning av resultat från simuleringar.

Scenario	Total $t_{\text{förflyttning}}$ [s]	Ur brandrum $t_{\text{förflyttning}}$ [s]	Störst flödesproblem vid "Exit":
Mässmonter	292	100	2,9
Emballage	250	186	2,5
Scen	290	153	2,5,9

Resultat som ges av simuleringarna måste tolkas kritiskt, då det endast är en förenklad modell av verkligheten som analyseras. Som exempel beaktas inte trösklarna i simuleringarna, vilket innebär att tiden för utrymning underskattas. Hur ett verkligt utrymningsförlopp går till kan skilja sig mycket från det som programmet visar.

11. Utrymningsresultat med avseende på befintligt brandskydd

Nedan presenteras marginalen till kritiska förhållanden för varje brandscenario med avseende på befintligt brandskydd och utrymningssimuleringar. Den specifika tiden är enligt Heskestads rökfyllnadsmodell. Heskestads modell har valts då tiden till kritiska förhållanden oftast ligger i mitten av samtliga modellers resultat och i de fall då tiden avviker är det av acceptabel nivå. Dessutom är Heskestad giltig för lokalernas stora volymer. Utöver detta är Heskestads korrelation möjlig att presentera som fördelningskurva vilket inte är fallet med de andra beräkningsmodellerna. Fördelningskurvor används vid datorsimuleringar senare i rapporten. Fyra olika tider för varseblivningstiden har använts, med antagandet att brandlarmet och utrymningslarmet ej är i funktion. Den kortaste varseblivningstiden gäller för personer som befinner sig i närheten av där branden startar och kan se branden. Ju längre ifrån branden personerna befinner sig, desto längre blir varseblivningstiden. Personer som befinner sig i andra än den brandutsatta lokalen kommer att bli varse om faran först då de muntligen meddelas av personer som utrymmer från rummet där det brinner. De fyra varseblivningstiderna är uppskattade då ingen specifik data finns tillgänglig. Förberedelsetiden har givits två alternativ, med utgångsläget att inget utrymningslarm aktiveras. Tiden 1 minut 30 sekunder i fallet då branden är synlig och 4 minuter då branden är skyddad, beroende på i vilken av lokalerna aktuell person befinner sig. Siffrorna för förberedelsetiden är hämtade ur *Tid för utrymning vid brand* tabell 36 (Frantzich, 2000).

11.1 Brandscenario mässmonter, lokal B

Tiden då kritiska förhållanden inträffar har satts till 8 minuter 2 sekunder i enlighet med beräkningar och datasimuleringar för detta brandscenario. Ett antagande som gjorts är att då varseblivningstiden är lång, blir förberedelsetiden kortare. Detta betyder när branden pågått ett tag och varseblivningstiden blir lång, kommer förberedelsetiden att bli relativt kort då det råder föga tvivel om att det verkligen brinner. Förflyttningstiden, 4 minuter 52 sekunder, är resultatet från simuleringarna i programmet Simulex. I tabell 14 sammanställs resultatet för utrymning vid brandscenario mässmonter.

Tabell 14. Sammanställning över tiderna för brand i mässmonter med befintligt brandskydd.

$t_{\text{kritisk}} [s]$	$t_{\text{varseblivning}} [s]$	$t_{\text{förberedelse}} [s]$	$t_{\text{förflyttning}} [s]$	Marginal [s]
482	20	240	292	- 70
482	60	240	292	- 110
482	180	90	292	- 80
482	300	90	292	- 200

11.2 Brandscenario emballage, lokal A

Tiden då kritiska förhållanden inträffar har satts till 7 minuter 17 sekunder i enlighet med beräkningar och FDS-simuleringar för detta brandscenario. Ett antagande som gjorts är att då varseblivningstiden är lång, blir förberedelsetiden kortare. Detta betyder när branden pågått ett tag och varseblivningstiden blir lång, kommer förberedelsetiden att bli relativt kort då det råder föga tvivel om att det verkligen brinner. Förflyttningstiden, 4 minuter 10 sekunder, är resultatet från simuleringarna i programmet Simulex. I tabell 15 sammanställs resultatet för utrymning vid brandscenario emballage.

Tabell 15. Sammanställning över tiderna för brand i emballage med befintligt brandskydd.

t_{kritisk} [s]	$t_{\text{varseblivning}}$ [s]	$t_{\text{förberedelse}}$ [s]	$t_{\text{förflyttning}}$ [s]	Marginal [s]
437	20	240	250	- 73
437	60	240	250	- 113
437	180	90	250	- 83
437	300	90	250	- 203

11.3 Brandscenario scen, lokal C

Tiden då kritiska förhållanden inträffar har satts till 4 minuter 5 sekunder i enlighet med beräkningar och simuleringar för detta brandscenario. I detta scenario antas att förberedelsetiden är kortare vid tidig varseblivning, vilket motsvarar att personer i lokal C tidigt blir varse om att det brinner på scen och förberedelsetiden blir kort av samma skäl. Till skillnad från de två brandscenarierna ovan, är uppmärksamheten i brandrummet riktad mot den plats där branden startar, det vill säga scenen i detta fall. Förflyttningstiden, 4 minuter 50 sekunder, är resultatet från simuleringarna i programmet Simulex. I tabell 16 sammanställs resultatet för utrymning vid brandscenario scen.

Tabell 16. Sammanställning över tiderna för brand i scen med befintligt brandskydd.

t_{kritisk} [s]	$t_{\text{varseblivning}}$ [s]	$t_{\text{förberedelse}}$ [s]	$t_{\text{förflyttning}}$ [s]	Marginal [s]
265	20	90	290	- 135
265	60	90	290	- 175
265	180	240	290	- 445
265	300	240	290	- 565

11.4 Sammanfattning befintligt brandskydd samtliga scenarier

Tydligt är att befintligt brandskydd ej är tillfredsställande. Alla fall får en negativ marginal trots att utrymningssimuleringar genomförts med något färre antal personer än vad som maximalt kan väntas vistas i lokalen. Detta innebär att utrymning av lokalerna, innan kritiska förhållanden uppstår, inte kan säkerställas. Av de tre brandscenarierna är brand i scen det fall då marginalen blir mest negativ, vilket innebär att här krävs störst åtgärder för att upprätthålla ett skäligt brandskydd.

12. Större åtgärdsförslag

För att lokalerna på ett säkert sätt ska gå att använda för publik verksamhet måste ett flertal åtgärder genomföras. I detta avsnitt beskrivs de större åtgärderna samt hur de inverkar på utrymningstiden och tiden till kritiska förhållanden. I kommande avsnitt valideras åtgärdsförslagen genom nya simuleringar och beräkningar. Förutom det som omnämns i detta avsnitt finns andra förändringar som är svårare att validera men ändå måste eller bör genomföras. Exempel på detta är justering av ventilationen samt översikt och tätning av väggar som står i förbindelse med kontorslokalerna. Samtliga åtgärder som skall och bör genomföras presenteras under rubrik *16 Åtgärder*.

12.1 Brandlarm

Ett fungerande brandlarm är en grundläggande förutsättning för att en god säkerhetsnivå skall kunna uppnås. En tidig detektion är nödvändig för att förkorta varseblivningstiden då utrymningslarmet aktiveras av brandlarmet. Brandlarmet som även styr brandgasventilationen måste driftsättas och kontrolleras regelbundet. Förslagsvis används regelverket SBF 110:6 (Brandskyddsföreningen) då anläggningstypen visar att brandlarmet är installerat enligt detta. För att anläggningen ska vara lämplig till publik verksamhet måste den ses över och vissa förändringar genomföras. Exempelvis måste avstängningsknappar demonteras så att anläggningen endast kan manövreras av behöriga personer. Det aspirerande systemet erbjuder en bra möjlighet att detektera mindre bränder och glödhärdar som är för små för att generera rökpelare som når taket och punktdetektorerna. På så sätt kan små bränder upptäckas i ett tidigt stadium och eventuellt hindras från att utvecklas till stora bränder. Risken finns dock att systemet är för känsligt och kan generera onödiga larm. Beslut om antalet larmnivåer i det aspirerande systemet bör tas i samråd med räddningstjänsten och larminstallatören. I de snabba brandförlopp som simulerats har brandlarmet aktiverats med punktrökdetektorer. Dessa ger en snabbare detektion om branden tillväxer hastigt och bildar mycket rök. De båda detektionssystemen kompletterar varandra och bör därför behållas.

12.2 Brandgasventilation

Lokal A-D är försedda med brandgasventilation i form av luckor som simultant öppnas på signal från brandlarmet eller individuellt genom inbyggda smältbleck om temperaturen blir för hög. Luckorna kan, om de kopplas in och funktionstestas, erbjuda ett bra skydd då tiden till kritiska förhållanden förlängs avsevärt, se jämförelse i tabell 17. Beräkningar av brandgasventilation är lämpligast att genomföra med datorprogram och för detta ändamål har Argos använts. Några simuleringar med FDS har inte bedömts som nödvändiga. I de brandscenarier som simuleras bildas ett stationärt brandgaslager på en höjd över golvet som är högre än det kritiska gränsvärdet. Efter längre tid uppstår kritiska förhållanden till följd av värmestrålning och förhöjd temperatur i lokalerna. Grafer med rökfyllnadstiderna för de olika scenarierna återfinns i bilaga 8. Luckorna öppnas med gaskolvar och tiden från aktivering till full öppning har antagits till 15 sekunder. Om brandlarmet används för initiering av luckorna sker aktivering samtidigt som för utrymningslarmet. I Argos är tiden till att brandlarmet aktiveras längre än vad som beräknats med datorprogrammet DETACT-QS, som används för att beräkna detektionstider, och vid tidigare funktionsprov av det aspirerande systemet. Anledningen är att Argos initialt räknar med att brandgaserna blandas homogent med den omgivande luften i rummet och att ingen rökpelare når taket och detektorerna. Tidigare simuleringar av brandscenarier med FDS visar dock att en tydlig plym bildas som bör kunna aktivera brandlarmet. I de scenarier som undersökts här utgör den fördröjda aktiveringen inget problem då inga kritiska förhållanden uppstår inom 15 minuter, den sena aktiveringen till trots. Aktiveringstiden och den

stationära höjden på brandgaslagren visas i tabell 17. Vid aktivering med smältbleck är luckornas tillförlitlighet sämre. Luckorna och utösningsmekanismen är monterade i en cirka 0,5 meter djup genomföring i taket vilket fördröjer uppvärmningen, och därmed aktiveringen, då cirkulationen av varma brandgaser hindras. Då data och modelluppgifter om luckorna ej varit tillgängliga har aktiveringstemperaturen ansatts till 65 °C och den termiska trögheten, RTI, till 100 (m s)^{1/2}. I Argos antas luckorna vara ihopkopplade i ett system som gör att samtliga luckor öppnas samtidigt, oavsett aktiveringsmetod. I verkligheten kommer aktivering med smältbleck att ske för en lucka i taget efterhand som brandgaserna värmer upp smältblecken. Viktigt att beakta är att simulering ger stor skillnad mot det verkliga fallet. Detta har inte utretts närmare då simuleringarna visar att luckorna aktiveras först efter att kritiska förhållanden har uppnåtts i lokalen. Smältbleck är ett bra extra säkerhetssystem men är inte tillförlitligt som enda aktiveringsmekanism för brandgasventilationen. Som tilluftsöppningar har antagits att en dörr (1 x 2 meter) per lokal är öppen ut till det fria samt att portarna mellan lokalerna är öppna. Frisk luft kan då strömma in till den brandbelastade lokalen från brandgasventilationen och dörrar i de angränsande lokalerna. När utrymning påbörjas kommer troligen fler tilluftsöppningar att skapas då fler dörrar öppnas. Beräkningar visar dock att de initialt antagna öppningarna är tillräckliga.

Tabell 17. Tid till kritiska förhållanden utan och med brandgasventilation (brg.vnt.), tid till aktivering på signal från brandlarmet samt det stationära brandgaslagrets höjd över golvet beräknande med Argos.

Lokal, Scenario	t _{kritisk utan} brg.vnt. [s]	t _{kritisk med} brg.vnt. [s]	Tid till aktivering [s]	Stationär höjd för brg [m]
B, mässmonter	480	>900	171	3,9
A, emballage	300	>900	75	4,0
C, scen	305	>900	132	3,4

12.3 Utrymningslarm

I dag finns ett utrymningslarm kopplat till brandlarmet, dock är inget av larmen i drift. Utrymningslarmets utformning måste anpassas för publik verksamhet med tanke på att besökarna kan väntas ha liten eller ingen lokalkännedom. Dagens system med otydlig skyltning och flera sorters larm gör att förberedelse tiden förlängs. Exempelvis kan en tjutande siren misstolkas för ett inbrottslarm om den intillsittande ringklockan märkt "brandlarm" inte ljuder. Den kortaste förberedelse tiden ges om ett talat utrymningslarm i form av ett "informativt meddelande" installeras (Frantzich, 2000). Tidsvinsten ligger dels i personers benägenhet att följa mänskliga instruktioner framför automatiska signaler, dels i att ingen tid åtgår för att leta efter larmdon och tolka den tillhörande märkningen. Meddelandet bör vara kortfattad och nämna ordet "brand" då detta tydligt påkallar folks uppmärksamhet. En vanlig missuppfattning är att meddelanden av denna innebörd framkallar panik men så är inte fallet (Sime, 1980). Det installerade brandlarmet är ett analogt system från en av de större tillverkarna och bör därför enkelt kunna kompletteras med ett talat utrymningslarm. Som komplement till det akustiska utrymningslarmet bör blytljus installeras på toaletterna så att även personer med nedsatt hörsel blir varse om utrymningen. Vid beräkningar av utrymningstid har både ringklockor och informativt meddelande använts för att på så sätt kunna jämföra tidsvinsten av de två systemen.

12.4 Dörrars bredd och utformning

Vid simuleringar av utrymning från lokalerna har visats hur köer bildas vid utgångarna och att utrymningstiden är starkt beroende av antalet personer som kan passera per tidsenhet. På grund av de motordrivna portarna som utgör stora delar av fasaden i marknivå rekommenderas en breddning av befintliga dörrar istället för installation av nya. De befintliga dörrarna är väl placerade med ett bra inbördes avstånd och bör därför även fortsättningsvis användas för utrymning. Bredare dörrar ger inte bara ett större genomsnittligt flöde utan minskar även risken för totalstopp. Risken finns att personer kilar fast om många samtidigt försöker passera ut genom en smal dörr. För funktionshindrade och personer med små barn i sällskap kan smala dörrar utgöra ett stort hinder, särskilt om det finns en tröskel. Rullstolar och barnvagnar kan vara för breda för att ens komma igenom dörrarna och lyft över trösklar blir än svårare om utrymmet på sidorna är begränsat. Flödet genom dörren kan dessutom stannas upp under tiden vilket ytterligare fördröjer utrymningen. Barn i sällskap av vuxna bör kunna passera ut jämsides med sin ledsagare utan risk för att bli klämda och skadade mot karmarna. Bredare dörrar är således inte en åtgärd som bara går att mäta i utrymningstid utan är även viktigt ur andra aspekter, oavsett om dörren är tänkt att användas för utrymning eller inte.

Trösklar är som nämnts ovan ett stort problem för exempelvis funktionshindrade med rullstol eller rullator. Trösklar utgör en snubbelrisk, framför allt för synskadade, särskilt i stressade situationer då många vill ut genom samma dörr. Där det är möjligt bör trösklar tas bort helt eller ersättas med så låga konstruktioner som möjligt. Som minsta åtgärd måste övergångar läggas ut som underlättar passage genom dörrarna.

För att dörrarnas fulla bredd ska kunna användas måste de vara enkla att öppna (Brandskyddsföreningen, 2006). Dagens trycken och vred skall bytas ut mot enkla och tydliga handtag samt kompletteras med så kallade panikreglar som öppnar om någon pressas mot dörren, se figur 30. De stora portarna som idag utgör brandcellsgräns mellan lokalerna måste ersättas med lättare dörrar, alternativt tas bort eller fixeras i uppställt läge. Portarna är för tunga och felaktigt utformade för att kunna användas vid publik verksamhet.



Figur 30. Exempel på panikregel (ASSA, 2009)

12.5 Vägledande markeringar

Med tidig detektion, utrymningslarm och breda dörrar kan både tiden för varseblivning och förflyttning minskas. Förberedelsetiden påverkas av utrymningslarmet men även av hur lätt det är att hitta och bestämma sig för vilken utgång som ska användas. Försök i publika lokaler har visat att personer ofta går ut samma väg som de kom in (Proulx & Sime, 1991). Tydliga vägledande markeringar över dörrar och i golvet gör att fler väljer den närmaste utgången istället för att gå tillbaka mot entrén. Genomlysta skyltar syns bäst och rekommenderas eftersom lokalerna är mycket stora. Då den kritiska nivån på siktbarhet uppnås, 1dB/m, syns en belyst skylt på cirka 10 meters avstånd medan en genomlyst är synlig på cirka 25 meters håll (Nilsson & Holmstedt, 2008). Lättlästa och välplacerade utrymningsplaner hjälper ytterligare vid val av utrymningsväg. Då lokalerna i stort sett saknar fönster och utrymningsskyltarna inte har batteribackup kommer ett strömavbrott, särskilt vintertid, att resultera i totalt mörker. En brand kan ha sin orsak i det elektriska systemet och oavsett antändningskälla kommer flammorna troligen att påverka installationer och armaturer i taket. Även vid ett strömavbrott som inte är följden av en brand, kommer mörkret att vålla en obehaglig situation för de personer som befinner sig i lokalerna. Vid simulering av utrymning har antagits att belysningen är tänd. Nödbelysning som är oberoende av den ordinarie strömförsörjningen måste därför installeras.

13. Utrymningsresultat med avseende på åtgärdsförslag

De föreslagna åtgärderna valideras i detta avsnitt med hjälp av nya simuleringar och beräkningar, för att se till vilka förslag som blir konkreta åtgärder att genomföra.

13.1 Invariabler till @Risk

För att skaffa beslutsunderlag gällande föreslagna åtgärder studerades varje variabel som en fördelning. Genom att studera en variabels fördelning kommer resultatet presenteras som ett intervall istället för ett explicit värde. Exempel på detta är att ansätta en fördelningskurva över antal personer i lokalen vilket genererar ett intervall över förflyttningstiden. På liknande sätt har fördelningskurvor för varseblivningstid, förberedelsestid och tid till kritiska förhållanden tagits fram. Datorprogrammet @Risk användes för att skapa och simulera fördelningskurvor. Programmet är ett insticksprogram till Microsoft Excel. Då fördelningskurvor används i @Risk ges ett slutgiltigt resultat som varken är för konservativt eller vice versa då simuleringar ser till hela spannet av en variabel, inte bara till ett explicit värde. Konfidensintervallet är satt till 90 %, vilket betyder att det är till 90 % sannolikhet att resultatet hamnar inom intervallet som beaktas.

13.1.1 Fördelningskurvor

För respektive brandscenario har fördelningskurvor gällande invariabler tagits fram. Alla fördelningskurvor är triangelfördelningar eftersom fördelningen endast kräver tre värden vilket underlättar då få värden är kända. De tre värdena motsvarar minimum, maximum samt ett ansatt medelvärde. Ingångsvärden till samtliga fördelningskurvor återfinns i bilaga 9.

13.1.2 Tid till kritiska förhållanden

Då Heskestads rökfyllnadsmodell beror på tillväxtkoefficienten α kan tiden till rökfyllnad presenteras som ett intervall. De andra beräkningsmodellerna är inte möjliga att presentera som fördelningskurvor. Heskestads modell har valts då tiden till kritiska förhållanden oftast ligger i mitten av samtliga modellers resultat och i de fall då tiden avviker är det av acceptabel nivå. Dessutom är Heskestad giltig för lokalernas stora volymer. För att förlänga tiden till kritiska förhållanden är ett åtgärdsförslag att aktivera brandgasventilationen. Detta studeras separat under respektive brandscenario.

13.1.3 Varseblivningstid

För att minska varseblivningstiden är åtgärdsförslaget att installera brand- och utrymningslarm. Varseblivningstiden beror av transporttiden av brandgaser till detektor samt detektionstiden, vilket tillsammans utgör den totala detektionstiden. Dessa tider har tagits fram med hjälp av datorprogrammet DETACT-QS, där effektutvecklingen har beskrivits enligt en αt^2 -kurva. DETACT-QS är ett program som med hjälp av effektutvecklingen, lokalens höjd, avstånd mellan detektorer, RTI-värde (Response Time Index) och aktiveringstemperatur tar fram den totala detektionstiden. Lokal A-D är försedda med rökdetektorer men då programmet behandlar värmedetektorer har aktiveringstemperaturer för rökdetektorer antagits (Nilsson & Holmstedt, 2008). Rökdetektorernas aktiveringstemperaturer utgör fördelningskurvan för varseblivningstid. Varseblivningstiderna behandlar punktrökdetektorerna i lokalerna, inte det aspirerande systemet då detektionstiden för detta system är avsevärt längre än för rökdetektorerna. För beräkningar och antaganden se bilaga 10.

13.1.4 Förberedelsetid

För att minska förberedelsetiden är åtgärdsförslaget att driftsätta brand- och utrymningslarmet. Fördelningskurvan i detta fall ansätts genom att se till olika tider av varseblivning för informativt meddelande respektive ringklocka. På så sätt studeras två fall för förberedelsetiden. I fallet utan brand- och utrymningslarm antas förberedelsetiden till värsta troliga fall, det vill säga att branden är skymd.

13.1.5 Förflyttningstid

Gällande förflyttningstiden har simuleringar i Simulex genomförts. De utgångar vars bredd i dagsläget understiger 1,2 meter har i simuleringarna ökats till denna bredd enligt åtgärdsförslagen i föregående kapitel. Sex nya simuleringar har gjorts med olika antal personer för att få en uppfattning om hur persontätheten påverkar förflyttningstiden. Utifrån resultaten från de sex simuleringarna har en fördelningskurva tagits fram. Utöver dessa sex fall har även simuleringar av situationer med blockerade dörrar utförts. Detta för att säkerställa att åtgärdsförslagen klarar påfrestningar. Även här presenteras förflyttningstiderna som en fördelningskurva, se bilaga 9.

13.2 Brandscenario mässmonter, lokal B

Tid till kritiska förhållanden, $t_{kritisk}$, förlängs från 8 minuter till över 15 minuter med brandgasventilation i drift, se kolumn *Brandgasventilation* i tabell 18.

Varseblivningstiden, $t_{varseblivning}$, minskas i det värsta fallet från 5 minuter till 2 minuter 7 sekunder med vidtagna åtgärder gällande installation av brand- och utrymningslarm. För de personer som befinner sig nära branden kan varseblivningstiden bli kortare än vad utrymningslarmet ger, ty de ser branden och uppfattar situationen innan utrymningslarmet ljuder. Varseblivningstiden när så är fallet ansätts till 20 sekunder. Fördelningskurvan för varseblivningstiden ger ett väntevärde på 1 minut 30 sekunder, se kolumn *Brand- och utrymningslarm* i tabell 18.

Förberedelsetiden, $t_{förberedelse}$, minskas i det värsta fallet från 4 minuter till 3 minuter 25 sekunder med vidtagna åtgärder gällande utrymningslarm och vägledande markeringar. Siffrorna är hämtade ur *Tid för utrymning vid brand* tabell 36 (Frantzich, 2000). Fördelningskurvan för förberedelsetiden gällande ringklocka ger ett väntevärde på 2 minuter 37 sekunder se kolumn *Larmdon: Ringklocka* i tabell 18. Fördelningskurvan för förberedelsetiden gällande informativt meddelande ger ett väntevärde på 1 minut 4 sekunder, se kolumn *Larmdon: Meddelande* i tabell 18. I fallet utan någon typ av utrymningslarm antas förberedelsetiden till 4 minuter, vilket motsvarar att branden är skymd.

Förflyttningstiden, $t_{förflyttning}$, simuleras med ökad bredd på de utgångar vars bredd idag understiger 1,2 meter. Utgångarna i de fallen breddas till 1,2 meter vilket är ett riktvärde enligt BBR (Boverket, 2008). Med den nya bredden ger Simulex att förflyttningstiden minskas till 2 minuter 40 sekunder om alla utgångar är tillgängliga. Om en utgång i brandrummet är blockerad blir förflyttningstiden 3 minuter 2 sekunder, se kolumn *Alla utgångar tillgängliga* i tabell 18. Uppställningen för dessa simuleringar samt grafiska resultat presenteras i bilaga 11.

Tiderna i tabell 18 som motsvarar "ej i drift" är tider som erhålls med befintligt brandskydd, förutom kolumn *Alla utgångar tillgängliga*.

Tabell 18. Brandscenario mässmonter. Väntevärde för tider avseende med och utan åtgärder. Väntevärdena är från de fördelningskurvor som använts i @Risk.

	$t_{kritisk}$	$t_{varseblivning}$	$t_{förberedelse}$		$t_{förflyttning}$
I drift	Brandgas ventilation [s]	Brand- och utrymningslarm [s]	Larmdon: Ringklocka [s]	Larmdon: Meddelande [s]	Alla utgångar tillgängliga [s]
Ja	900	90	157	64	160
Nej	480	167	240	240	182

Med tiderna i tabell 18 kan olika kombinationer av brandtekniska system undersökas. Fallet då inget system är i drift motsvarar dagens brandskydd. Genom att göra flera olika varianter av vilka system som är i drift, fås en god uppfattning om vilka delar i brandskyddet som är viktigast. I tabell 19 ges samtliga studerade fall för brandscenario mässmonter. Marginalen är väntevärdet då varje enskild tid behandlats som en fördelningskurva med 90 % konfidensintervall, se ekvation 9.

$$t_{marginal} = t_{kritisk} - t_{varseblivning} - t_{förberedelse} - t_{förflyttning} \quad \text{ekvation 9}$$

Tabell 19. Brandscenario mässmonter. Kryss motsvarar utgångsläget.

$t_{kritisk}$		$t_{varseblivning}$		$t_{förberedelse}$				$t_{förflyttning}$		Marginal [s]
Brandgasventilation		Brand- och utrymningslarm		Larmdon: Ringklocka		Larmdon: Meddelande		Alla utgångar tillgängliga		
Ja	Nej	Ja	Nej	Ja	Nej	Ja	Nej	Ja	Nej	
-	x	-	x	-	x	-	x	-	x	- 107
-	x	x	-	x	-	-	x	-	x	53
-	x	x	-	-	x	x	-	-	x	146
-	x	x	-	x	-	-	x	x	-	76
-	x	x	-	-	x	x	-	x	-	168
-	x	-	x	-	x	-	x	x	-	- 84
x	-	x	-	x	-	-	x	-	x	471
x	-	x	-	-	x	x	-	-	x	563
x	-	x	-	x	-	-	x	x	-	493
x	-	x	-	-	x	x	-	x	-	586

Av tabell 19 framgår det tydligt att det system som har störst inverkan på den totala tidsmarginalen är brandgasventilationen. Det är även tydligt att typ av utrymningslarm påverkar utrymningstiden.

13.3 Brandscenario emballage, lokal A

Tid till kritiska förhållanden, $t_{kritisk}$, förlängs från 6 minuter 17 sekunder till över 15 minuter med brandgasventilation i drift, se kolumn *Brandgasventilation* i tabell 20.

Varseblivningstiden, $t_{varseblivning}$, minskas i det värsta fallet från 5 minuter till 1 minuter 51 sekunder med vidtagna åtgärder gällande installation av brand- och utrymningslarm. För de personer som befinner sig nära branden kan varseblivningstiden bli kortare än vad utrymningslarmet ger, ty de ser branden och uppfattar situationen innan utrymningslarmet ljuder. Varseblivningstiden när så är fallet ansätts till 20 sekunder. Fördelningskurvan för varseblivningstiden ger ett väntevärde på 1 minut 19 sekunder, se kolumn *Brand- och utrymningslarm* i tabell 20.

Förberedelsetiden, $t_{förberedelse}$, minskas i det värsta fallet från 4 minuter till 3 minuter 25 sekunder med vidtagna åtgärder gällande utrymningslarm och vägledande markeringar. Siffrorna är hämtade ur *Tid för utrymning vid brand* tabell 36 (Frantzich, 2000). Fördelningskurvan för förberedelsetiden gällande ringklocka ger ett väntevärde på 2 minuter 37 sekunder se kolumn *Larmdon: Ringklocka* i tabell 20. Fördelningskurvan för förberedelsetiden gällande informativt meddelande ger ett väntevärde på 1 minut 4 sekunder, se kolumn *Larmdon: Meddelande* i tabell 20. I fallet utan någon typ av utrymningslarm antas förberedelsetiden till 4 minuter, vilket motsvarar att branden är skymd.

Förflyttningstiden, $t_{förflyttning}$, simuleras med ökad bredd på de utgångar vars bredd idag understiger 1,2 meter. Utgångarna i de fallen breddas till 1,2 meter vilket är ett riktvärde enligt BBR (Boverket, 2008). Med den nya bredden ger Simulex att förflyttningstiden minskas till 2 minuter 40 sekunder om alla utgångar är tillgängliga. Om en utgång i brandrummet är blockerad blir förflyttningstiden 2 minuter 48 sekunder, se kolumn *Alla utgångar tillgängliga* i tabell 20. Uppställningen för dessa simuleringar samt grafiska resultat presenteras i bilaga 11.

Tiderna i tabell 20 som motsvarar "ej i drift" är tider som erhålls med befintligt brandskydd, förutom kolumn *Alla utgångar tillgängliga*.

Tabell 20. Brandscenario emballage. Väntevärde för tider avseende med och utan åtgärder. Väntevärdena är från de fördelningskurvor som använts i @Risk.

	$t_{kritisk}$	$t_{varseblivning}$	$t_{förberedelse}$		$t_{förflyttning}$
I drift	Brandgas ventilation [s]	Brand- och utrymningslarm [s]	Larmdon: Ringklocka [s]	Larmdon: Meddelande [s]	Alla utgångar tillgängliga [s]
Ja	900	79	157	64	160
Nej	437	167	240	240	168

Med tiderna i tabell 20 kan olika kombinationer av brandtekniska system undersökas. Fallet då inget system är i drift motsvarar dagens brandskydd. Genom att göra flera olika varianter av vilka system som är i drift, fås en god uppfattning om vilka delar i brandskyddet som är viktigast. I tabell 21 ges samtliga studerade fall för brandscenario emballage. Marginalen är väntevärdet då varje enskild tid behandlats som en fördelningskurva med 90 % konfidensintervall, se ekvation 9.

$$t_{marginal} = t_{kritisk} - t_{varseblivning} - t_{förberedelse} - t_{förflyttning} \quad \text{ekvation 9}$$

Tabell 21. Brandscenario emballage. Kryss motsvarar utgångsläget.

t_{kritisk}		$t_{\text{varseblivning}}$		$t_{\text{förberedelse}}$				$t_{\text{förflyttning}}$		Marginal [s]
Brandgasventilation		Brand- och utrymningslarm		Larmdon: Ringklocka		Larmdon: Meddelande		Alla utgångar tillgängliga		
Ja	Nej	Ja	Nej	Ja	Nej	Ja	Nej	Ja	Nej	
-	X	-	X	-	X	-	X	-	X	- 150
-	X	X	-	X	-	-	X	-	X	21
-	X	X	-	-	X	X	-	-	X	114
-	X	X	-	X	-	-	X	X	-	29
-	X	X	-	-	X	X	-	X	-	122
-	X	-	X	-	X	-	X	X	-	- 142
X	-	X	-	X	-	-	X	-	X	496
X	-	X	-	-	X	X	-	-	X	589
X	-	X	-	X	-	-	X	X	-	505
X	-	X	-	-	X	X	-	X	-	597

Av tabell 21 framgår det tydligt att det system som har störst inverkan på den totala tidsmarginalen är brandgasventilationen. Det är även tydligt att typ av utrymningslarm påverkar utrymningstiden.

13.4 Brandscenario scen, lokal C

Tid till kritiska förhållanden, t_{kritisk} förlängs från 4 minuter 25 sekunder till över 15 minuter med brandgasventilation i drift, se kolumn *Brandgasventilation* i tabell 22.

Varseblivningstiden, $t_{\text{varseblivning}}$, minskas i det värsta fallet från 5 minuter till 1 minut 50 sekunder med vidtagna åtgärder gällande installation av brand- och utrymningslarm. För de personer som befinner sig nära branden kan varseblivningstiden bli kortare än vad utrymningslarmet ger, ty de ser branden och uppfattar situationen innan utrymningslarmet ljuder. Varseblivningstiden när så är fallet ansätts till 20 sekunder. Fördelningskurvan för varseblivningstiden ger ett väntevärde på 1 minut 19 sekunder, se kolumn *Brand- och utrymningslarm* i tabell 22.

Förberedelsetiden, $t_{\text{förberedelse}}$, minskas i det värsta fallet från 4 minuter till 3 minuter 25 sekunder med vidtagna åtgärder gällande utrymningslarm och vägledande markeringar. Siffrorna är hämtade ur *Tid för utrymning vid brand* tabell 36 (Frantzich, 2000). Fördelningskurvan för förberedelsetiden gällande ringklocka ger ett väntevärde på 2 minuter 37 sekunder se kolumn *Larmdon: Ringklocka* i tabell 22. Fördelningskurvan för förberedelsetiden gällande informativt meddelande ger ett väntevärde på 1 minut 4 sekunder, se kolumn *Larmdon: Meddelande* i tabell 22. I fallet utan någon typ av utrymningslarm antas förberedelsetiden till 4 minuter, vilket motsvarar att branden är skyddad.

Förflyttningstiden, $t_{\text{förflyttning}}$, simuleras med ökad bredd på de utgångar vars bredd idag understiger 1,2 meter. Utgångarna i de fallen breddas till 1,2 meter vilket är ett riktvärde enligt BBR (Boverket, 2008). Med den nya bredden ger Simulex att förflyttningstiden minskas till 2 minuter 40 sekunder om alla utgångar är tillgängliga. Om en utgång i brandrummet är blockerad blir förflyttningstiden 3

minuter 1 sekund, se kolumn *Alla utgångar tillgängliga* i tabell 22. Uppställningen för dessa simuleringar samt grafiska resultat presenteras i bilaga 11.

Tiderna i tabell 22 som motsvarar "ej i drift" är tider som erhålls med befintligt brandskydd, förutom kolumn *Alla utgångar tillgängliga*.

Tabell 22. Brandscenario scen. Väntevärde för tider avseende med och utan åtgärder. Väntevärdena är från de fördelningskurvor som använts i @Risk.

	$t_{kritisk}$	$t_{varseblivning}$	$t_{förberedelse}$		$t_{förflyttning}$
I drift	Brandgas-ventilation [s]	Brand- och utrymningslarm [s]	Larmdon: Ringklocka [s]	Larmdon: Meddelande [s]	Alla utgångar tillgängliga [s]
Ja	900	79	157	64	160
Nej	296	167	240	240	181

Med tiderna i tabell 22 kan olika kombinationer av brandtekniska system undersökas. Fallet då inget system är i drift motsvarar dagens brandskydd. Genom att göra flera olika varianter av vilka system som är i drift, fås en god uppfattning om vilka delar i brandskyddet som är viktigast. I tabell 23 ges samtliga studerade fall för brandscenario scen. Marginalen är väntevärdet då varje enskild tid behandlats som en fördelningskurva med 90 % konfidensintervall, se ekvation 9.

$$t_{marginal} = t_{kritisk} - t_{varseblivning} - t_{förberedelse} - t_{förflyttning} \quad \text{ekvation 9}$$

Tabell 23. Brandscenario scen. Kryss motsvarar utgångsläget.

$t_{kritisk}$		$t_{varseblivning}$		$t_{förberedelse}$				$t_{förflyttning}$		Marginal [s]
Brandgasventilation		Brand- och utrymningslarm		Larmdon: Ringklocka		Larmdon: Meddelande		Alla utgångar tillgängliga		
Ja	Nej	Ja	Nej	Ja	Nej	Ja	Nej	Ja	Nej	
-	X	-	X	-	X	-	X	-	X	- 316
-	X	X	-	X	-	-	X	-	X	- 146
-	X	X	-	-	X	X	-	-	X	- 53
-	X	X	-	X	-	-	X	X	-	- 125
-	X	X	-	-	X	X	-	X	-	- 32
-	X	-	X	-	X	-	X	X	-	- 296
X	-	X	-	X	-	-	X	-	X	483
X	-	X	-	-	X	X	-	-	X	576
X	-	X	-	X	-	-	X	X	-	504
X	-	X	-	-	X	X	-	X	-	597

Av tabell 23 framgår det tydligt att det system som har störst inverkan på den totala tidsmarginalen är brandgasventilationen. Det är även tydligt att typ av utrymningslarm påverkar utrymningstiden.

14. Osäkerhetsanalys

Resultat i denna rapport grundar sig på flertalet beräkningar, simuleringar och antaganden. Detta medför att resultaten innehåller osäkerheter som härstammar från exempelvis modeller och datorprogram som använts i arbetet. Det finns olika sätt att behandla osäkerheter, beroende på var de finns och av vilken typ de är. Osäkerheter kan övergripande delas in i naturliga variationer och kunskapsosäkerheter.

Naturliga variationer är osäkerheter som är slumpmässiga och kan ej reduceras helt. Det gäller i stället att vara medveten om dess existens och granska resultatet kritiskt. Exempel på en naturlig variation är antalet personer som befinner sig i en byggnad vid en viss tidpunkt. Mätningar och statistik kan ge ett bättre underlag vilket minskar osäkerheterna men variationen finns ändå kvar. Exempelvis kan ett plötsligt skyfall medföra att personer söker sig in i byggnaden vilket ökar personantalet.

Kunskapsosäkerheter är exempelvis bristfällig indata till de modeller som använts och modellernas giltighet. Det kan även vara brister i användarens kunskaper, i detta fall projektgruppens. Exempel på indata i denna rapport är val av tillväxtkoefficienter i de modeller som ligger till grund för brandscenarierna. Osäkerheter i modellerna kan vara datorprogrammet Argos giltighet vid stora rumsvolymer eller olika sätt att definiera "rök" i handberäkningsmetoderna. Ett exempel på brister i projektgruppens kunskaper är att vissa parametrar inte kunnat programmeras i FDS.

I denna rapport har följande viktiga osäkerheter identifierats (utan inbördes ordning):

- Tillväxtkoefficienter, α , har uppskattats utifrån försök och vilka material som bedöms förekomma i lokalen.
- Rökfyllnadsmodellerna är i vissa fall lite eller inte validerade för de stora rumsvolymer.
- Resultat från datorprogram och handberäkningar skiljer sig i vissa fall kraftigt åt.
- Triangelfördelningar i @Risk har uppskattats utifrån litteratur och egna bedömningar.
- Riskskattningar är projektgruppens egna, mestadels på statistik grundade, bedömningar.
- Simulex är en modell av verkligheten med förenklingar och begränsningar.
- Konfidensintervallet för resultat från @Risk är satt till 90 %.
- Byggnadens geometri har förenklats vid beräkningar.
- Verksamhetsbeskrivningar grundar sig på fastighetsägarens planerade evenemang.
- Status hos tekniska system i det befintliga brandskyddet har bedömts utifrån ett besök i byggnaden och i vissa fall bristfälligt dokumentationsmaterial.

För att hantera osäkerheter genomförs en känslighetsanalys som visar på vilka variabler som mest påverkar resultatet. Dessa variabler kan sedan undersökas närmare för att minska osäkerheten i slutresultatet.

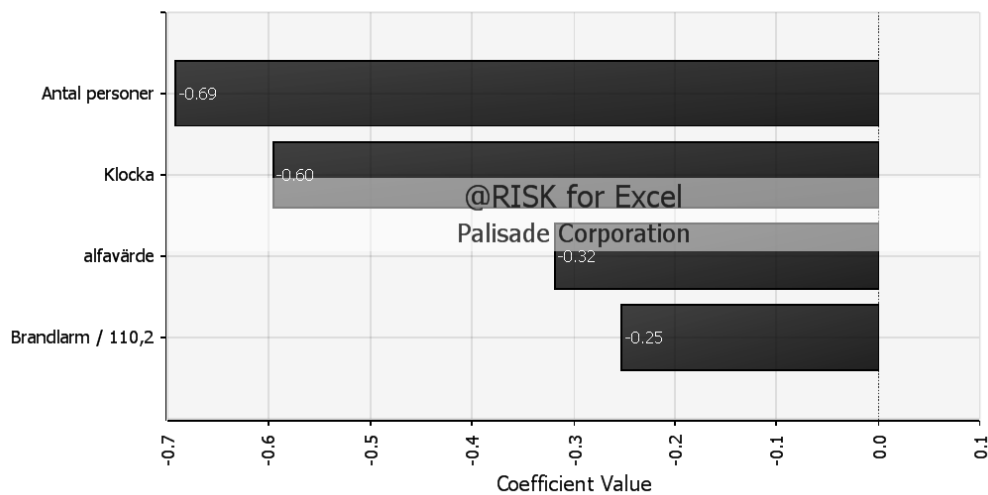
15. Känslighetsanalys

En känslighetsanalys ser till hur variabler i indata påverkar resultatet. Genom att beakta detta ges en djupare förståelse för vilka indata som är av störst betydelse för slutresultatet och vilka parametrar som spelar mindre roll. Slutresultatet i denna rapport är tidsmarginalen som kvarstår efter att den totala utrymningstiden subtraherats från tiden till då kritiska förhållanden uppstår, se ekvation 9.

$$t_{\text{marginal}} = t_{\text{kritisk}} - t_{\text{varseblivning}} - t_{\text{förberedelse}} - t_{\text{förflyttning}} \quad \text{ekvation 9}$$

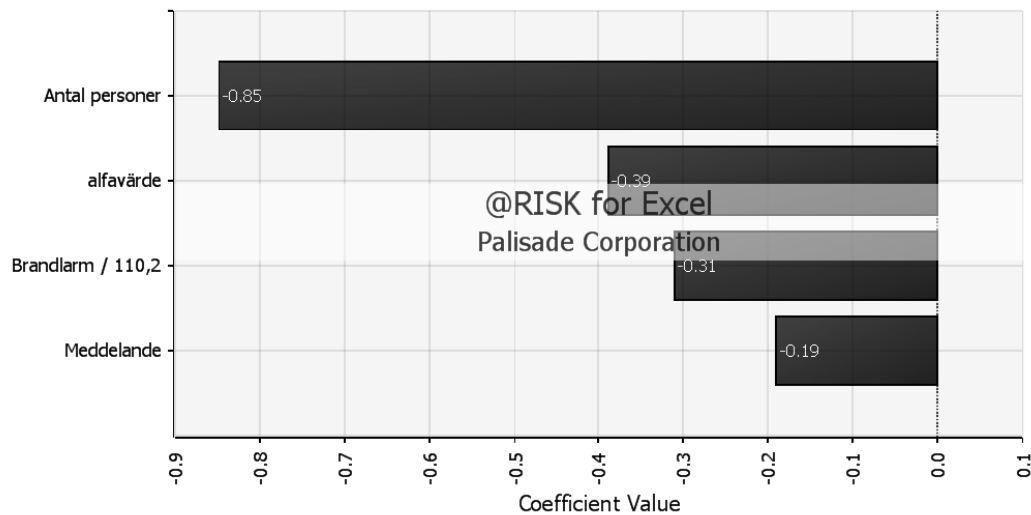
Figur 31 och 32 visar två exempel på känslighetsanalys med hjälp av ett tornadodiagram från @Risk. Figuren visar på fallen med fungerande brand- och utrymningslarm kopplat till ringklocka respektive informativt meddelande.

Utan brandgasventilation, med brandlarm, ringklockor och alla utgångar tillgängliga.



Figur 31. Exempel på en känslighetsanalys, presenterad i ett Tornadodiagram. Diagrammet visar hur mycket en variabel påverkar slutresultatet.

Utän brandgasventilation, med brandlarm, meddelande och alla utgångar tillgängliga.



Figur 32. Exempel på en känslighetsanalys, presenterad i ett Tornodiagram. Diagrammet visar hur mycket en variabel påverkar slutresultatet.

Ur figurerna kan utläsas att antal personer i lokalen är den parameter som mest påverkar utrymningstiden. Vid simuleringar har visats att det skapas köer vid utgångarna och att förflyttningstiden är beroende av personflödet ut genom dessa. I praktiken innebär detta att den totala dörrbredden blir den parameter som mest påverkar förflyttningstiden. Tillväxtkoefficienten (alfavärde) påverkar tid till kritiska förhållanden och därmed tidsmarginalen i båda fallen. Larmdon i form av ringklockor ger mindre marginal för utrymning än vad informativt meddelande gör. Detta visas genom att parametern för larmdonstyp hamnar högre upp i tornodiagrammet. Att det finns ett fungerande brandlarm är mycket viktigt men syns inte i jämförelse mellan de båda figurerna då det är i drift i båda simuleringarna.

Sammanställning av känslighetsanalyser, sammanlagt 30 fall, visar enhälligt att de variabler som mest påverkar resultatet är:

- Om brandlarm är i drift. Brandlarmet aktiverar såväl brandgasventilation som utrymningslarm.
- Om brandgasventilation är i drift då denna kraftigt förlänger tiden till kritiska förhållanden.
- Antal personer i lokalerna och antal samt bredd på tillgängliga utrymningsvägar.

De parametrar som efter känslighetsanalysen anses som viktigast är de som framförallt styr de konkreta åtgärdsförslagen gällande brandskydd.

16. Åtgärder

Nedan presenteras förslag på åtgärder av brandskyddet som framkommit med hjälp av ovanstående beslutsunderlag. Förslagen delas in i tre kategorier. I ”skall”-kategorin behandlas krav som framkommit till följd av den analytiska dimensioneringen i rapporten samt krav enligt regelverk. I ”bör”-kategorin återges de förslag som rekommenderas men som inte är krav.

16.1 Åtgärder som skall genomföras enligt analytisk dimensionering

Simuleringar och beräkningar med avseende föreslagna åtgärder ger att Hangar 92 skall utrustas med följande punkter för att upprätthålla ett skäligt brandskydd gällande ny verksamhet. Dörrar anges enligt den numrering som återfinns i bilaga 1. Punkterna nedan presenteras enligt följande ordning:

- a. Åtgärd
 - b. Motivering
 - c. Konkret förslag – i de fall där det krävs förtydligande.
1. **a. Inget emballage får lagras, staplas eller förvaras inomhus.**
 - b. Trots att tidsmarginalen blir positiv med åtgärder, är det inte acceptabelt att förvara emballage i någon av lokalerna A-G. Ett brandscenario som detta ger strålningsnivåer långt över gränsvärden samt genererar flammor på cirka 7 meter. Flammorna riskerar att slå i taket och påverka installationer och ytskikt som kan falla ner.
 2. **a. Inga provisoriska väggar som skymmer utgångar får byggas i lokalerna.**
 - b. Enligt den ritning som varit underlag till simuleringar och beräkningar, figur 7, skymms en utgång (nummer 22) av en provisorisk vägg och kan på så sätt inte användas.
 3. **a. Gång mellan dörr 36 och 37 skall avskiljas brandtekniskt från angränsande kontorslokaler.**
 - b. Denna brandcellsgräns medför att gången blir en del av lokal A vilket medför att gången inte behöver behandlas som en utrymningsväg med högre krav på ytskikt och beklädnad.
 - c. Avskilj gången mot kontorsdelen i lägst brandteknisk klass EI60 enligt BBR 5:2. För ny brandcellsindelning, se bilaga 12.
 4. **a. Alla dörrar i utrymningsväg skall ha en bredd om minst 1,2 meter.**
 - b. Simuleringar visar att 1,2 meters dörrbredd är nödvändig för att säkerställa utrymning.
 - c. Bredda dörrar motsvarande nummer 3,6,14,18,48 och 50.
 5. **a. Befintliga skjutportar skall alltid vara öppna eller bytas ut mot annan typ av dörr.**
 - b. Skjutportar försvårar utrymningen ur lokalerna, då tillgängligheten begränsas.
 - c. Befintliga skjutportar motsvarande nummer 0,1,5,7,16,17,20 och 21 skall antingen svetsas fast i uppställt läge eller bytas ut mot dörrar som upprätthåller kraven avseende utrymning.
 6. **a. Dörrar i utrymningsväg skall ej ha tröskel.**

- b. Trösklar i utrymningsväg försvårar utrymningen, till exempel för rullstolar.
- c. Dörrar motsvarande nummer 3,14,18, 48 och 50 skall utföras utan tröskel.
7. **a. Brandlarm skall vara i drift.**
- b. Beräkningar och simuleringar visar att acceptabel utrymning ej kan säkerställas om inte brandlarm är i drift.
8. **a. Don för urkoppling av rökdetektorer skall monteras bort.**
- b. Om brandlarmet inte aktiverar, fallerar hela brandskyddet. Bortkoppling av detektorer ska enbart kunna göras av behörig personal via centralapparaten eller låst manöverpanel.
9. **a. Brand- och utrymningslarmet skall endast ha en larmnivå.**
- b. En larmnivå lämpar sig för den nya typen av verksamhet, eftersom det är av största vikt att personer i lokalerna blir varse så fort som möjligt om att det brinner.
10. **a. Automatiskt brand- och utrymningslarm skall vidarekopplas till räddningstjänsten.**
- b. Med en så hög persontäthet är det lämpligt att tillkalla räddningstjänsten så fort som möjligt.
11. **a. Utrymningslarm skall vara installerat.**
- b. Beräkningar och simuleringar visar att utrymning ej kan säkerställas om inte utrymningslarm är i drift.
13. **a. Brandgasventilation skall vara i drift.**
- b. Beräkningar och simuleringar visar att brandgasventilation i drift förlänger tiden till att kritiska förhållanden uppstår vilket säkerställer utrymning.
14. **a. Ventilationen i gången mellan dörr 36 och 37 skall inte vara en del av kontorsdelens ventilationssystem.**
- b. Om brand inträffar i kontorsdelen med nuvarande ventilationssystem skulle brandgasspridning kunna ske till gången mellan dörr 36 och 37. Detta skulle försvåra utrymning från lokal A.
15. **a. Cirkulationsfläktar i tak i lokal A skall ej vara i drift vid verksamhet.**
- b. Om cirkulationsfläktarna är i drift vid brand, skulle fläktarna ventilera brandgaser ned mot golvet då de aktiverar på temperaturskillnader.
- c. Koppla cirkulationsfläktarna till förslagsvis strömbrytare till allmänbelysning. Detta innebär att när allmänbelysningen slås på stoppar fläktarna.



Figur 33. Don för frångkoppling rökdetektorer. Skall monteras bort, foto privat.

16.2 Åtgärder som skall genomföras enligt regelverk BBR kapitel 5 och LSO

Förutom det som framkommit i simuleringar och beräkningar skall Hangar 92 förses med följande punkter, enligt BBR kapitel 5, för att upprätthålla ett skäligen brandskydd gällande ny verksamhet. För vilken siffra som motsvarar vilken dörr se bilaga 1. Punkterna nedan presenteras enligt följande ordning:

- a. Åtgärd
 - b. Motivering
 - c. Konkret förslag – i de fall där det krävs förtydligande.
1. **a. Vägledande markering skall utföras av sakkunnig enligt AFS 2008:13 (AV, 2008).**
 - b. Då lokalerna i byggnaden i stort sett saknar dagsljusinsläpp försvåras utrymning. Dessutom antas personer som befinner sig i lokalerna inte ha god lokalkännedom.
 2. **a. Nödbelysning skall installeras enligt SS-EN 1838 (BBR 5:353).**
 - b. Nödbelysning skall installeras för att möjliggöra utrymning på ett säkert och effektivt sätt även vid strömavbrott.
 3. **a. Alla dörrar i utrymningsväg skall utföras enligt BBR 5:34 avseende framkomlighet.**
 - b. Dörrar skall utföras så att utrymningen underlättas.
 4. **a. Anordningar för manuell släckning skall utföras i enlighet med BBR 5:93.**
 - b. Tillgång till släckutrustning för manuell släckning kan vara avgörande för att förhindra en större brand då den kan slås ned i tidigt skede.
 5. **a. Utrymningsplaner skall placeras och utformas i enlighet med SS 2875.**
 - b. Utrymningsplaner underlättar för personer i lokalerna att utrymma.
 6. **a. Upprätta Systematiskt brandskyddsarbete, SBA.**
 - b. Enligt SFS 2003:778 Lag om skydd mot olyckor, kapitel 2, 2-3§§, skall ägare eller nyttjanderättshavare uppfylla flera krav gällande brandskyddet. Ett väl fungerande systematiskt brandskyddsarbete är ett effektivt sätt att säkerställa att kraven uppfylls.
 - c. Förslag på hur SBA kan bedrivas finns i Statens räddningsverks allmänna råd och kommentarer om systematiskt brandskyddsarbete (SRVFS 2004:3). Dokumentationen av brandskyddet skall vara tillräcklig för att säkerställa underhåll och att skäliga brandskyddsåtgärder, både tekniska och organisatoriska.



Figur 34. Provisoriskt upphängd vägledande markering, foto privat.

16.3 Åtgärder som bör genomföras

Förutom "skall-kraven" enligt ovan, rekommenderas det att lokalerna utrustas med följande:

Måla över eller ta bort gamla markeringar för flygplan så dessa inte kan förväxlas med vägledande markering för utrymning.

Om det skall bedriva större dans- eller konsertevenemang är det av största vikt att brandlarmet kopplas så att musiken stoppas och ljuset tänds om brandlarm aktiverar.

Till utrymningslarmet bör blyxtljus kopplas. Detta för att underlätta utrymning för hörselskadade.

Flamdetektorer bör vara urkopplade i dagsläget, och lämpar sig ej för den verksamhet som bedrivs i lokalerna idag, då risken för falsklarm är stor.

Beträffande dörrar med trösklar bör det som minsta åtgärd läggas ut övergångar som underlättar passage genom dörrarna.

Larmdon bör göras lätt identifierbara. Idag är det svårt att uppfatta var vissa är placerade, se figur 35. Informationen är högst tvetydig gällande vilket don som tillhör brandlarmet, samt svårt att identifiera dessa röda don mot röd bakgrund.

Då brandlarmet aktiverar rekommenderas det att ventilationen inte stängs av. Med vidtagna åtgärder kommer brandcellsgränserna att ändras, vilket medför att dagens ventilationssystem inte kommer ha någon inverkan på brandgasspridning.

Inför verksamhet och arrangemang som ställer särskilda krav på brandskyddet, exempelvis uppträdande med pyrotekniska effekter, bör den lokala räddningstjänsten kontaktas. Det samma gäller om tillfälliga eller permanenta förändringar i brandskyddet skall göras.



Figur 35. Exempel på placering av larmdon, foto privat.

17. Diskussion

Diskussion om felkällor och antaganden har förts löpande i rapporten och här sammanställs de delar som bör poängteras ytterligare.

Idag bedrivs inte något systematiskt brandskyddsarbete på objektet. Alla ägare av byggnader är, enligt lagen om skydd mot olyckor (SFS 2003:778), skyldiga att upprätthålla skäligt brandskydd och förebygga att brand kan uppstå. Ett systematiskt brandskyddsarbete, så kallat SBA, är en bra metod för att säkerställa att lagkraven uppfylls.

Beträffande det befintliga brandskyddet råder det osäkerheter om vilka system som är funktionsdugliga i dagsläget. I rapporten har gjorts antagandet att inget system är i drift. Systemen som berörs i åtgärdsförslagen måste besiktigas och funktionsprovas samt fortsättningsvis regelbundet kontrolleras. Förslagsvis ingår detta som en del i ett systematiskt brandskyddsarbete.

Av åtgärdsförslagen är det endast utrymningslarmet som ges två alternativ, ringklocka eller informativt meddelande. Simuleringar och litteraturstudier visar att ett informativt meddelande är det bästa av de två systemen. Resultaten från @Risk visar att om brandgasventilationen fungerar är ringklocka ett tillräckligt bra alternativ. I publika och stora lokaler är dock ett informativt meddelande att föredra eftersom det är lättare att tolka innebörden. Ringklockor kan uppfattas som en annan signal, exempelvis ett inbrotts- eller driftlarm. Det kan även vara svårt att hitta var signalen kommer ifrån om lokalerna är stora eller ringklockorna är skymda bakom mässmontrar.

Resultat från simuleringar och känslighetsanalys visar att brandlarmet är den viktigaste delen av de brandtekniska systemen. Brandlarmet aktiverar både brandgasventilationen och utrymningslarmet vilka båda har stor betydelse för den totala utrymningstiden. Vilka detektorer som används för att initiera brandlarmet påverkar detektionstiden vilken bör vara så kort som möjligt. I dag finns rökdetektorer både i form av samplande system och punktdetektorer. I de scenarier som beräknats ger punktdetektorerna en tidigare initiering av brandlarmet. Det samplande systemet har dock en högre känslighet och erbjuder därmed en större möjlighet att upptäcka bränder i ett tidigt skede. Glödbränder och brandhärddar med låg effektutveckling kan därmed upptäckas och möjligen hindras från att tillväxa med hjälp av handbrandsläckare och inomhusbrandposter. Den höga känsligheten ökar dock risken för falsklarm vilket måste beaktas när verksamhet planeras. Vid uppträdanden med exempelvis eldslukare eller förevisning av matlagning bör systemet kunna kopplas ur. Bortkoppling får endast göras av behörig person med godkännande från den brandskyddsansvarige. Projektgruppen ser en fördel i att de båda detektionssystemen behålls då de kompletterar varandra.

Gällande framtagna brandscenarier låg den största svårigheten i att skatta sannolikhet och konsekvens för respektive fall. Endast en ringa mängd statistik fanns att tillgå, vilket lade ett stort ansvar på projektgruppen. Detta innebär att skattningarna är subjektiva bedömningar och grundar sig på projektgruppens egna värderingar och erfarenheter. De ursprungliga tio brandscenarierna avgränsades till tre som anses täcka in även de övriga. Scenarier som ansetts falla utanför arbetets ramar har utelämnats. Det kan dock finnas scenarier som inte identifierats men som har högre kombination av sannolikhet och konsekvens än de som utretts.

Kritiska förhållanden har ansatts till att inträffa då brandgaserna når en höjd av 3,2 meter över golvet. Detta värde är högre än det som föreslås i BBR men därmed inte nödvändigtvis konservativt.

Brandgaslagret kommer förvisso att vara längre ifrån de utrymmande och därmed minskas risken för inandning av toxiska gaser. Dörrhöjden i lokalerna är dock större än normalt och därmed är vägledande markeringar placerade högre upp vilket påverkar siktbarheten av dem. Dörrhöjden är avgörande för när brandgaser börjar spridas mellan lokalerna. Risken finns att väl omblandade förhållanden uppstår i den angränsande lokalen om brandgaserna kyls när de passerar genom dörrarna. Ingen hänsyn har tagits till eventuella koncentrationer av toxiska gaser då detta är svårt att beräkna samt att brandgaserna antas stiga mot taket och bilda någorlunda stabila brandgaslager. Simuleringar i FDS stödjer detta antagande. I FDS kan toxiciteten simuleras men detta har inte gjorts på grund av flera orsaker. Svårigheten att beskriva sammansatta bränslen och det faktum att det finns begränsningar i förbränningsmodellen är två av dessa. Resultaten från simuleringarna därmed osäkra och inte helt tillförlitliga. Värmestrålning från brandgaslagret har inte studerats närmare men överslagsberäkningar visar att kritiska förhållanden på grund av värmestrålning inte inträffar.

Flera modeller har använts för beräkning av tid till kritiska förhållanden. Störst vikt har lagts på rökfyllnadstiden då denna varit lättast att beräkna på ett tillförlitligt sett och ansetts viktigast. Värmestrålning och lufttemperatur har bedömts som mindre viktiga då lokalerna har mycket stor volym samt högt i tak. Tiden som åtgår för att transportera brandgaserna från branden till taket beaktas inte i Argos samt Tanaka och Yamanas metod. Dessa modeller ger därför en kortare tid till rökfyllnad. Den stora volymen medför även en osäkerhet på grund av tveksamheter angående modellernas giltighet. Argos har inga uttalade volymbegränsningar som exempelvis CFAST, vilket är ett liknande datorprogram (NIST, 2005). Simuleringar i FDS har gjorts med antagandet om adiabatiska förhållanden vilket medför att brandgasernas temperatur blir högre än om värmeöverföring till väggar och tak beaktats. Temperaturen i lokalen blir ändå inte högre än ansatta gränsvärden för kritiska förhållanden och beräkningarna kan därför anses som konservativa. Resultat från beräkningar med Heskestads rökfyllnadskorrelation överrensstämmer väl med resultaten från övriga modeller. Korrelationen är dessutom validerad för de stora volymerna och relativt kraftiga bränder samt är enkel att uttrycka som en fördelning. Av denna anledning har endast denna korrelation använts vid de senare valideringarna av åtgärdsförslagen.

Gällande resultaten från simuleringarna i FDS finns osäkerheter. I simuleringarna har rutnätet valts utifrån geometrin på rummen och det faktum att antal celler i x-, y- och z-led ska vara delbart med 2,3 och 5. Detta fick till följd att cellerna inte blev exakt kubiska vilket kan ha påverkat resultatet. I simuleringar med CFD ska cellernas geometri vara kubiska för att modellen korrekt ska lösa ekvationerna för varje tidssteg. I simuleringen av brand i stor mässmonter valdes HRRPUA (heat release rate per unit area) till 16 MW/m^2 på en brännaryta av 1 m^2 . Det innebär att längre in i brandförloppet då effektutvecklingen är stor kan flammorna felaktigt antas bli högre än om en större bränsleyta ansatts. Det här kommer sannolikt påverka resultaten från simuleringarna eftersom i verkligheten hade en brand inte uppvisat så höga flammor. Ytterligare en orsak till osäkerhet i resultaten från simuleringarna kan vara indelningen av rutnäten i simuleringarna där rutnätets oberoende skulle påvisas. Här låg vissa gränser mellan rutnäten för nära brandplymen vilket påverkar resultaten då FDS har svårigheter att beskriva flödet av brandgaser mellan rutnäten med höga hastigheter. Om gränsen ligger för nära brandplymen, vilken har relativt hög hastighet, kan detta påverka resultatet. En svårighet i FDS är att beskriva sammansatta bränslen korrekt. I en mässmonter kan bränslet bestå av flera olika material med varierande materialegenskaper.

Bränslet har i simuleringarna ansatts till cellulosa. Detta är en förenkling som påverkar resultatet eftersom sotproduktionen och effektutvecklingen i simuleringen avviker från verkligheten.

I beräkningar gällande effektutveckling, för de tre brandscenarierna, ges värden för den maximala samt den effektutveckling som råder vid tid till kritiska förhållanden. För varje scenario är den maximala effektutvecklingen relativt hög vilket kan verka mindre rimligt. Det är mindre sannolikt att maximal effektutveckling uppnås, men risken kan inte negligeras. Även om de höga effektutvecklingarna inte skulle uppnås visar beräkningar att även små bränder med låg effektutveckling medför kritiska förhållanden, dock efter något längre tid.

Rumsgeometrin för lokalerna har förenklats till rätblock utan takåsar, bjälkar, installationer i taket och på väggarna. Brandgaserna har därmed antagits kunna flöda fritt och utan hinder eller platser att ansamlas på. Eventuell påverkan från ventilationen har inte heller beaktats. Det utstickande partiet av kontorsdelen i Lokal A har bortsetts från vid beräkningar av brandscenarier. Detta medför att beräknade rökfyllnadstider blir något kortare än om den extra volymen räknats med.

Av de olika tiderna som tillsammans utgör den totala utrymningstiden, har varseblivningstiden varit den mest svårbedömda. Ingen statistik har funnits tillgänglig över fallet när inget utrymningslarm är installerat. Varseblivningstiden för dessa fall har därför uppskattats med hjälp av litteratur och genom diskussioner i projektgruppen. De övriga tiderna grundar sig på ett begränsat material från utrymningsförsök och rapporter.

Fördelningskurvor över de ingående parametrarna för simuleringar i @Risk har ansatts utifrån en mängd olika data. Hur dessa data tagits fram beskrivs närmare i rapporten och påverkar slutresultatet i varierande utsträckning. Konfidensintervallet vid tolkning av slutresultatet har satts till 90 %.

Som en jämförelse kan rapportens analytiska dimensionering jämföras med om dimensioneringen utförts med förenklad metod enligt krav från BBR. Det enda som avviker är gångavstånden som med förenklad dimensionering får vara maximalt 30 meter (Boverket, 2008). Den analytiska dimensioneringen har visat att detta krav kan bortses ifrån, då föreslagna åtgärder är tillräckliga för att upprätthålla ett skäligt brandskydd.

Rapporten bygger på uppställningen enligt den så kallade Noliämässan. De åtgärdsförslag som är framtagna ser till fler uppställningsmöjligheter och evenemang än enbart denna. Det är, med vidtagna åtgärder, möjligt att arrangera många olika sorters tillställningar i lokalerna.

Slutsatsen av arbetet är att det nuvarande brandskyddet i lokalerna inte är tillfredsställande och måste åtgärdas innan evenemang arrangeras. I dagsläget råder det en oacceptabelt hög risk för personskador om brand skulle uppstå. Om "skall"-åtgärderna utförs får Hangar 92 ett fullgott brandskydd och kan användas för publik verksamhet med som maximalt 1500 personer samtidigt i lokalerna. Om ett större antal besökare önskas måste dimensioneringen kompletteras med ytterligare simuleringar och beräkningar.

18. Källförteckning

- ASSA. (2009). 1130- ASSA AB. Hämtat från ASSA Abloy hemsida: <http://www.assa.se/Web/Apps/Products/ProductImageView.aspx?id=96370&epslanguage=s v&groupId=3902&productId=277087&companyCode=ASSA>) den 28 04 2010
- AUFEG. (2000). *Australian Fire Engineering Guidelines 1996*. Sydney: Fire Code Reform Centre Limited.
- AV. (2008). *Arbetsmiljöverkets föreskrifter om skyltar och signaler, AFS 2008:13*. Solna: Arbetsmiljöverket.
- Babrauskas, V. (1996). Fire modeling tools for FSE: Are they good enough? *Journal of fire protection engineering* , vol 8, s 43-51.
- Babrauskas, V. (2003). *Ignition Handbook*. Issaquah: Fire Science Publishers.
- Boberg, M., Jernström, J., & Reuterswärd, S. (den 1 09 2009). *Översiktsplan för Västra Frösön*. Hämtat från Östersunds kommun: http://ostersund.se/download/18.3f13b42711f85410a348000547/%C3%96versiktsplan_utst%C3%A4llning.pdf den 11 02 2010
- Boverket. (2008). Regelsamling för byggande, BBR 2008. *Boverkets Byggregler kap. 5* . Karlskrona: Boverket.
- Boverket. (2006). *Utrymningsdimensionering*. Karlskrona: Boverket.
- Brandskyddsföreningen. (2006). *Panik och nödutrymningsbeslag*. Stockholm: Svenska Brandskyddsföreningen.
- Brandskyddsföreningen. *SBF 110:6 Regler för automatisk brandlarmanläggning*. Stockholm: Svenska Brandskyddsföreningen.
- Brandteknik. (2005). *Brandskyddshandboken, Rapport 3134*. Lund: Lunds Universitet.
- Drysdale, D. (2000). *An introduction to fire dynamics*. Chinchester: John Wiley & Sons.
- Fortifikationsverket. (2003). *Driftinstruktion Hangar 092 F4 Frösön K0097.092*. Eskilstuna: Fortifikationsverket.
- Frantzich, H. (1998). *Användarmanual till SIMULEX ver 1.2*. Lund: Lunds Universitet.
- Frantzich, H. (2000). *Tid för utrymning vid brand*. Karlstad: Räddningsverket.
- Halmstad kommun. (u.d.). *För och grundskolor i Halmstad*. Hämtat från Barn och ungdomsförvaltningen: http://www.utb.halmstad.se/_upload/gy/da%20vinci/Foto%20Film/UF%202008/UF%20mäss a%202008011.JPG den 22 04 2010
- Harrison, R., & Spearpoint, M. (2006). Entrainment of air into a balcony spill plume. *Journal of Fire Protection Engineering* , nr 16; 211-244.
- Husted, B. P., & Södring, T. W. (2003). *Argos theory manual*. Hvidovre: Danish insitute of fire and security technology.
- Jacobsson, A. (2009). Opublicerat föreläsningmaterial i riskanalytometoder, Lunds Universitet. *Riskidentifiering* . AJ Risk Engingeering AB Stenungsund.
- Jensen, L. (1998). *Brandgasspridning via ventilationssystem, Rapport TABK-98/7050*. Lund: Lunds Universitet.

Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. London: CRC Press.

Lantmäteriet. (2010). Karta över Östersund. *Digitala Kartbiblioteket*. Gävle: Lantmäteriet.

McGrattan et al. (2007). *Fire Dynamics Simulator (version 5) user's guide*. Gaithersburg: NIST, National Institute of Standards and Technology.

MSB. (2010). *IDA-portalen*. Hämtat från Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, IDA version 1.4.1: <http://ida.msb.se/port61/main/p/a0377> den 11 02 2010

NFPA. (2009). *NFPA code 92B*. Quincy: National Fire Protection Association.

Nilsson, D., & Holmstedt, G. (2008). *Kompendium i aktiva system -Detektion, Rapport 7030*. Lund: Lunds Universitet.

NIST. (2005). *CFAST- Consolidated model of fire growth and smoke transport (version 6)*. Washington: National institute of standards and technology.

NJR. (u.d.). *Räddningstjänsten Norra Jämtland*. Hämtat från Organisation: <http://www.raddningsforbundet.se/organisation.asp> den 30 04 2010

Nolia. (2010). *Nolia Utbildning och Framtid*. Hämtat från Monterskiss Östersund: <http://www.nolia.se/uf/index.php?id=209&visaunder=105&visa=169&sidtyp=undersida&Sidtitel=Monterplacering> den 11 02 2010

Proulx, G., & Sime, J. D. (1991). To prevent "panic" in an underground emergency: why not tell people the truth? *Fire safety science - third international symposium* (ss. 843-852). Borehamwood: International association for fire safety science.

Riskkollegiet. (1991). *Att jämföra risker*. Stockholm: Riskkollegiet.

Riskkollegiet. (1993). *Upplevd risk*. Stockholm: Riskkollegiet.

SFPE. (2002). *SFPE Handbook of fire protection engineering*. Quincy: National Fire Protection Association.

Sime, J. D. (1980). *Fires and human behaviour*. London: John Wiley & Sons Ltd. .

Skellefteå Kommun. (u.d.). Hämtat från <http://www.skelleftea.se/default.aspx?id=16022> den 16 02 2010

Skellefteå Kommun. (den 02 06 2009). *Elfel*. Hämtat från Skellefteå kommun: <http://www.skelleftea.se/default.aspx?id=16022> den 16 02 2010

SP. (u.d.). *Anlagd brand*. Hämtat från Brandforsk särskild satsning om Anlagd brand: <http://www.anlagdbrand.se/sv/Sidor/default.aspx> den 16 02 2010

Svenska Mässkonsult Nord AB. (u.d.). *Välkommen till Expo Norr*. Hämtat från Expo Norr: <http://www.exponorr.nu/> den 11 02 2010

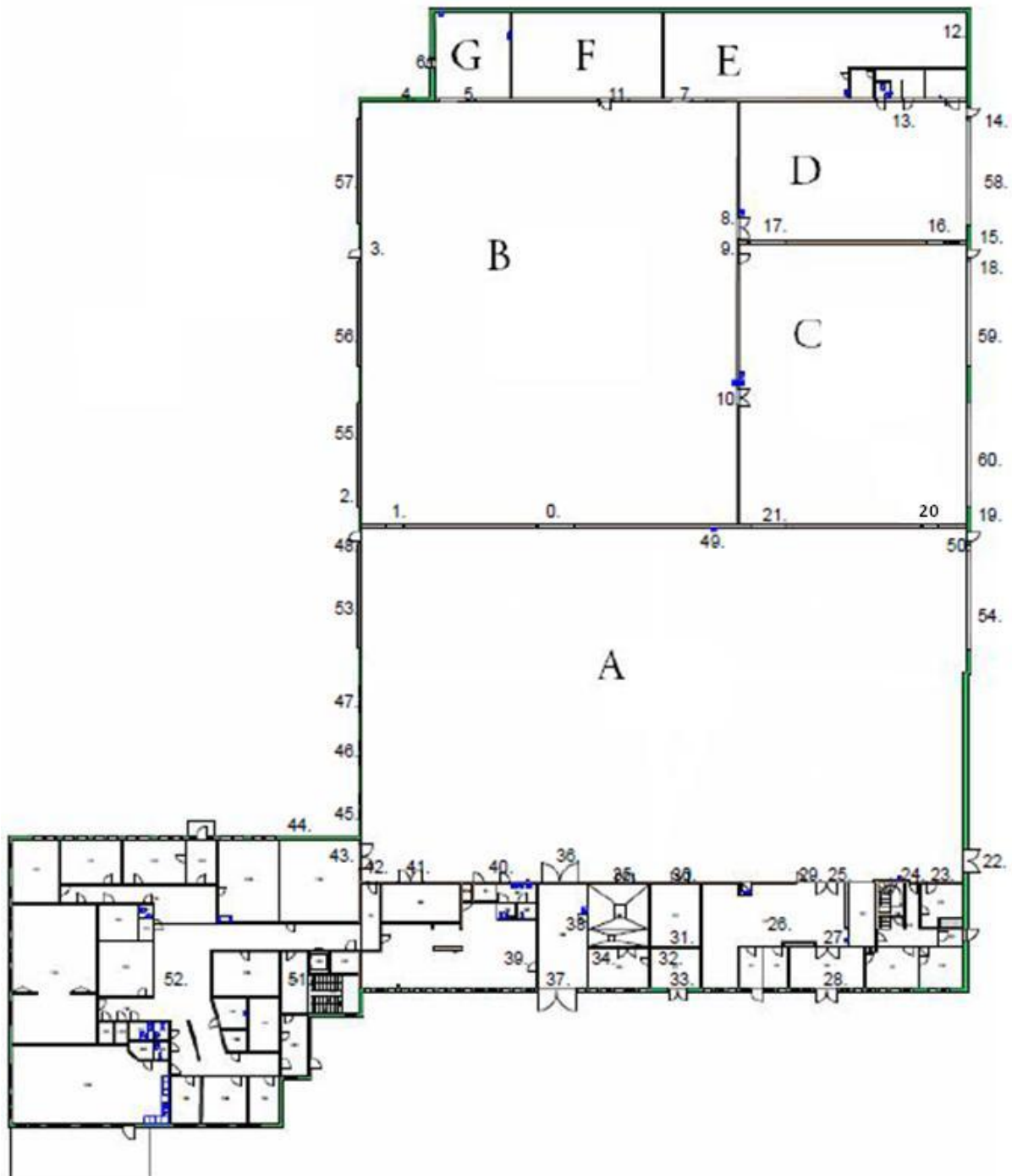
Särdqvist, S. (1993). *Initial Fires*. Lund: Lunds Universitet.

Tanaka, T., & Yamana, T. (1985). Smoke control in large scale spaces. *Fire science and technology, Vol. 5 No.1*, 31-54.

Vasallen AB. (2010). *Om Vasallen*. Hämtat från Vasallen hemsida: <http://www.vasallen.se/Svenska/om-vasallen/om-vasallen.html> den 11 02 2010

Bilaga 1. Ritning över lokal A-G.

Ritning över portar och fönster i markplan på Hangar 92, ritningsförklaring nedanför.



Figur 1.1. Ritning över lokalerna i Hangar 92.

Tabell 1.1. Mått på portar och fönster i markplan på Hangar 92.

Nr.	Sort	Bredd [cm]	Höjd [cm]	Beslag	Övrigt
0	Stor skjutdörr i brandcellsgräns	360	320	Fast handtag	
1	Skjutdörr i brandcellsgräns	120	210	Fast handtag	
2	Fönster i skjutport	88	88	Ej öppningsbart	Bröstningshöjd: 107 cm
3	Dörr i skjutport	100	203	Vred och fast handtag	Tröskel: 8 cm
4	Två fönster	90	80	Endast öppningsbara med nyckel	Gallerförsedda, bröstningshöjd: 113 cm
5	Skjutport	288	250	Fast handtag	
6	Dörr	90	204	Tryck och vred	Möjlighet att öppna upp till 140
7	Skjutport	288	250	Fast handtag	
8	Dörr	90	245	Trycke	Möjlighet att öppna upp till 140
9	Dörr	90	204	Trycke	
10	Dörr	170	245	Trycke	
11	Dörr				Till fläktrum
12	Utrymningsväg	190+195	293	Trycke och vred	Mynnar till två dörrar ut till det fria
13	Dörr	80	204		
14	Dörr i skjutport	100	203	Trycke och vred	Tröskel: 8 cm
15	Fönster	90	90	Ej öppningsbart	Bröstningshöjd: 115 cm
16	Skjutport	120	210	Inget	
17	Skjutport	360	248	Inget	
18	Dörr i skjutport	100	205	Trycke och vred	Tröskel: 8 cm
19	Fönster i skjutport	90	90	Ej öppningsbart	Bröstningshöjd: 109 cm
20	Skjutport	120	210	Fast handtag	
21	Skjutport	362	320	Fast handtag	
22	Dubbeldörr	200	245	Vred	
23	Dörr	80	205	Vred	
24	Dörr	80	205	Vred	
25	Dubbeldörr	200	235	Vred	
26					Ingen egen korridor

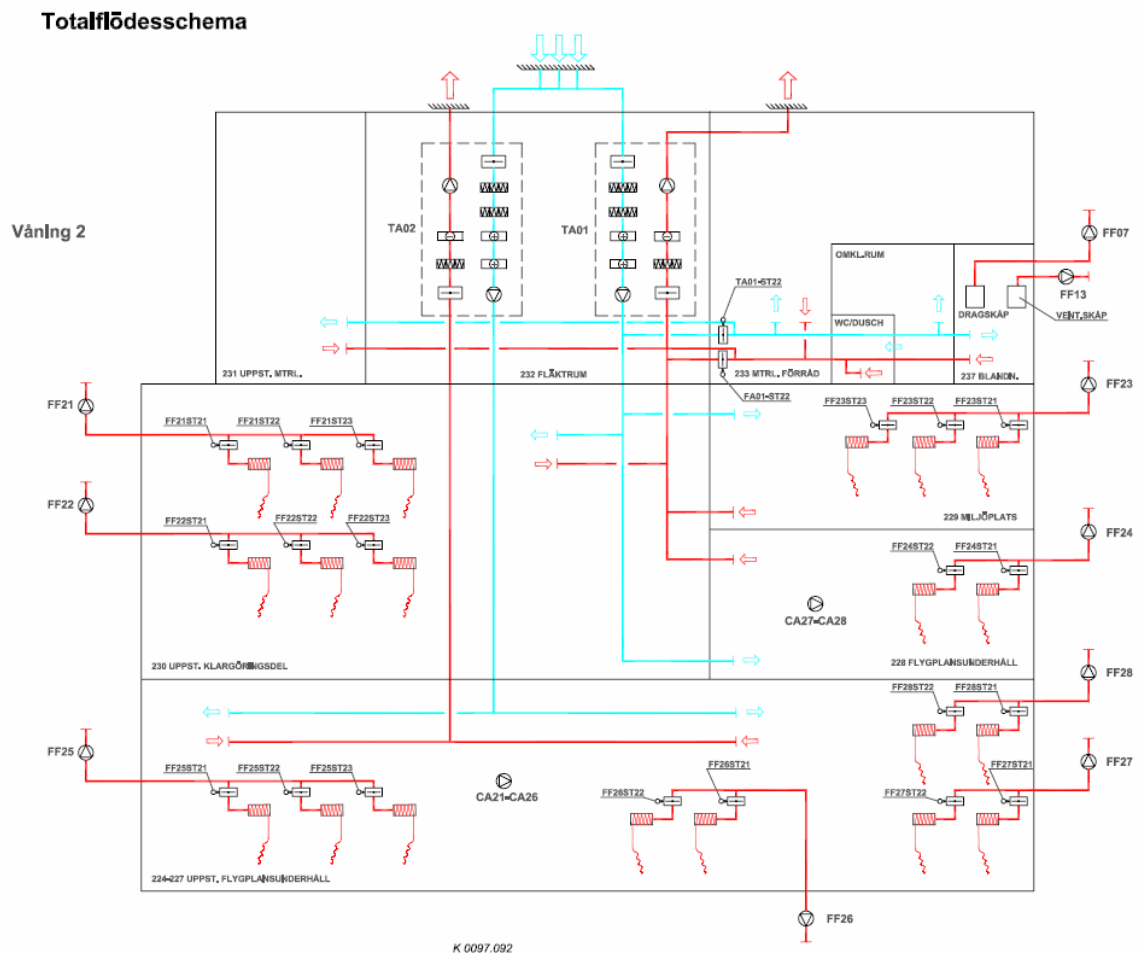
27	Dubbeldörr	200	235	Vred	
28	Dubbeldörr	190	290	Vred	
29	Dörr	90	205	Vred	
30	Dubbeldörr	200	235	Vred	
31	Dörr	90	205	Vred	
32	Svängdörr	90	205		
33	Dubbeldörr	200	205	Vred	
34	Dubbeldörr	200	235	Vred	
35	Dubbeldörr	200	235	Vred	
36	Dubbeldörr	320	290	Vred	
37	Dubbeldörr	350	275	Vred	
38	Dörr	80	205	Vred	
39	Dörr	80	205	Vred	
40	Dörr	90	205	Vred	
41	Dubbeldörr	290	245	Vred	Låst
42	Dörr	90	205	Vred	
43	Dubbeldörr	290	245	Vred	
44	Dörr	90	205	Vred	
45	Två fönster	85	98	Endast öppningsbara med nyckel	Gallerförsedda, bröstningshöjd: 113 cm
46	Två fönster	85	98	Endast öppningsbara med nyckel	Gallerförsedda, bröstningshöjd: 113 cm
47	Två fönster	85	98	Endast öppningsbara med nyckel	Gallerförsedda, bröstningshöjd: 113 cm
48	Dörr i skjutport	100	203	Vred	Tröskel: 8 cm
49	Handbrandsläckare				
50	Dörr i skjutport	100	203	Vred	Tröskel: 8 cm
51	Brandlarmstablå				
52	Eldriven port	1290	657		
53	Eldriven port	1290	657		
54	Eldriven port	1290	657		
55	Eldriven port	1290	657		
56	Eldriven port	1290	657		
57	Eldriven port	1290	657		
58	Eldriven port	1290	657		
59	Eldriven port	1290	657		
60	Eldriven port	1290	657		

Bilaga 2. Kontrolljournal för brandlarm

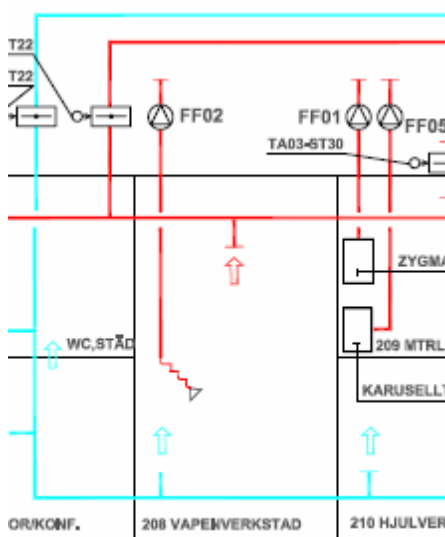
Datum	Prov typ V, M, B	Spän- ning mA	Vil- ström mA	Kontr batt	Prov			Larm Sekt/address			Manöver Sekt/address			Noteringar Anmärkningar	Sb
					BRAND	FEL	JORD	LOF	BRAND	FEL	BRAND	FEL	BRAND		
060313													AUSTÄLLNING BRANDLARM PÅ ÖHBYGGNAD	H.S	
060328													DRIFTTÄVNING EFTER ÖHBYGGNAD, SE 101115	H.S	
060315										0100 FRÅN			DETEKTER 0100 FRÅNOMGÅRDE, KOELL AV ALMÅR 6 TEST VÄRKEN,		
071023													BÅDA VISAR FEL PÅ DETEKTER. BYTTE OCH TEST = OK	H.S	
-11-													AUSTÄLLNING AV ASPIRATIONSDETEKTOREN PÅ		
-11-													SYSTEMBESPARING, SÄKERHET I KÄLLAN KIBBUKE URKÄRAT		
-11-										FRÅN 0000 PÅ 4 AL ADRESSER			0181 0183 0385 0387 04103	H.S	
071031										FRÅN 0000 PÅ 4 AL ALFA ROLLA			0 VÄRDE DETEKTOREN I HANDELLERNA SÄTT		
-11-										DETEKTER 0363 0371 0375			5 0576 0577 0578 0579 0580		
-11-										0 FÖR ENKEL ÖVERENK			FRÅN BOLLE, RÖN 7 9 11 13 VID		
-11-										IBAND CENKEM I KÄLLAN			SÄKERHET SÅ ATT FRÅNDETEKTOREN ENKEL 101115 PÅ ÖHBYGGNAD H.S		

Figur 2.1 Kontrolljournal för brandlarmet visar att rökdetektorer är bortkopplade.

Bilaga 3. Ventilation



Figur 3.1 Totalflödesschema över ventilationssystemet.



Figur 3.2 Ventilationssystemet för gången från Lokal A ut till det fria.

Bilaga 4. Indata för simuleringar i Argos

Samtliga rum:

Höjd: 9 m

Golv: Concrete floor

Ytterväggar: Prefab. Concrete external wall, se figur 4.1.

Innerväggar: Concrete wall, 15 cm, se figur 4.1.

Innervägg mellan hall A och kontor: Brick wall, 11 cm, se figur 4.1.

Dörrar: Steel door, 10 cm, se figur 4.1.

Dörrar öppna mellan lokalerna. En dörr á 1 x 2,03 m i lokal A, B, C alltid öppen mot omgivningen.

Max distans: Från rummets mitt

Lokal	Area [m]	Max dist [m]	Perimeter [m]
A	1659	32,1	172,60
B	1435	26,9	151,70
C	584	17,3	97,20
D	292	12,8	70,40

Kontor Endast med för att skapa en tegelvägg mot lokal A

Samtliga bränder:

Radiation fraction: 0,35

Rökpotential: 100 dB/m för fibrösa material, 125 dB/m för plaster och kartonger.

ΔH_c : Trä 18 MJ/kg, Plaster 40 MJ/kg

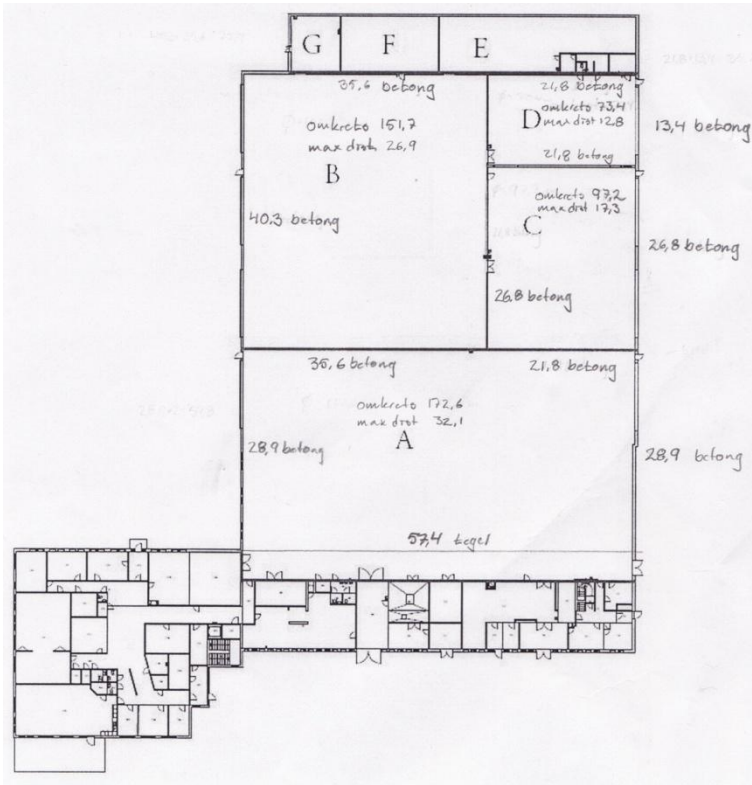
Lokal, brand	α [kw/s ²]	HRR [MW]	Max HRR [MW]	Rökpot. [dB/m]
A, liten monter	0,036	1	1	100
A, emballage Fast	0,047	acc	20	125
A, emballage Ultra Fast	0,19	acc	20	125
B, stor monter	0,036	acc	12	100
C, scen				

Brandinstallationer

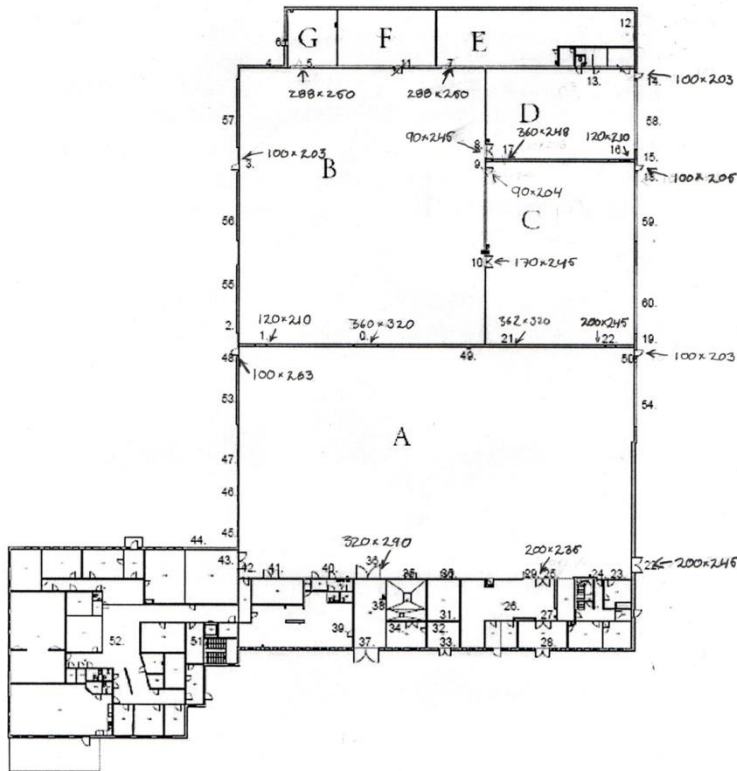
Brandlarm med rökdetektorer, känslighet 0,20 dB/m och inbördes avstånd 10 m (SBF 110:6)

Brandgasluckor á 1 x 2 m med C_v 0,4 och öppningstid 15 s. Öppnas på signal från brandlarm eller med smältbläck temperatur 60 °C och RTI 100 (ms)^{1/2}, maximalt avstånd till lucka är 14 m.

Antal i lokal: A 20 st, B 12 st, C 8 st, D 4 st.



Figur 4.1 Indata till Argos med väggars längd och material



Figur 4.2 Indata till Argos med dörrbredd x höjd

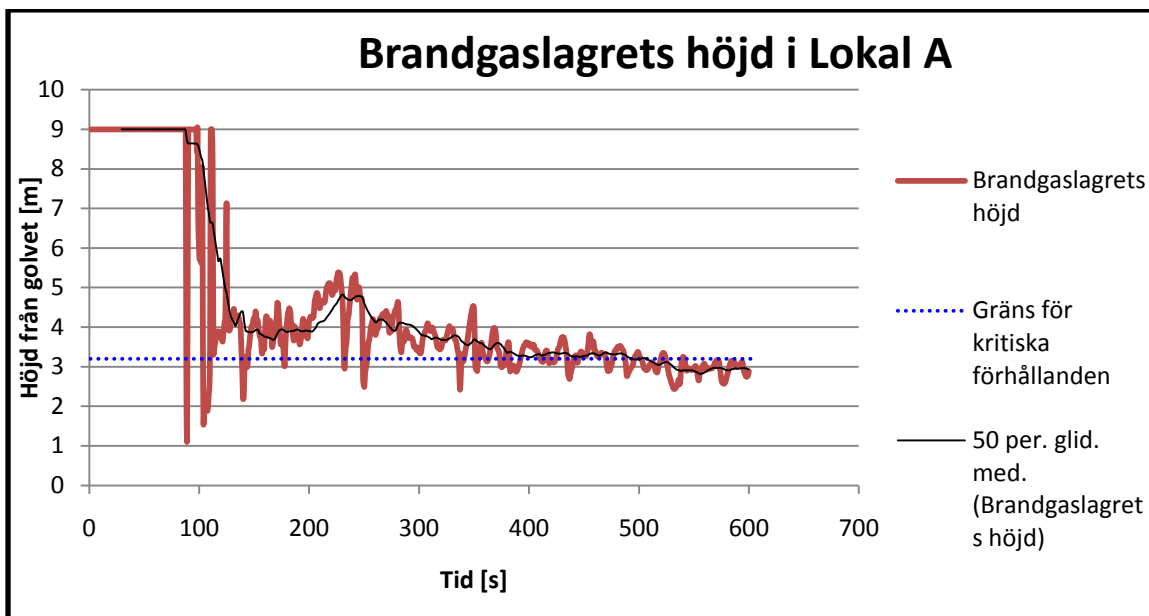
Bilaga 5. FDS: Indata och resultat

Antaganden som gjorts i FDS:

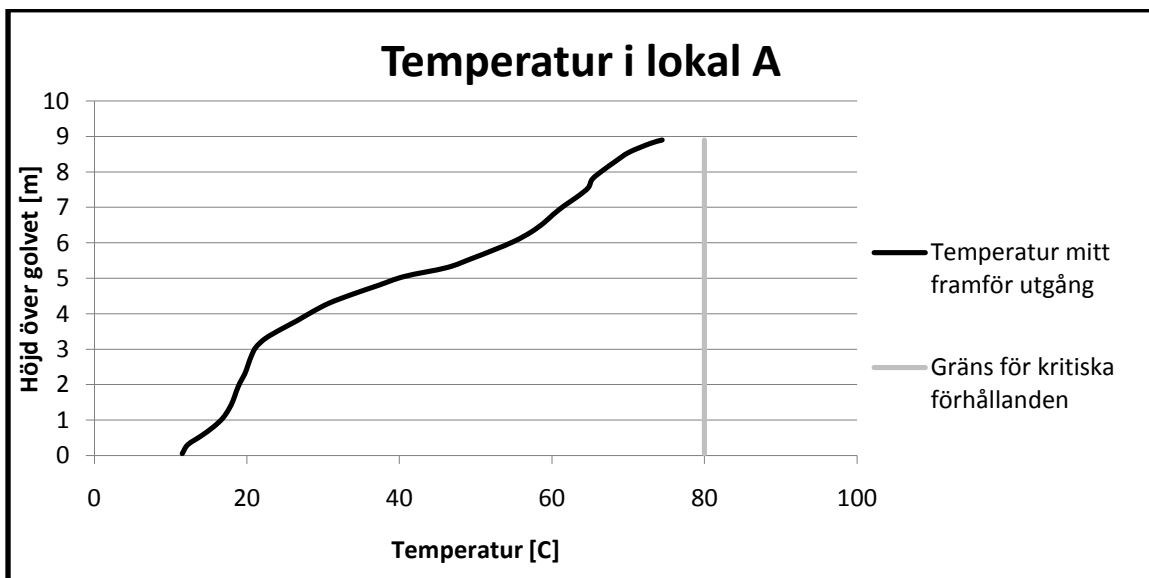
Strålning bortses från. Detta eftersom lokalens volym är så stor att strålningen från branden eller brandgaslagret inte påverkar brandförloppet.

Väggar, tak och golv i geometrin är adiabatiska. Eftersom det krävs mycket energi för att värma upp den stora mängd luft i lokalen spelar värmeöverföringen genom väggar, tak och golv mindre roll. Bränslet som använts i branden har kemisk sammansättning och egenskaper likt cellulosa (SFPE, 2002).

a. Brandscenario mässmonter: liten monterbrand, lokal A



Figur 5.1 Liten monterbrand. Brandgaslagrets höjd och glidande medelvärde.



Figur 5.2 Liten monterbrand. Temperatur i brandrummet.

Nedan presenteras indatafil till FDS för liten monterbrand i lokal A, 1 312 200 celler.

Monterbrand på 1MW i lokal A

No heat transfer through walls - No radiation

```
&HEAD CHID='lokal_a', TITLE='Brand i lokal A'/
&MESH IJK = 243,135,40, XB= 0.0, 58.0, 0.0, 31.5, 0.0, 9.6 /
&TIME T_END = 0.0 /

&MISC SURF_DEFAULT = 'WALL', RADIATION=.FALSE./
&SURF ID = 'WALL', ADIABATIC=.TRUE./
&RADI RADIATIVE_FRACTION=0.35 /

&REAC ID='CELLULOSA'
      SOOT_YIELD=0.015
      C=6.
      H=10.
      O=5.
      HEAT_OF_COMBUSTION=17470.
      IDEAL=.TRUE./

BRÄNNARE, ALFTAT2-KURVA, ALFA=0,036
&SURF ID='BURNER', HRRPUA=1000.0, COLOR='RED', TAU_Q=-167. /
&OBST XB= 28.5, 29.5, 14.15, 15.15, 0.1, 1.1,
SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT'/

NEDRE VÄGG
&OBST XB= 0.1, 57.5, 1.0, 1.1, 0.1, 9.1, COLOR='LAVENDER', SURF_ID= 'WALL'
/

ÖVRE VÄGG
&OBST XB= 0.1, 57.5, 30.4, 30.5, 0.1, 9.1, COLOR='LAVENDER', SURF_ID=
'WALL' /

VÄNSTER VÄGG
&OBST XB= 0.0, 0.1, 1.1, 30.4, 0.1, 9.1, COLOR='LAVENDER', SURF_ID= 'WALL'
/

HÖGER VÄGG
&OBST XB= 57.5, 57.6, 1.1, 30.4, 0.1, 9.1, COLOR='LAVENDER', SURF_ID=
'WALL' /

GOLV
&OBST XB= 0.0, 57.6, 1.0, 30.5, 0.0, 0.1, COLOR='GRAY', SURF_ID= 'WALL' /

TAK
&OBST XB= 0.0, 57.6, 1.0, 30.5, 9.1, 9.2, COLOR='GRAY', SURF_ID= 'WALL' /

NEDRE HÅL
&HOLE XB= 19.1, 22.3, 0.99, 1.11, 0.1, 2.9 /

ÖVRE HÅL
&HOLE XB= 19.1, 22.7, 30.39, 30.51, 0.1, 3.2 /

OMGIVANDE YTOR
&VENT XB= 0.0, 58.0, 0.0, 0.0, 0.0, 9.6, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /
&VENT XB= 0.0, 58.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /
&VENT XB= 0.0, 58.0, 0.0, 31.5, 9.6, 9.6, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /
&VENT XB= 0.0, 58.0, 30.5, 31.5, 0.0, 0.0, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /
```

```

&VENT XB= 0.0, 58.0, 31.5, 31.5, 0.0, 9.6, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /

SIKT I MITTEN AV LOKALEN
&SLCF XB= 0.1, 57.5, 14.65, 14.65, 0.1, 9.1, QUANTITY='VISIBILITY' /

TEMPERATURSKIVA I CENTRUMLINJEN
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', XB= 0.1, 57.5, 14.65, 14.65, 0.1, 9.1 /

VILKEN UTDATA SOM SKA SPARAS

BRANGASLAGRETS HÖJD I MITTEN AV UTGÅNG NEDRE, FRÅN UTGÅNG MOT BRANDKÄLLA
&DEVC XB= 20.7, 20.7, 1.5, 1.5, 0.1, 9.1, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANGASLAGRETS NEDRE 1' /
&DEVC XB= 22.6, 22.6, 5.0, 5.0, 0.1, 9.1, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANGASLAGRETS NEDRE 2' /
&DEVC XB= 24.5, 24.5, 8.5, 8.5, 0.1, 9.1, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANGASLAGRETS NEDRE 3' /
&DEVC XB= 26.4, 26.4, 12.0, 12.0, 0.1, 9.1, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANGASLAGRETS NEDRE 4' /

BRANGASLAGRETS HÖJD I MITTEN AV UTGÅNG ÖVRE, FRÅN UTGÅNG MOT BRANDKÄLLA
&DEVC XB= 20.9, 20.9, 30.0, 30.0, 0.1, 9.1, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANGASLAGRETS ÖVRE 1' /
&DEVC XB= 22.8, 22.8, 26.5, 26.5, 0.1, 9.1, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANGASLAGRETS ÖVRE 2' /
&DEVC XB= 24.7, 24.7, 23.0, 23.0, 0.1, 9.1, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANGASLAGRETS ÖVRE 3' /
&DEVC XB= 26.6, 26.6, 19.5, 19.5, 0.1, 9.1, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANGASLAGRETS ÖVRE 4' /

TEMPERATUR MITT FRAMFÖR UTGÅNGARNA, MITT I LOKALEN, NEDIFRÅN OCH UPPÅT
&DEVC ID='DO_1', XYZ= 20.8, 14.65, 0.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_2', XYZ= 20.8, 14.65, 0.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_3', XYZ= 20.8, 14.65, 0.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_4', XYZ= 20.8, 14.65, 0.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_5', XYZ= 20.8, 14.65, 1.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_6', XYZ= 20.8, 14.65, 1.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_7', XYZ= 20.8, 14.65, 1.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_8', XYZ= 20.8, 14.65, 1.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_9', XYZ= 20.8, 14.65, 2.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_10', XYZ= 20.8, 14.65, 2.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_11', XYZ= 20.8, 14.65, 2.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_12', XYZ= 20.8, 14.65, 2.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_13', XYZ= 20.8, 14.65, 3.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_14', XYZ= 20.8, 14.65, 3.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_15', XYZ= 20.8, 14.65, 3.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_16', XYZ= 20.8, 14.65, 3.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_17', XYZ= 20.8, 14.65, 4.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_18', XYZ= 20.8, 14.65, 4.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_19', XYZ= 20.8, 14.65, 4.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_20', XYZ= 20.8, 14.65, 4.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_21', XYZ= 20.8, 14.65, 5.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_22', XYZ= 20.8, 14.65, 5.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_23', XYZ= 20.8, 14.65, 5.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_24', XYZ= 20.8, 14.65, 5.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_25', XYZ= 20.8, 14.65, 6.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_26', XYZ= 20.8, 14.65, 6.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_27', XYZ= 20.8, 14.65, 6.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_28', XYZ= 20.8, 14.65, 6.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_29', XYZ= 20.8, 14.65, 7.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_30', XYZ= 20.8, 14.65, 7.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /

```

```
&DEVC ID='DO_31', XYZ= 20.8, 14.65, 7.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_32', XYZ= 20.8, 14.65, 7.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_33', XYZ= 20.8, 14.65, 8.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_34', XYZ= 20.8, 14.65, 8.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_35', XYZ= 20.8, 14.65, 8.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_36', XYZ= 20.8, 14.65, 8.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_37', XYZ= 20.8, 14.65, 9.05, QUANTITY='TEMPERATURE' /
```

```
&TAIL/
```

Nedan presenteras indatafil till FDS för liten monterbrand i lokal A, 10 497 600 celler.

Monterbrand på 1MW i lokal A

No heat transfer through walls - No radiation

```
&HEAD CHID='lokal_a_8N', TITLE='Brand i lokal A'
```

Rutnätet: 486,270,80, 0.0, 58.0, 0.0, 31.5, 0.0, 9.6 Dividerat på 10 meshes

```
&MESH IJK = 486, 27, 80 XB= 0.0, 58.0, 0.0, 3.15, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=0 / Mesh 1
&MESH IJK = 486, 27, 80 XB= 0.0, 58.0, 0.0, 6.3, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=1 / Mesh 2
&MESH IJK = 486, 27, 80 XB= 0.0, 58.0, 0.0, 9.45, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=2 / Mesh 3
&MESH IJK = 486, 27, 80 XB= 0.0, 58.0, 0.0, 12.6, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=3 / Mesh 4
&MESH IJK = 486, 27, 80 XB= 0.0, 58.0, 0.0, 15.75, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=4 / Mesh 5
&MESH IJK = 486, 27, 80 XB= 0.0, 58.0, 0.0, 18.9, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=5 / Mesh 6
&MESH IJK = 486, 27, 80 XB= 0.0, 58.0, 0.0, 22.05, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=6 / Mesh 7
&MESH IJK = 486, 27, 80 XB= 0.0, 58.0, 0.0, 25.2, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=7 / Mesh 8
&MESH IJK = 486, 27, 80 XB= 0.0, 58.0, 0.0, 28.35, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=8 / Mesh 9
&MESH IJK = 486, 27, 80 XB= 0.0, 58.0, 0.0, 31.5, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=9 / Mesh 10
```

```
&TIME T_END = 1.0 /
```

```
&MISC SURF_DEFAULT = 'WALL', RADIATION=.FALSE./
```

```
&SURF ID = 'WALL', ADIABATIC=.TRUE./
```

```
&RADI RADIATIVE_FRACTION=0.35 /
```

```
&REAC ID='CELLULOSA'
```

```
SOOT_YIELD=0.015
```

```
C=6.
```

```
H=10.
```

```
O=5.
```

```
HEAT_OF_COMBUSTION=17470.
```

```
IDEAL=.TRUE./
```

BRÄNNARE, ALFTAT2-KURVA, ALFA=0,036

&SURF ID='BURNER', HRRPUA=1000.0, COLOR='RED', TAU_Q=-167. /
&OBST XB= 28.5, 29.5, 14.15, 15.15, 0.1, 1.1, SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT'/

NEDRE VÄGG

&OBST XB= 0.1, 57.5, 1.0, 1.1, 0.1, 9.1, COLOR='LAVENDER', SURF_ID= 'WALL' /

ÖVRE VÄGG

&OBST XB= 0.1, 57.5, 30.4, 30.5, 0.1, 9.1, COLOR='LAVENDER', SURF_ID= 'WALL' /

VÄNSTER VÄGG

&OBST XB= 0.0, 0.1, 1.1, 30.4, 0.1, 9.1, COLOR='LAVENDER', SURF_ID= 'WALL' /

HÖGER VÄGG

&OBST XB= 57.5, 57.6, 1.1, 30.4, 0.1, 9.1, COLOR='LAVENDER', SURF_ID= 'WALL' /

GOLV

&OBST XB= 0.0, 57.6, 1.0, 30.5, 0.0, 0.1, COLOR='GRAY', SURF_ID= 'WALL' /

TAK

&OBST XB= 0.0, 57.6, 1.0, 30.5, 9.1, 9.2, COLOR='GRAY', SURF_ID= 'WALL' /

NEDRE HÅL

&HOLE XB= 19.1, 22.3, 0.99, 1.11, 0.1, 2.9 /

ÖVRE HÅL

&HOLE XB= 19.1, 22.7, 30.39, 30.51, 0.1, 3.2 /

OMGIVANDE YTOR

&VENT XB= 0.0, 58.0, 0.0, 0.0, 0.0, 9.6, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /

&VENT XB= 0.0, 58.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /

&VENT XB= 0.0, 58.0, 0.0, 31.5, 9.6, 9.6, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /

&VENT XB= 0.0, 58.0, 30.5, 31.5, 0.0, 0.0, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /

&VENT XB= 0.0, 58.0, 31.5, 31.5, 0.0, 9.6, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /

SIKT I MITTEN AV LOKALEN

&SLCF XB= 0.1, 57.5, 14.65, 14.65, 0.1, 9.1, QUANTITY='VISIBILITY' /

TEMPERATURSKIVA I CENTRUMLINJEN

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', XB= 0.1, 57.5, 14.65, 14.65, 0.1, 9.1 /

VILKEN UTDATA SOM SKA SPARAS

BRANGASLAGRETS HÖJD I MITTEN AV UTGÅNG NEDRE, FRÅN UTGÅNG MOT BRANDKÄLLA

&DEVC XB= 20.7, 20.7, 1.5, 1.5, 0.1, 9.1, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANGASLAGRETS NEDRE 1' /

&DEVC XB= 22.6, 22.6, 5.0, 5.0, 0.1, 9.1, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANGASLAGRETS NEDRE 2' /

&DEVC XB= 24.5, 24.5, 8.5, 8.5, 0.1, 9.1, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANGASLAGRETS NEDRE 3' /

&DEVC XB= 26.4, 26.4, 12.0, 12.0, 0.1, 9.1, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANGASLAGRETS NEDRE 4' /

BRANGASLAGRETS HÖJD I MITTEN AV UTGÅNG ÖVRE, FRÅN UTGÅNG MOT BRANDKÄLLA

&DEVC XB= 20.9, 20.9, 30.0, 30.0, 0.1, 9.1, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANGASLAGRETS ÖVRE 1' /

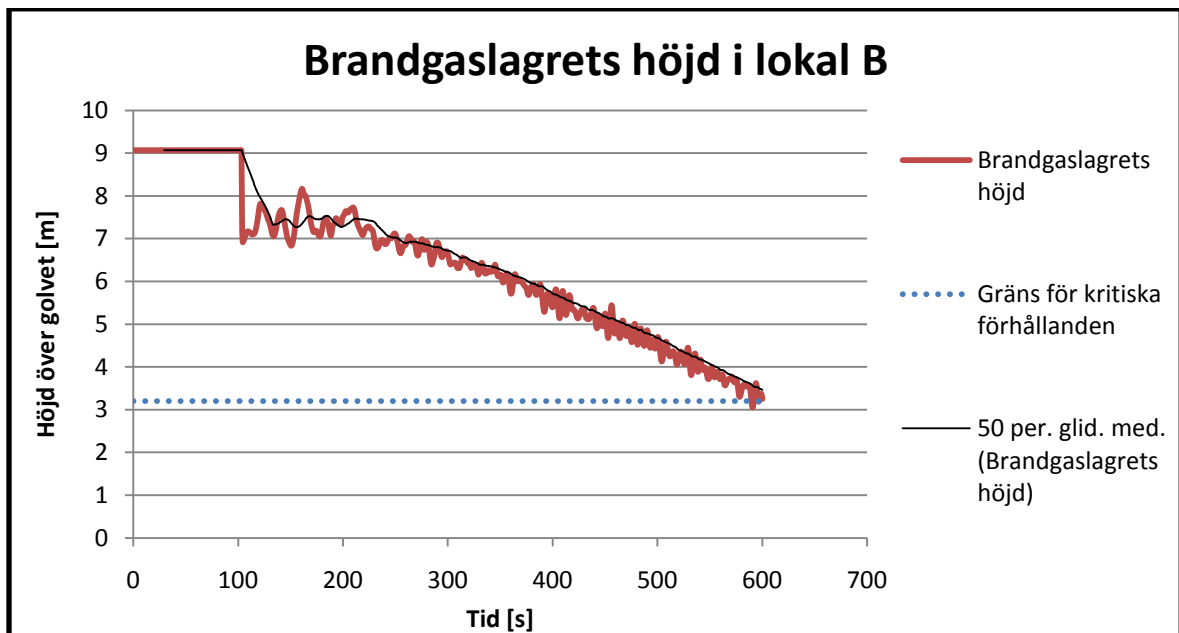
&DEVC XB= 22.8, 22.8, 26.5, 26.5, 0.1, 9.1, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANGASLAGRETS ÖVRE 2' /
&DEVC XB= 24.7, 24.7, 23.0, 23.0, 0.1, 9.1, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANGASLAGRETS ÖVRE 3' /
&DEVC XB= 26.6, 26.6, 19.5, 19.5, 0.1, 9.1, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANGASLAGRETS ÖVRE 4' /

TEMPERATUR MITT FRAMFÖR UTGÅNGARNA, MITT I LOKALEN, NEDIFRÅN OCH UPPÅT

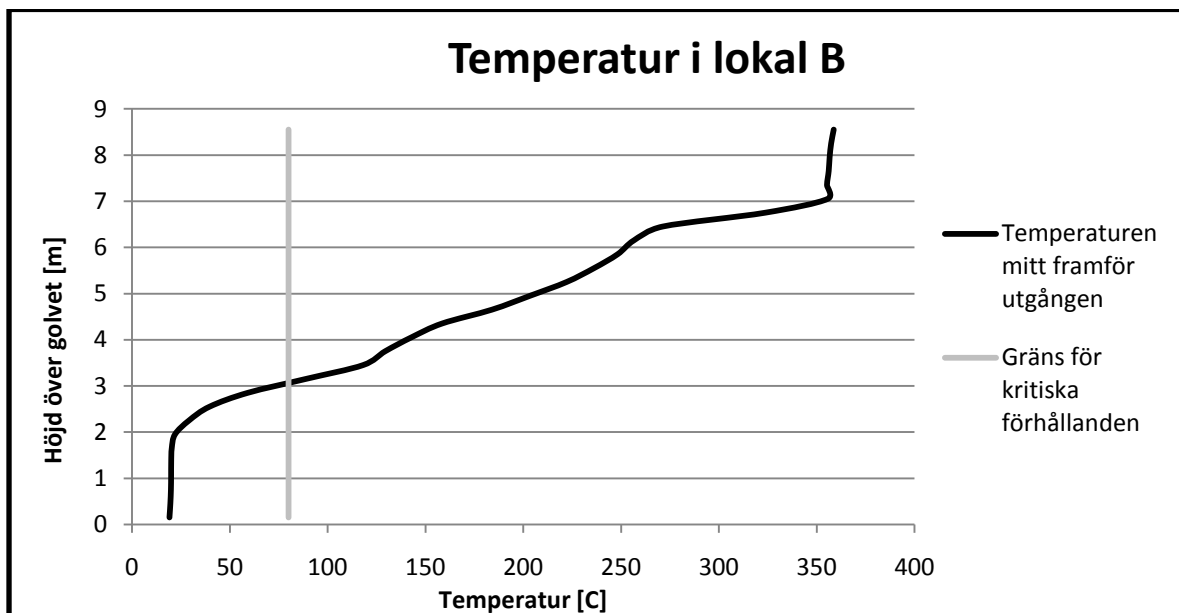
&DEVC ID='DO_1', XYZ= 20.8, 14.65, 0.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_2', XYZ= 20.8, 14.65, 0.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_3', XYZ= 20.8, 14.65, 0.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_4', XYZ= 20.8, 14.65, 0.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_5', XYZ= 20.8, 14.65, 1.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_6', XYZ= 20.8, 14.65, 1.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_7', XYZ= 20.8, 14.65, 1.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_8', XYZ= 20.8, 14.65, 1.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_9', XYZ= 20.8, 14.65, 2.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_10', XYZ= 20.8, 14.65, 2.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_11', XYZ= 20.8, 14.65, 2.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_12', XYZ= 20.8, 14.65, 2.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_13', XYZ= 20.8, 14.65, 3.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_14', XYZ= 20.8, 14.65, 3.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_15', XYZ= 20.8, 14.65, 3.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_16', XYZ= 20.8, 14.65, 3.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_17', XYZ= 20.8, 14.65, 4.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_18', XYZ= 20.8, 14.65, 4.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_19', XYZ= 20.8, 14.65, 4.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_20', XYZ= 20.8, 14.65, 4.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_21', XYZ= 20.8, 14.65, 5.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_22', XYZ= 20.8, 14.65, 5.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_23', XYZ= 20.8, 14.65, 5.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_24', XYZ= 20.8, 14.65, 5.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_25', XYZ= 20.8, 14.65, 6.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_26', XYZ= 20.8, 14.65, 6.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_27', XYZ= 20.8, 14.65, 6.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_28', XYZ= 20.8, 14.65, 6.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_29', XYZ= 20.8, 14.65, 7.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_30', XYZ= 20.8, 14.65, 7.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_31', XYZ= 20.8, 14.65, 7.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_32', XYZ= 20.8, 14.65, 7.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_33', XYZ= 20.8, 14.65, 8.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_34', XYZ= 20.8, 14.65, 8.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_35', XYZ= 20.8, 14.65, 8.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_36', XYZ= 20.8, 14.65, 8.9, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_37', XYZ= 20.8, 14.65, 9.05, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&TAIL/

b. Brandscenario mässmonter: stor monterbrand, lokal B



Figur 5.3 Stor monterbrand. Brandgaslagrets höjd med glidande medelvärden.



Figur 5.4 Stor monterbrand. Temperatur i brandrummet.

Nedan presenteras indatafil till FDS för stor monterbrand i lokal B, 729 000 celler.

Monterbrand på 16MW i lokal B

No heat transfer through walls - No radiation

```
&HEAD CHID='lokal_b', TITLE='Brand i lokal B'/  
&MESH IJK = 135,150,36, XB= 0.0, 38.0, 0.0, 43.0, 0.0, 9.6 /  
&TIME T_END = 0.0 /
```

```
&MISC SURF_DEFAULT = 'WALL', RADIATION=.FALSE./
```

```

&SURF ID = 'WALL', ADIABATIC=.TRUE./
&RADI RADIATIVE_FRACTION=0.35 /

&REAC ID='CELLULOSA'
SOOT_YIELD=0.015
C=6.
H=10.
O=5.
HEAT_OF_COMBUSTION=17470.
IDEAL=.TRUE./

BRÄNNARE, ALFTAT2-KURVA, ALFA=0,036
&SURF ID='BURNER', HRRPUA=16000.0, COLOR='RED', TAU_Q=-666.67 /
&OBST XB= 17.6, 18.6, 20.95, 21.95, 0.3, 1.3,
SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT'/

NEDRE VÄGG
&OBST XB= 0.3, 35.9, 1.0, 1.3, 0.3, 9.3, COLOR='LAVENDER', SURF_ID= 'WALL'
/

ÖVRE VÄGG
&OBST XB= 0.3, 35.9, 41.6, 41.9, 0.3, 9.3, COLOR='LAVENDER', SURF_ID=
'WALL' /

VÄNSTER VÄGG
&OBST XB= 0.0, 0.3, 1.0, 41.9, 0.3, 9.3, COLOR='LAVENDER', SURF_ID= 'WALL'
/

HÖGER VÄGG
&OBST XB= 35.9, 36.2, 1.0, 41.9, 0.3, 9.3, COLOR='LAVENDER', SURF_ID=
'WALL' /

GOLV
&OBST XB= 0.0, 36.2, 1.0, 41.9, 0.0, 0.3, COLOR='GRAY', SURF_ID= 'WALL' /

TAK
&OBST XB= 0.0, 36.2, 1.0, 41.9, 9.3, 9.6, COLOR='GRAY', SURF_ID= 'WALL' /

NEDRE HÅL
&HOLE XB= 10.2, 13.8, 0.99, 1.31, 0.3, 3.5 /

ÖVRE HÅL
&HOLE XB= 22.6, 25.5, 41.59, 41.91, 0.3, 2.8 /

OMGIVANDE YTOR
&VENT XB= 0.0, 38.0, 0.0, 0.0, 0.0, 9.6, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /
&VENT XB= 0.0, 38.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /
&VENT XB= 0.0, 38.0, 0.0, 1.0, 9.6, 9.6, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /
&VENT XB= 0.0, 38.0, 41.9, 43.0, 0.0, 0.0, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /
&VENT XB= 0.0, 38.0, 41.9, 43.0, 9.6, 9.6, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /
&VENT XB= 0.0, 38.0, 43.0, 43.0, 0.0, 9.6, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /

SIKT I MITTEN AV LOKALEN
&SLCF XB= 18.1, 18.1, 0.3, 41.6, 0.3, 9.3, QUANTITY='VISIBILITY' /

TEMPERATURSKIVA I CENTRUMLINJEN
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', XB= 18.1, 18.1, 0.3, 41.6, 0.3, 9.3 /

VILKEN UTDATA SOM SKA SPARAS

```

```

BRANGASLAGRETS HÖJD I MITTEN AV BRANDRUMMET, NEDIFRÅN UPP
&DEVC XB= 18.1, 18.1, 1.5, 1.5, 0.3, 9.3, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANGASLAGRET 1' /
&DEVC XB= 18.1, 18.1, 13.5, 13.5, 0.3, 9.3, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANGASLAGRET 2' /
&DEVC XB= 18.1, 18.1, 28.1, 28.1, 0.3, 9.3, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANGASLAGRET 3' /
&DEVC XB= 18.1, 18.1, 41.4, 41.4, 0.3, 9.3, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANGASLAGRET 4' /

```

```

TEMPERATUR MITT FRAMFÖR UTGÅNGARNA, MITT I LOKALEN, NEDIFRÅN OCH UPPÅT
&DEVC ID='DO_1', XYZ= 12.0, 1.5, 0.45, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_2', XYZ= 12.0, 1.5, 0.75, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_3', XYZ= 12.0, 1.5, 1.05, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_4', XYZ= 12.0, 1.5, 1.35, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_5', XYZ= 12.0, 1.5, 1.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_6', XYZ= 12.0, 1.5, 1.95, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_7', XYZ= 12.0, 1.5, 2.25, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_8', XYZ= 12.0, 1.5, 2.55, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_9', XYZ= 12.0, 1.5, 2.85, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_10', XYZ= 12.0, 1.5, 3.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_11', XYZ= 12.0, 1.5, 3.45, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_12', XYZ= 12.0, 1.5, 3.75, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_13', XYZ= 12.0, 1.5, 4.05, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_14', XYZ= 12.0, 1.5, 4.35, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_15', XYZ= 12.0, 1.5, 4.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_16', XYZ= 12.0, 1.5, 4.95, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_17', XYZ= 12.0, 1.5, 5.25, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_18', XYZ= 12.0, 1.5, 5.55, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_19', XYZ= 12.0, 1.5, 5.85, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_20', XYZ= 12.0, 1.5, 6.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_21', XYZ= 12.0, 1.5, 6.45, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_22', XYZ= 12.0, 1.5, 6.75, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_23', XYZ= 12.0, 1.5, 7.05, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_24', XYZ= 12.0, 1.5, 7.35, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_25', XYZ= 12.0, 1.5, 7.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_26', XYZ= 12.0, 1.5, 7.95, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_27', XYZ= 12.0, 1.5, 8.25, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_28', XYZ= 12.0, 1.5, 8.55, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_29', XYZ= 12.0, 1.5, 8.85, QUANTITY='TEMPERATURE' /

```

&TAIL/

Nedan presenteras indatafil till FDS för stor monterbrand i lokal B, 5 832 000 celler.

Monterbrand på 16MW i lokal B

No heat transfer through walls - No radiation

&HEAD CHID='lokal_b_8N', TITLE='Brand i lokal B/'

Rutnätet: 270, 300, 72; 0.0, 38.0, 0.0, 43.0, 0.0, 9.6 Dividerat på 10 meshes

&MESH IJK = 270,30,72, XB= 0.0, 38.0, 0.0, 4.3, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=0 / MESH 1

&MESH IJK = 270,30,72, XB= 0.0, 38.0, 4.3, 8.6, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=1 / MESH 2

```
&MESH IJK = 270,30,72, XB= 0.0, 38.0, 8.6, 12.9, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=2 / MESH 3
&MESH IJK = 270,30,72, XB= 0.0, 38.0, 12.9, 17.2, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=3 / MESH 4
&MESH IJK = 270,30,72, XB= 0.0, 38.0, 17.2, 21.5, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=4 / MESH 5
&MESH IJK = 270,30,72, XB= 0.0, 38.0, 21.5, 25.8, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=5 / MESH 6
&MESH IJK = 270,30,72, XB= 0.0, 38.0, 25.8, 30.1, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=6 / MESH 7
&MESH IJK = 270,30,72, XB= 0.0, 38.0, 30.1, 34.4, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=7 / MESH 8
&MESH IJK = 270,30,72, XB= 0.0, 38.0, 34.4, 38.7, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=8 / MESH 9
&MESH IJK = 270,30,72, XB= 0.0, 38.0, 38.7, 43.0, 0.0, 9.6, MPI_PROCESS=9 / MESH 10
```

```
&TIME T_END = 600.0 /
```

```
&MISC SURF_DEFAULT = 'WALL', RADIATION=.FALSE./
&SURF ID = 'WALL', ADIABATIC=.TRUE./
&RADI RADIATIVE_FRACTION=0.35 /
```

```
&REAC ID='CELLULOSA'
    SOOT_YIELD=0.015
    C=6.
    H=10.
    O=5.
    HEAT_OF_COMBUSTION=17470.
    IDEAL=.TRUE./
```

```
BRÄNNARE, ALFTAT2-KURVA, ALFA=0,036
&SURF ID='BURNER', HRRPUA=16000.0, COLOR='RED', TAU_Q=-666.67 /
&OBST XB= 17.6, 18.6, 20.95, 21.95, 0.3, 1.3, SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT'/
```

```
NEDRE VÄGG
&OBST XB= 0.3, 35.9, 1.0, 1.3, 0.3, 9.3, COLOR='LAVENDER', SURF_ID= 'WALL' /
```

```
ÖVRE VÄGG
&OBST XB= 0.3, 35.9, 41.6, 41.9, 0.3, 9.3, COLOR='LAVENDER', SURF_ID= 'WALL' /
```

```
VÄNSTER VÄGG
&OBST XB= 0.0, 0.3, 1.0, 41.9, 0.3, 9.3, COLOR='LAVENDER', SURF_ID= 'WALL' /
```

```
HÖGER VÄGG
&OBST XB= 35.9, 36.2, 1.0, 41.9, 0.3, 9.3, COLOR='LAVENDER', SURF_ID= 'WALL' /
```

```
GOLV
&OBST XB= 0.0, 36.2, 1.0, 41.9, 0.0, 0.3, COLOR='GRAY', SURF_ID= 'WALL' /
```

```
TAK
&OBST XB= 0.0, 36.2, 1.0, 41.9, 9.3, 9.6, COLOR='GRAY', SURF_ID= 'WALL' /
```

```
NEDRE HÅL
&HOLE XB= 10.2, 13.8, 0.99, 1.31, 0.3, 3.5 /
```

ÖVRE HÅL

&HOLE XB= 22.6, 25.5, 41.59, 41.91, 0.3, 2.8 /

OMGIVANDE YTOR

&VENT XB= 0.0, 38.0, 0.0, 0.0, 0.0, 9.6, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /

&VENT XB= 0.0, 38.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /

&VENT XB= 0.0, 38.0, 0.0, 1.0, 9.6, 9.6, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /

&VENT XB= 0.0, 38.0, 41.9, 43.0, 0.0, 0.0, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /

&VENT XB= 0.0, 38.0, 41.9, 43.0, 9.6, 9.6, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /

&VENT XB= 0.0, 38.0, 43.0, 43.0, 0.0, 9.6, SURF_ID='OPEN', COLOR='BLUE' /

SIKT I MITTEN AV LOKALEN

&SLCF XB= 18.1, 18.1, 0.3, 41.6, 0.3, 9.3, QUANTITY='VISIBILITY' /

TEMPERATURSKIVA I CENTRUMLINJEN

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', XB= 18.1, 18.1, 0.3, 41.6, 0.3, 9.3 /

VILKEN UTDATA SOM SKA SPARAS

BRANGASLAGRETS HÖJD I MITTEN AV BRANDRUMMET, NEDIFRÅN UPP

&DEVC XB= 18.1, 18.1, 1.5, 1.5, 0.3, 9.3, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANGASLAGRET 1' /

&DEVC XB= 18.1, 18.1, 13.5, 13.5, 0.3, 9.3, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANGASLAGRET 2' /

&DEVC XB= 18.1, 18.1, 28.1, 28.1, 0.3, 9.3, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANGASLAGRET 3' /

&DEVC XB= 18.1, 18.1, 41.4, 41.4, 0.3, 9.3, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANGASLAGRET 4' /

TEMPERATUR MITT FRAMFÖR UTGÅNGARNA, MITT I LOKALEN, NEDIFRÅN OCH UPPÅT

&DEVC ID='DO_1', XYZ= 12.0, 1.5, 0.45, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_2', XYZ= 12.0, 1.5, 0.75, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_3', XYZ= 12.0, 1.5, 1.05, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_4', XYZ= 12.0, 1.5, 1.35, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_5', XYZ= 12.0, 1.5, 1.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_6', XYZ= 12.0, 1.5, 1.95, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_7', XYZ= 12.0, 1.5, 2.25, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_8', XYZ= 12.0, 1.5, 2.55, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_9', XYZ= 12.0, 1.5, 2.85, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_10', XYZ= 12.0, 1.5, 3.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_11', XYZ= 12.0, 1.5, 3.45, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_12', XYZ= 12.0, 1.5, 3.75, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_13', XYZ= 12.0, 1.5, 4.05, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_14', XYZ= 12.0, 1.5, 4.35, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_15', XYZ= 12.0, 1.5, 4.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_16', XYZ= 12.0, 1.5, 4.95, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_17', XYZ= 12.0, 1.5, 5.25, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_18', XYZ= 12.0, 1.5, 5.55, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_19', XYZ= 12.0, 1.5, 5.85, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_20', XYZ= 12.0, 1.5, 6.15, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_21', XYZ= 12.0, 1.5, 6.45, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_22', XYZ= 12.0, 1.5, 6.75, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_23', XYZ= 12.0, 1.5, 7.05, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='DO_24', XYZ= 12.0, 1.5, 7.35, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_25', XYZ= 12.0, 1.5, 7.65, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_26', XYZ= 12.0, 1.5, 7.95, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_27', XYZ= 12.0, 1.5, 8.25, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_28', XYZ= 12.0, 1.5, 8.55, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC ID='DO_29', XYZ= 12.0, 1.5, 8.85, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&TAIL/

Bilaga 6. Beräkningar av brandscenarier

a. Mässmonter: stor monterbrand, lokal B

Brandstart i bord placerad invid mittgången, spridning till väggar, bokhylla och motstående monter genom strålning och sticklågor.

Accelererande effektutveckling, HRR, enligt αt^2 , se figur 6.2

$$\alpha = 0,036 \text{ kW/s}^2$$

Frigjord energi på 500 sekunder vilket är ungefärlig tid till rökfyllnad:

$$\int_0^{500} 0,036 \cdot t^2 dt = 1,5 \cdot 10^3 \text{ MJ}$$

$1,5 \cdot 10^3$ MJ motsvarar 120 kg trä/papper med ΔH_c 18 MJ/kg och $\chi=0,7$

$$\dot{Q}''_{\max} = 800 \text{ kW/m}^2 \text{ bränsleyta}$$

$$\dot{Q}''_{\text{medel}} = 250\text{-}500 \text{ kW/m}^2 \text{ totalyta i monter}$$

Brandens maximala totalyta 32 m^2

$\dot{Q} = 8\text{-}16$ MW som maximal effektutveckling då hela montern brinner

Flamhöjd, L, vid brand i tre bord á 0,8 x 1,5 meter approximeras som växande från en till sex bränder i bredd á 0,8 x 0,75 meter, se figur 6.1.

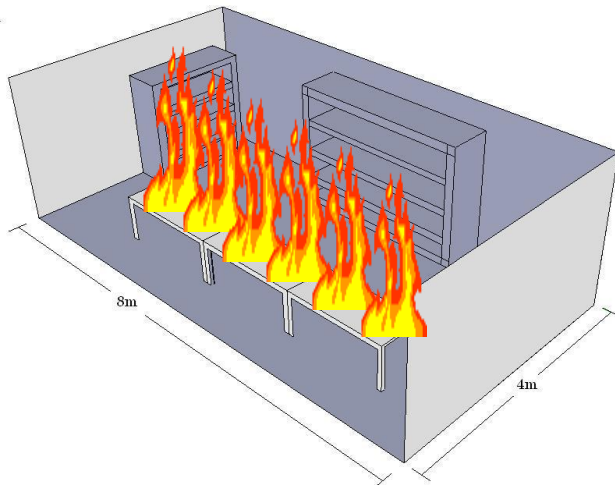
$$D_{\text{ekv}} = 2 \cdot (0,8 \text{ m} \cdot 0,75 \text{ m} / \pi)^{1/2} = 0,89 \text{ m}$$

$$\dot{Q} = 0,8 \text{ m} \cdot 0,75 \text{ m} \cdot 800 \text{ kW/m}^2 = 480 \text{ kW}$$

$$L = 0,235 \cdot 480^{2/5} - 1,02 \cdot 0,89 = 1,9 \text{ m}$$

Flamtemperatur 1073 K medför strålningsintensiteten ut från flammorna 75 kW/m^2

Synfaktor, Φ , beroende på avstånd och tid i brandförloppet (bränsleytans bredd).



Figur 6.1 Brand i stor mässmonter.

Strålning vid 115 sekunder och avstånd 1,5 meter mittför flammorna

HRR: $0,036 \cdot 115^2 = 480$ kW motsvarar att ett halvt bord brinner

Brandens bredd: 0,75 ger $L_1 = 0,375$ m

L: 1,9 m ger $L_2 = 0,95$ m

$$\left. \begin{array}{l} S: 0,375/0,95 = 0,4 \\ \alpha: 0,375 \cdot 0,95/1,5^2 = 0,16 \end{array} \right\} \Rightarrow \phi = 0,039$$

$$\Phi_{\text{tot}}: 4 \cdot 0,039 = 0,156$$

$$\dot{q}_r'' = 0,156 \cdot 75 = 12 \text{ kW/m}^2$$

Efter 115 sekunder kan trä på 1,5 meters avstånd från branden antändas med pilotlåga. Banderoller tyg och papper på väggarna i montern kan antändas av kringflygande flagor och gnistor.

Strålning vid 165 sekunder och avstånd 2,5 meter mittför flammorna

HRR: $0,036 \cdot 165^2 = 960$ kW motsvarar att två bord brinner

Brandens bredd: 1,5 ger $L_1 = 0,75$ m

L: 1,9 m ger $L_2 = 0,95$ m

$$\left. \begin{array}{l} S: 0,75/0,95 = 0,8 \\ \alpha: 0,75 \cdot 0,95/2,5^2 = 0,11 \end{array} \right\} \Rightarrow \phi = 0,03$$

$$\Phi_{\text{tot}}: 4 \cdot 0,03 = 0,12$$

$$\dot{q}_r'' = 0,12 \cdot 75 = 9 \text{ kW/m}^2$$

Efter 165 sekunder är utrymning förbi montern inte längre möjligt på grund av den höga strålningsintensiteten från branden.

Strålning vid 285 sekunder och avstånd 2,5 meter mittför och i nivå med bränsleytan

HRR: $0,036 \cdot 285^2 = 2843$ kW motsvarar att alla tre borden brinner

Brandens bredd: 4,5 ger $L_2 = 2,25$ m

L: 1,9 m ger $L_1 = 1,9$ m

$$\left. \begin{array}{l} S: 1,9/2,25 = 0,84 \\ \alpha: 1,9 \cdot 2,25/2,5^2 = 0,68 \end{array} \right\} \Rightarrow \phi = 0,114$$

$$\Phi_{\text{tot}}: 2 \cdot 0,114 = 0,228$$

$$\dot{q}_r'' = 0,228 \cdot 75 = 17 \text{ kW/m}^2$$

Efter 285 sekunder kan kartonger, papper och tyg i motstående monter på andra sidan gången antändas spontant av strålningen från branden.

Tid för brandgaslagret att nå 3,2 meter över golvet

Tanaka –Yamanas metod

$$t = \left[\left(z^{-2/3} - \frac{1}{H^{2/3}} \right) \cdot \frac{A \cdot (n + 3)}{2 \cdot k \cdot \alpha^{1/3}} \right]^{\frac{1}{1+n/3}}$$

$$k = \frac{0,21}{\rho_a} \left(\frac{\rho_a^2 \cdot g}{c_p \cdot T_a} \right)^{1/3}$$

$$Z = 3,2 \text{ [m]}$$

$$\rho_a = 1,205 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$H = 9 \text{ [m]}$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$A = 1\,435 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$c_p = 1,0 \text{ [kJ/kg K]}$$

$$N = 2 \text{ [-]}$$

$$T_a = 293 \text{ K}$$

$$\alpha = 0,036 \text{ [kW/s}^2\text{]}$$

Iteration ger tiden 440 sekunder vilket motsvarar 7 minuter 20 sekunder.

Känslighetsanalys med olika tillväxtkoefficienter

$$\alpha = 0,047 \text{ [kW/s}^2\text{]} \Rightarrow t = 411 \text{ s}$$

$$\alpha = 0,025 \text{ [kW/s}^2\text{]} \Rightarrow t = 484 \text{ s}$$

Heskestads korrelation ur NFPA 92B, för brandgaslagrets höjd se figur 6.2

$$t = \left(\frac{0,91 \cdot H}{z} \right)^{1/1,45} \cdot \frac{t_g^{0,4} A^{0,6}}{H^{0,4}}$$

$$H = 9 \text{ [m]}$$

$$z = 3,2 \text{ [m]}$$

$$t_g = 166,7 \text{ [s]}$$

$$A = 1\,435 \text{ [m}^2\text{]}$$

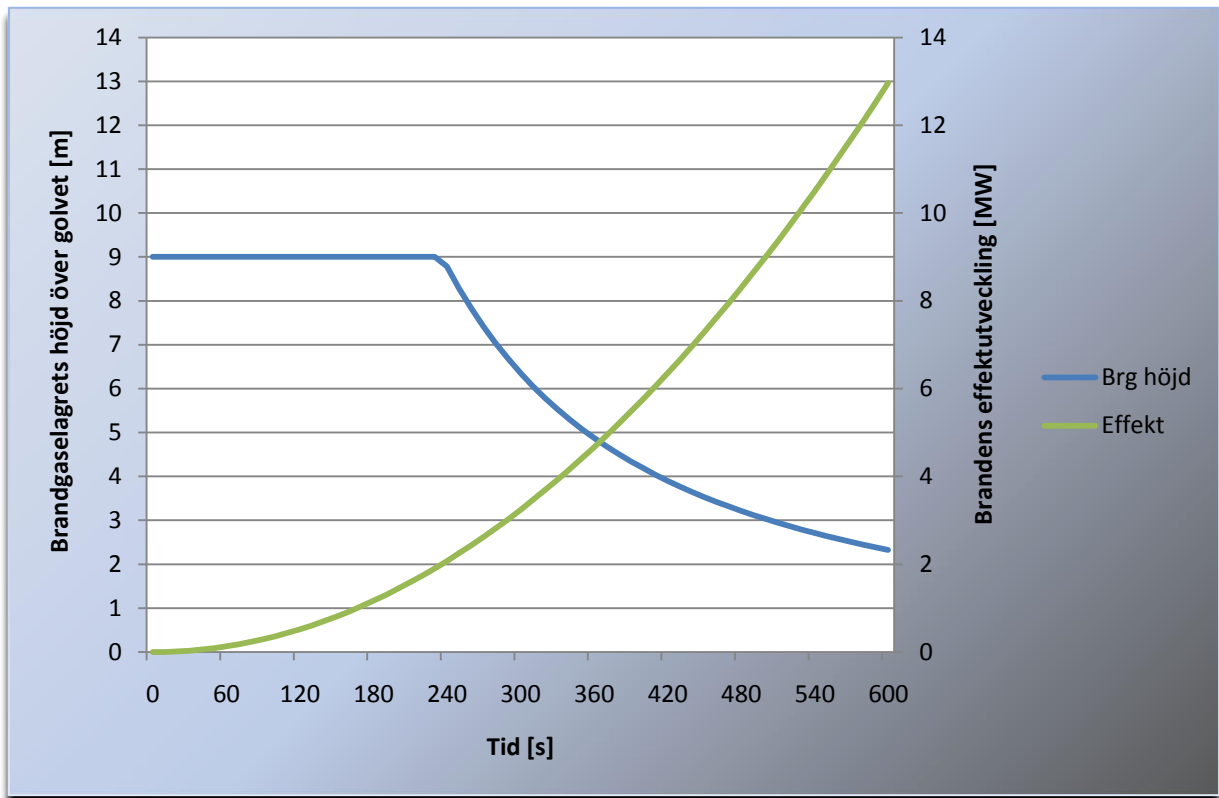
Tiden blir 482 sekunder vilket motsvarar 8 minuter.

Känslighetsanalys med olika tillväxtkoefficienter

$$\alpha = 0,047 \text{ [kW/s}^2\text{]} \Rightarrow t = 457 \text{ s}$$

$$\alpha = 0,025 \text{ [kW/s}^2\text{]} \Rightarrow t = 518 \text{ s}$$

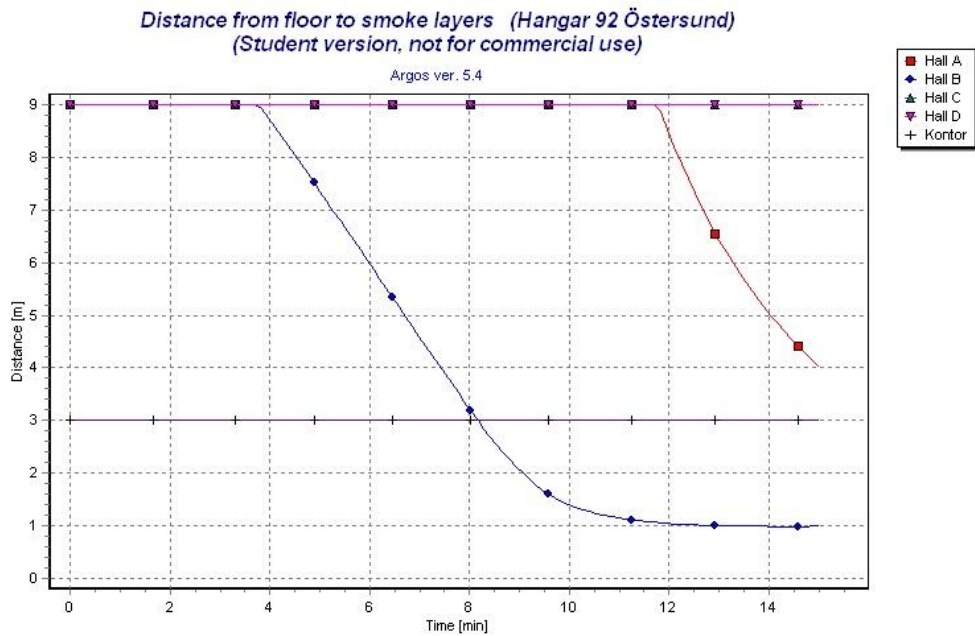
Graf med brandens effektutveckling och brandgaslagrets höjd över golvet.



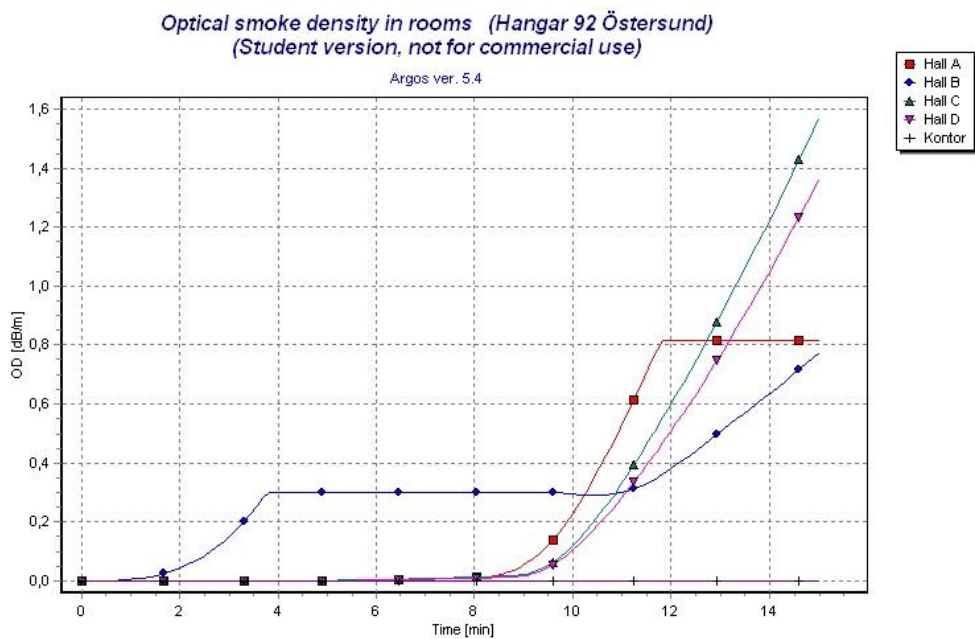
Figur6.2 Brandens effektutveckling samt brandgaslagrets höjd över golvet beräknad med Heskestads korrelation.

Argos

Brandgaslagret når 3,2 meter över golvet efter 480 sekunder, se figur 6.3. Därefter strömmar brandgaserna ut i intilliggande lokaler och blandas med luften vilket ger gradvis försämrad sikt. Störst öppningar finns till lokal A i vilken ett brandgaslager börjar bildas efter cirka 12 minuter. Detta syns i figur 6.4 genom att sikten inte längre försämras. Brandgasernas temperaturdifferens mot den rena rumsluften är då tillräckligt hög för att istället skapa en ansamling i taket.



Figur 6.3 Brandgaslagrets höjd över golvet beräknat med Argos



Figur 6.4 Optisk densitet i lokalerna beräknat med Argos

b. Mässmonter: liten monterbrand, lokal A

Brandstart bord i mässmonter eller lastpall med trycksaker i eller bakom monter. Accelererande effektutveckling som övergår till konstant utan brandspridning.

Accelererande effektutveckling, HRR, enligt αt^2 upp till 1 MW, därefter konstant effektutveckling.
 $\alpha = 0,036 \text{ kW/s}^2$

Frigjord energi på 167 sekunder vilket är tid för branden att nå 1 MW:

$$\int_0^{167} 0,036 \cdot t^2 dt = 56 \text{ MJ}$$

Frigjord energi på ytterligare 500 sekunder vilket är maximal simulerad tid i datorprogram:

$$1 \text{ MW} \cdot 500 \text{ s} = 500 \text{ MJ}$$

556 MJ motsvarar 44 kg trä/papper med ΔH_c 18 MJ/kg och $\chi=0,7$

$$\dot{Q}''_{\max} = 800 \text{ kW/m}^2 \text{ bränsleyta}$$

$$\dot{Q} = 1 \text{ MW} \text{ som maximal effektutveckling}$$

Brandens maximala bränsleyta $1,25 \text{ m}^2$ vid beräkning av stålning.

Flamhöjd, L, vid brand med $1,25 \text{ m}^2$ bränsleyta.

$$D_{\text{ekv}} = 2 \cdot (1,25 \text{ m}^2 / \pi)^{1/2} = 1,26 \text{ m}$$

$$\dot{Q} = 1000 \text{ kW}$$

$$L = 0,235 \cdot 1000^{2/5} - 1,02 \cdot 1,26 = 2,4 \text{ m}$$

Flamtemperatur 1073 K medför strålningsintensiteten ut från flammorna 75 kW/m^2

Synfaktor, Φ , mittför flammorna vid fullt utvecklade brand.

Strålning efter 167 sekunder och avstånd 2,5 meter mittför flammorna

Brandens bredd $1,26 \text{ m}$ ger $L_1 = 0,63 \text{ m}$

L: $2,4 \text{ m}$ ger $L_2 = 1,2 \text{ m}$

$$\left. \begin{array}{l} S: 0,63/1,2 = 0,53 \\ \alpha: 0,63 \cdot 1,2/2,5^2 = 0,12 \end{array} \right\} \Rightarrow \Phi = 0,032$$

$$\Phi_{\text{tot}}: 4 \cdot 0,032 = 0,128$$

$$\dot{q}''_r = 0,128 \cdot 75 = 9,6 \text{ kW/m}^2$$

På avståndet $2,5 \text{ meter}$ från branden är inte ens kortvarig vistelse möjlig på grund av den höga strålningsintensiteten. Utrymning förbi montern är inte möjlig då branden är fullt utvecklad.

Tid för brandgaslagret att nå 3,2 meter över golvet antaget konstant effektutveckling 1 000 kW

Tanaka –Yamanas metod

$$t = \left[\left(z^{-2/3} - \frac{1}{H^{2/3}} \right) \cdot \frac{A \cdot (n + 3)}{2 \cdot k \cdot \alpha^{1/3}} \right]^{\frac{1}{1+n/3}}$$

$$Z = 3,2 \text{ [m]}$$

$$H = 9 \text{ [m]}$$

$$A = 1\,659 \text{ [m}^2\text{]} \text{ (takyta)}$$

$$N = 0 \text{ [-]}$$

$$\alpha = 1000, \text{ konstant effektutveckling [kW]}$$

$$k = \frac{0,21}{\rho_a} \left(\frac{\rho_a^2 \cdot g}{c_p \cdot T_a} \right)^{1/3}$$

$$\rho_a = 1,205 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$c_p = 1,0 \text{ [kJ/kg K]}$$

$$T_a = 293 \text{ K}$$

Iteration ger tiden 710 sekunder vilket motsvarar nära 12 minuter

Heskestads korrelation ur NFPA 92B, för brandgaslagrets höjd se figur 6.5

$$t = \frac{A}{\dot{Q}^{1/3} H^{2/3}} \cdot e^{\left[\left(1,11 - \frac{z}{H} \right) / 0,28 \right]}$$

$$H = 9 \text{ [m]}$$

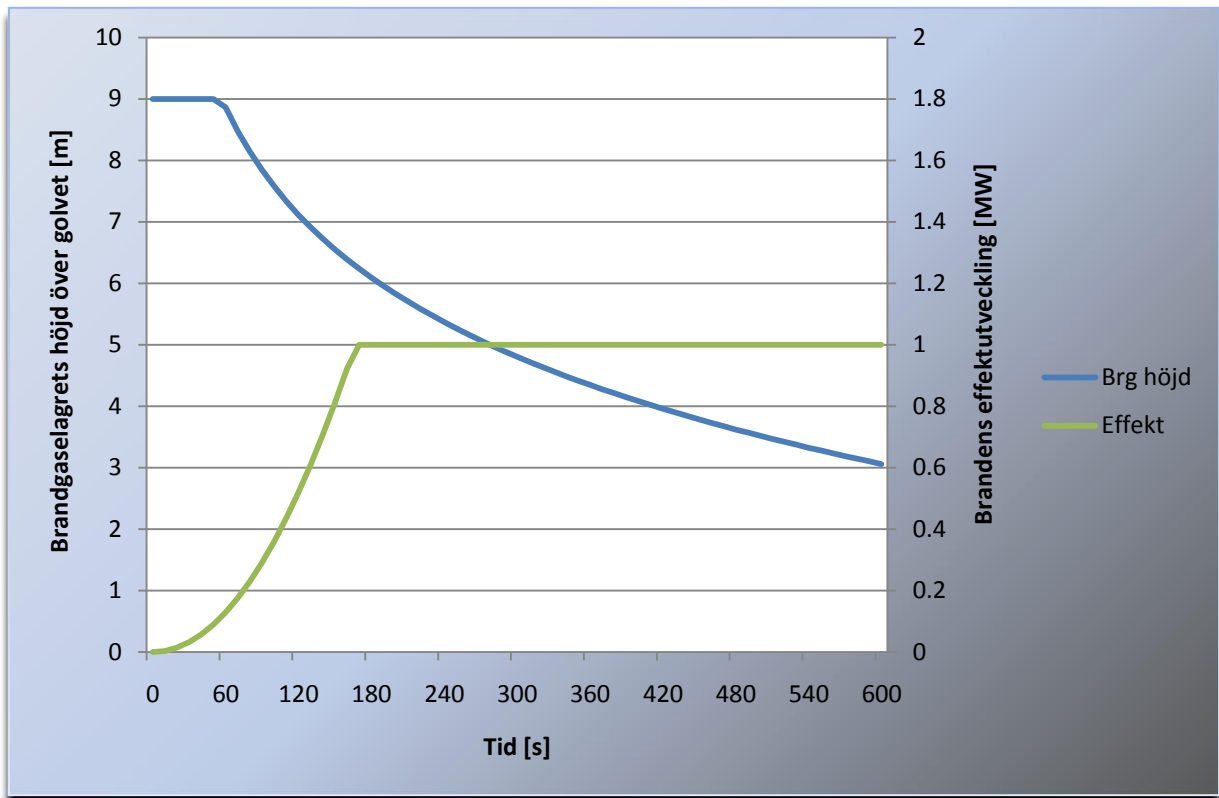
$$z = 3,2 \text{ [m]}$$

$$\dot{Q} = \text{Brandens effektutveckling [kW]}$$

$$A = 1\,659 \text{ [m}^2\text{]} \text{ (takyta)}$$

Tiden blir 567 sekunder vilket motsvarar 9,5 minuter.

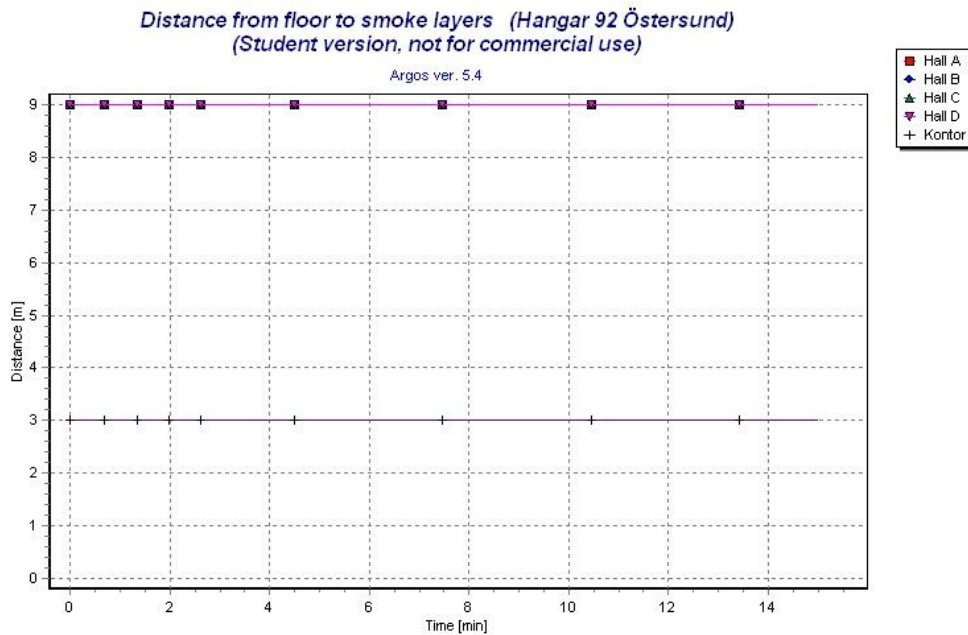
Graf med brandens effektutveckling och brandgaslagrets höjd över golvet.



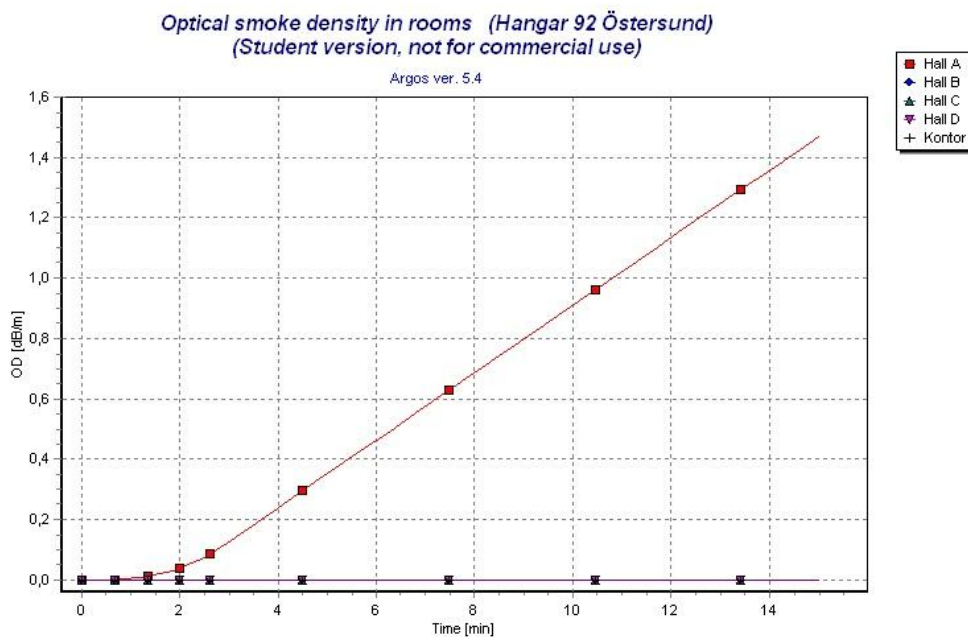
Figur6.5 Brandens effektutveckling samt brandgaslagrets höjd över golvet beräknad med Heskestads korrelation och konstant effektutveckling 1000 kW.

Argos

Inget brandgaslager bildas på grund av den låga temperaturdifferensen mellan brandgaserna och den rena rumsluften, se figur 6.6. Brandgaserna blandas, enligt Argos, homogent med rumsluften och ger en gradvis försämrad sikt, se figur 6.7. En så total omblandning utan någon skiktning är inte rimligt.



Figur 6.6 Brandgaslagrets höjd över golvet beräknat med Argos.



Figur 6.7 Optisk densitet i lokalerna beräknat med Argos.

c. Emballage, lokal A

Brandstart i emballage av kartonger fyllda med papper, frigolit, bubbelplast och stötdämpande material. Spridning via strålning till intilliggande förvaring och väggar.

Accelererande effektutveckling, HRR, enligt α^2

$$\alpha = 0,19 \text{ kW/s}^2$$

Frigjord energi på 320 sekunder vilket är ungefärlig tid till rökfyllnad:

$$\int_0^{315} 0,19 \cdot t^2 dt = 2,0 \cdot 10^3 \text{ MJ}$$

$\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$, för effektutveckling se figur 6.8

Frigjord energi på 500 sekunder vilket är ungefärlig tid till rökfyllnad:

$$\int_0^{500} 0,047 \cdot t^2 dt = 2,0 \cdot 10^3 \text{ MJ}$$

$2,0 \cdot 10^3 \text{ MJ}$ motsvarar 155 kg trä/papper med ΔH_c 18 MJ/kg eller 70 kg polystyren ΔH_c 40 MJ/kg och $\chi = 0,7$

\dot{Q}''_{\max} 1700 kW/m² bränsleyta

\dot{Q}_{\max} 20 MW som maximal effektutveckling

Brandens maximala bränsleyta 9 m² vid beräkning av stålning.

Flamhöjd, L, vid brand i förvaringsyta 3 x 3 meter.

$$D_{ekv} = 2 \cdot (3 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} / \pi)^{1/2} = 3,4 \text{ m}$$

$$\text{HRR} = 3 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} \cdot 1700 \text{ kW/m}^2 = 15300 \text{ kW}$$

$$L = 0,235 \cdot 15300^{2/5} - 1,02 \cdot 3,4 = 7,6 \text{ m}$$

Flamtemperatur 1073 K medför strålningsintensiteten ut från flammorna 75 kW/m²

Synfaktor, Φ , i nivå med flammor som slår upp över de 2,5 meter höga väggarna som avgränsar emballageförvaringen.

Avstånd till mittför flammorna för strålningsintensiteten 7,5 kW/m² (8 sekunders vistelse)

Brandens bredd: 3 m ger $L_1 = 1,5 \text{ m}$

L: 7,6 m - 2,5 m ger $L_2 = 5,1 \text{ m}$

$$\dot{q}_r'' = \Phi_{\text{tot}} \cdot 75 = 7,5 \text{ kW/m}^2 \Rightarrow \Phi_{\text{tot}} = 0,1$$

$$\Phi: 0,1/2 = 0,05$$

$$\alpha: \left. \begin{array}{l} S: 1,5/5,1 = 0,3 \\ 1,5 \cdot 5,1 / \text{avståndet}^2 = 0,23 \end{array} \right\} \Rightarrow \phi = 0,05$$

Avståndet = 5,8 meter

På närmare avstånd än 6 meter från branden är inte ens kortvarig vistelse möjlig på grund av den höga strålningsintensiteten.

Avstånd till flammorna för strålningsintensiteten 2,5 kW/m² (10 minuters vistelse)

Brandens bredd: 3 ger L₁=1,5 m

L: 7,6 m -2,5 m ger L₂=5,1 m

$$\dot{q}_r'' = \Phi_{\text{tot}} \cdot 75 = 2,5 \text{ kW/m}^2 \Rightarrow \Phi_{\text{tot}} = 0,033$$

$$\Phi: 0,1/2 = 0,0167$$

$$\alpha: \left. \begin{array}{l} S: 1,5/5,1 = 0,3 \\ 1,5 \cdot 5,1 / \text{avståndet}^2 = 0,06 \end{array} \right\} \Rightarrow \phi = 0,017$$

Avståndet = 11,3 meter

På närmare avstånd än 11 meter från branden är inte längre vistelse möjlig på grund av den höga strålningsintensiteten.

Tid för brandgaslagret att nå 3,2 meter över golvet med $\alpha = 0,19$ och $0,047 \text{ kW/s}^2$

Tanaka –Yamanas metod

$$t = \left[\left(z^{-2/3} - \frac{1}{H^{2/3}} \right) \cdot \frac{A \cdot (n + 3)}{2 \cdot k \cdot \alpha^{1/3}} \right]^{1+\frac{n}{3}}$$

$$z = 3,2 \text{ [m]}$$

$$H = 9 \text{ [m]}$$

$$A = 1 \text{ 659 [m}^2\text{]} \text{ (takyta)}$$

$$n = 2 \text{ [-]}$$

$$\alpha = 0,19 \text{ respektive } 0,047 \text{ [kW/s}^2\text{]}$$

$$k = \frac{0,21}{\rho_a} \left(\frac{\rho_a^2 \cdot g}{c_p \cdot T_a} \right)^{1/3}$$

$$\rho_a = 1,205 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$c_p = 1,0 \text{ [kJ/kg K]}$$

$$T_a = 293 \text{ K}$$

Iteration ger tiden 297 respektive 437 sekunder vilket motsvarar 5-7,5 minuter.

Heskestads korrelation ur NFPA 92B, för brandgaslagrets höjd se figur 6.8

$$t = \left(\frac{0,91 \cdot H}{z} \right)^{1/1,45} \cdot \frac{t_g^{0,4} A^{0,6}}{H^{0,4}}$$

H = 9 [m]

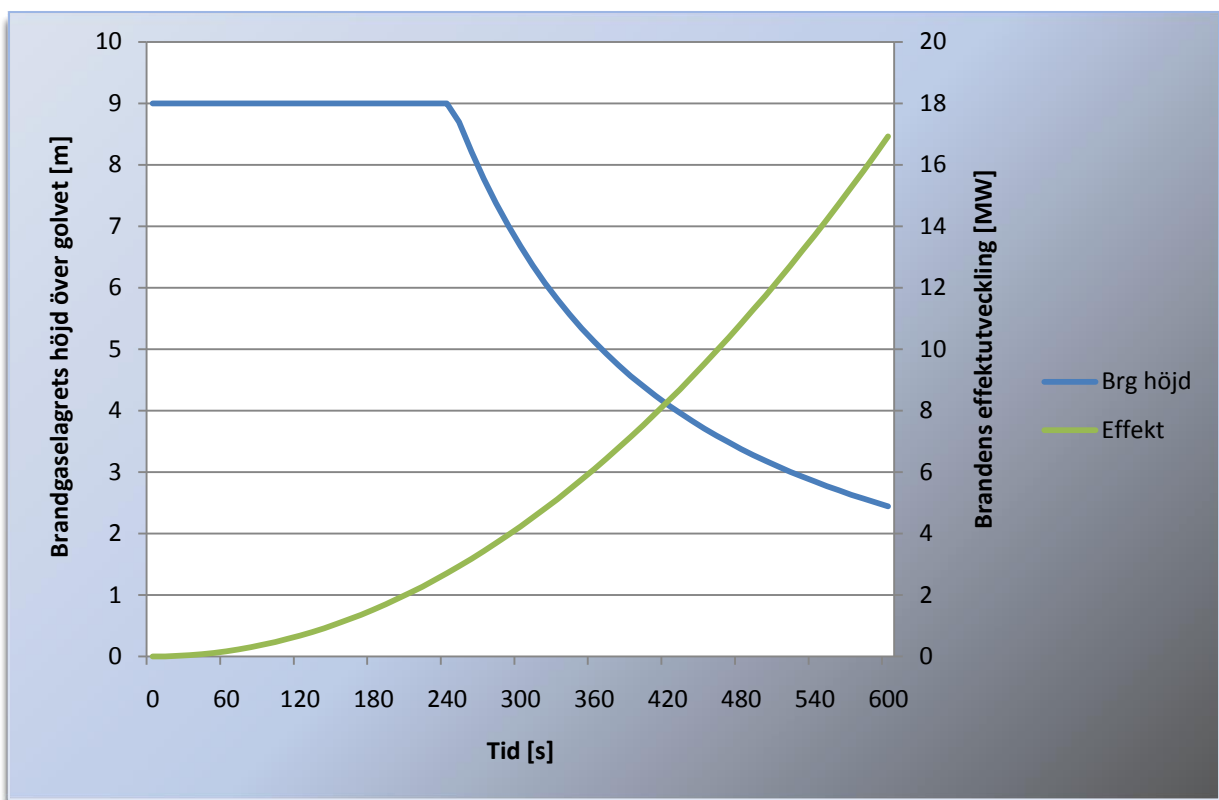
z = 3,2 [m]

t_g = 73 respektive 146 [s]

A = 1 659 [m²]

Tiden blir 377 respektive 498 sekunder vilket motsvarar cirka 6-8 minuter.

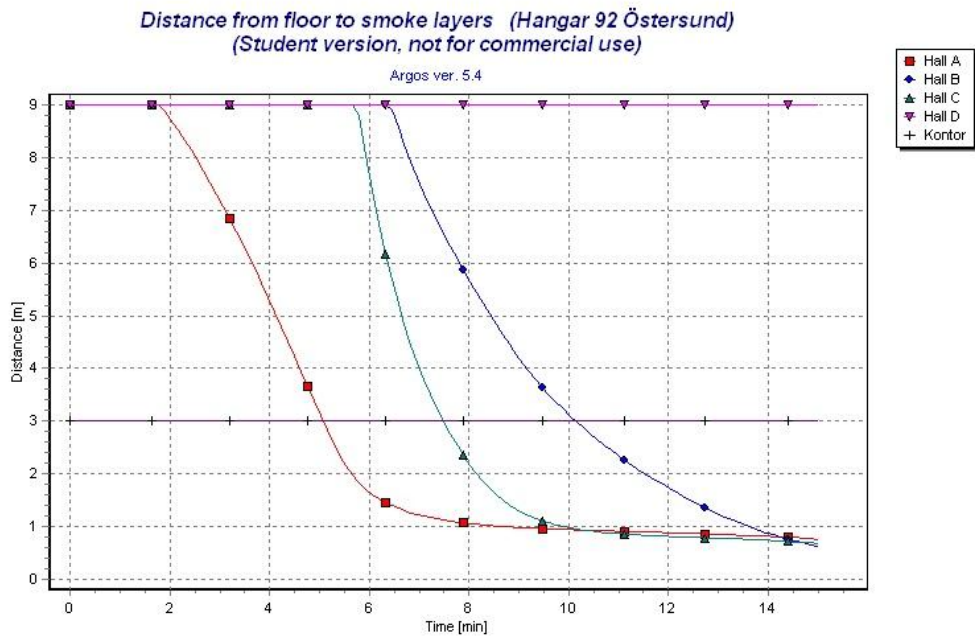
Graf med brandens effektutveckling och brandgaslagrets höjd över golvet.



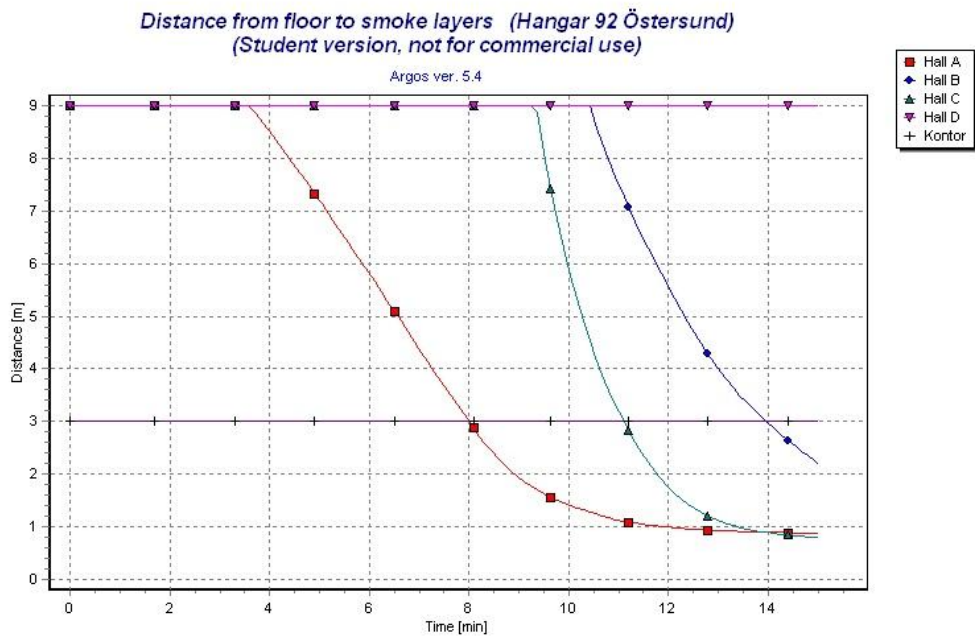
Figur 6.8 Brandens effektutveckling samt brandgaslagrets höjd över golvet beräknad med Heskestads korrelation och tillväxtkoefficienten $\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$. Branden når i detta fall inte 20MW innan kritiska förhållanden uppstår.

Argos

Brandgaslagret når 3,2 meter över golvet efter cirka 5 till 8 minuter beroende på tillväxtkoefficienten α , se figur 6.9 och 6.10.



Figur 6.9 Brandgaslagrets höjd över golvet beräknat med Argos och $\alpha=0,19 \text{ kW/s}^2$



Figur 6.10 Optisk densitet i lokalerna beräknat med Argos och $\alpha=0,047 \text{ kW/s}^2$

d. Scen, lokal C

Brandstart i emballage och förvaringslådor under scen, spridning till scengolv, möbler på scen, dekorationer, backdrop och skärmväggar genom strålning och flamspridning.

Accelererande effektutveckling, HRR, enligt αt^2 , se figur 6.11.

$$\alpha = 0,048 \text{ kW/s}^2$$

Frigjord energi på 500 sekunder:

$$\int_0^{300} 0,048 \cdot t^2 dt = 430 \text{ MJ}$$

430 MJ motsvarar 34 kg trä/papper med ΔH_c 18 MJ/kg och $\chi=0,7$

$$\dot{Q}''_{max} \text{ 250 kW/m}^2 \text{ bränsleyta}$$

Brandens maximala bränsleyta 24 m^2 , större är möjligt beroende på scenens storlek och innehåll.

Flamhöjd, L, vid brand i scen och bakre väggen/backdrop bildar en vertikal bränsleyta med höjd x bredd 6 x 8 meter.

Flamtemperatur 1073 K medför strålningsintensiteten ut från flammorna 75 kW/m^2

Synfaktor, Φ , beroende på avstånd till flammorna.

Strålning mot stolar på främre bänkraden, avstånd 4 meter i nivå med flammorna

Brandens bredd: 8 m ger $L_1=4$ m

L: 6 m ger $L_2=6$ m

$$\left. \begin{array}{l} S: 4/6 = 0,67 \\ \alpha: 4 \cdot 6/4^2 = 1,5 \end{array} \right\} \Rightarrow \Phi = 0,155$$

$$\Phi_{tot} \cdot 2 \cdot 0,155 = 0,311$$

$$\dot{q}''_r = 0,311 \cdot 75 = 23,3 \text{ kW/m}^2$$

Strålningen mot främre bänkraden är 23 kW/m^2 när branden är fullt utvecklad i scenen. Detta är tillräckligt för att antända stolarna och medföra att branden sprids vidare i lokalen. Utrymning genom dörrar vid sidan om scenen är inte heller möjlig.

Strålning utrymmande vid "Exit 9" (dörr 18), avstånd 20 meter från hörnet av flammorna

L: 6 m ger $L_1=6$ m

Brandens bredd: 8 m ger $L_2=8$ m

$$\left. \begin{array}{l} S: 6/8 = 0,75 \\ \alpha: 6 \cdot 8/20^2 = 0,12 \end{array} \right\} \Rightarrow \Phi = 0,032$$

$$\Phi_{tot} \cdot 1 \cdot 0,032 = 0,032$$

$$\dot{q}_r'' = 0,032 \cdot 75 = 2,4 \text{ kW/m}^2$$

Strålningen mot utrymmande som befinner sig vid den bakre utgången i lokalen är 2,4 kW/m² när branden är fullt utvecklad i scenen. Detta är strax under gränsvärdet 2,5 kW/m² som är gränsen för längre tids exponering, upp till 10 minuter.

Tid för brandgaslagret att nå 3,2 meter över golvet

Tanaka –Yamanas metod

$$t = \left[\left(z^{-2/3} - \frac{1}{H^{2/3}} \right) \cdot \frac{A \cdot (n + 3)}{2 \cdot k \cdot \alpha^{1/3}} \right]^{\frac{1}{1+n}}$$

$$z = 3,2 \text{ [m]}$$

$$H = 9 \text{ [m]}$$

$$A = 584 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$n = 2 \text{ [-]}$$

$$\alpha = 0,048 \text{ [kW/s}^2\text{]}$$

$$k = \frac{0,21}{\rho_a} \left(\frac{\rho_a^2 \cdot g}{c_p \cdot T_a} \right)^{1/3}$$

$$\rho_a = 1,205 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$c_p = 1,0 \text{ [kJ/kg K]}$$

$$T_a = 293 \text{ K}$$

Iteration ger tiden 266 sekunder vilket motsvarar 4 minuter 26 sekunder.

Känslighetsanalys med olika tillväxtkoefficienter

$$\alpha = 0,080 \text{ [kW/s}^2\text{]} \Rightarrow t = 233 \text{ s}$$

$$\alpha = 0,025 \text{ [kW/s}^2\text{]} \Rightarrow t = 310$$

Heskestads korrelation ur NFPA 92B, för brandgaslagrets höjd se figur 6.11.

$$t = \left(\frac{0,91 \cdot H}{z} \right)^{1/1,45} \cdot \frac{t_g^{0,4} A^{0,6}}{H^{0,4}}$$

$$H = 9 \text{ [m]}$$

$$z = 3,2 \text{ [m]}$$

$$t_g = 166,7 \text{ [s]}$$

$$A = 1\,435 \text{ [m}^2\text{]}$$

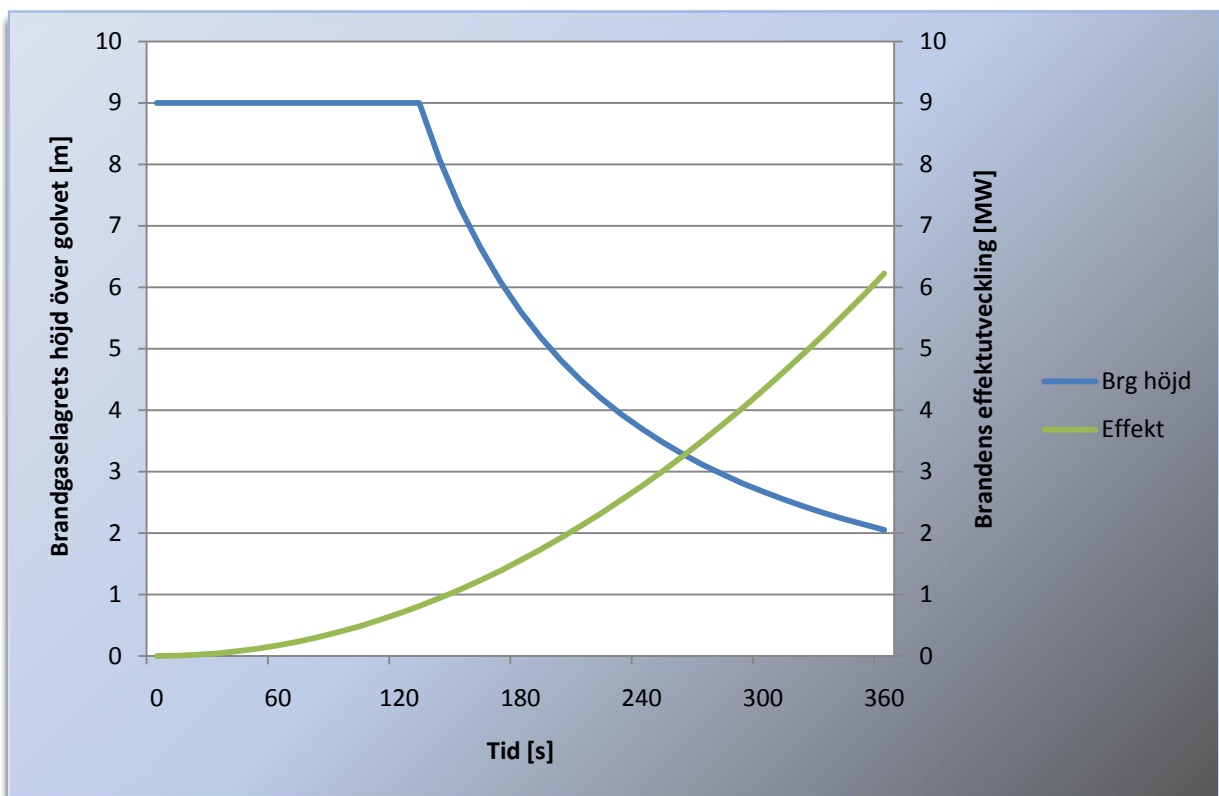
Tiden blir 265 sekunder vilket motsvarar 4 minuter 25 sekunder.

Känslighetsanalys med olika tillväxtkoefficienter

$$\alpha = 0,08 \text{ [kW/s}^2\text{]} \Rightarrow t = 239 \text{ s}$$

$$\alpha = 0,025 \text{ [kW/s}^2\text{]} \Rightarrow t = 302 \text{ s}$$

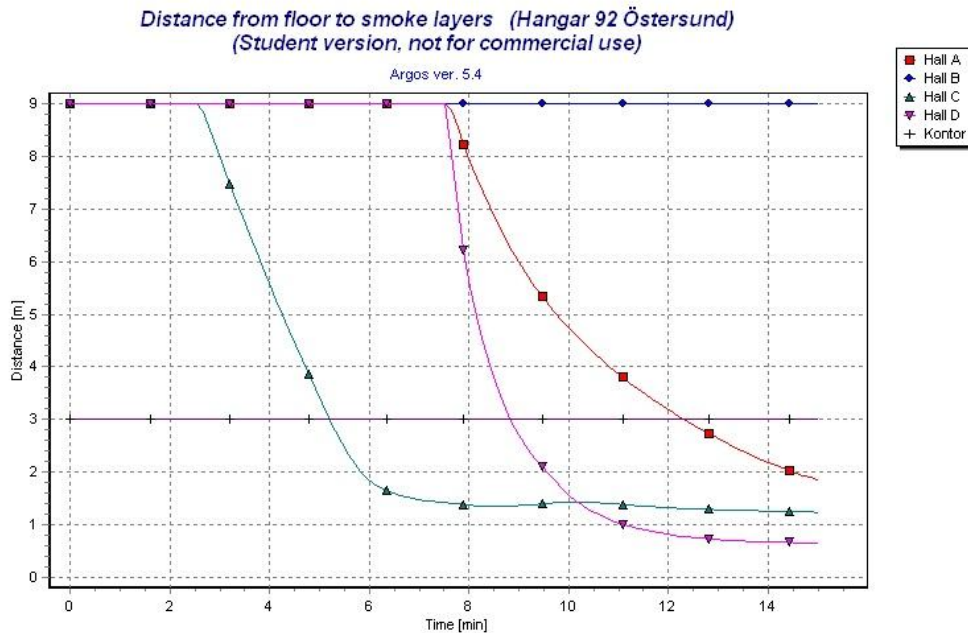
Graf med brandens effektutveckling och brandgaslagrets höjd över golvet.



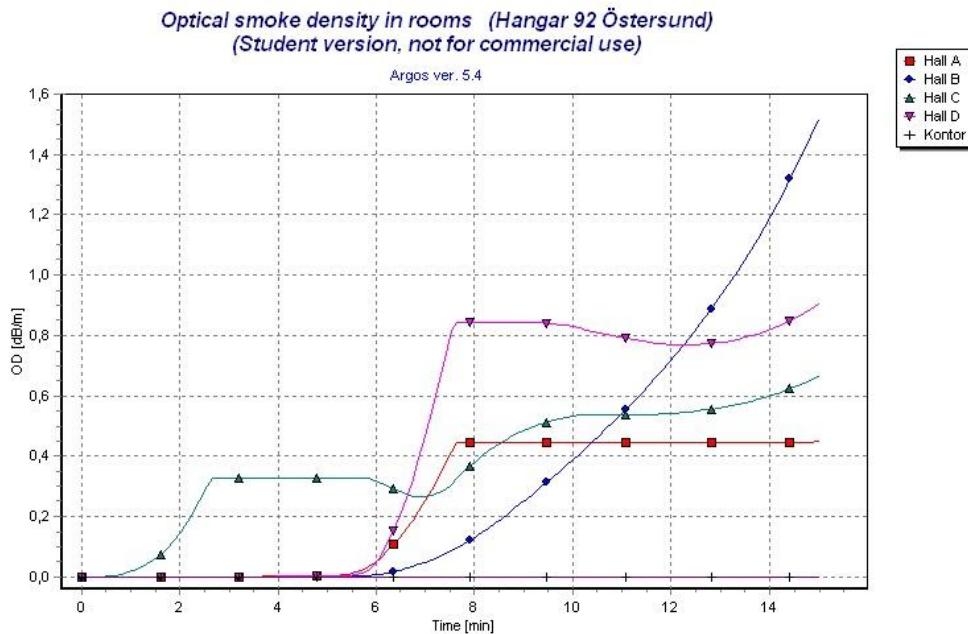
Figur 6.11 Brandens effektutveckling samt brandgaslagrets höjd över golvet beräknad med Heskestads korrelation.

Argos

Brandgaslagret når 3,2 meter över golvet efter 305 sekunder, se figur 6.12. Därefter strömmar brandgaserna ut i intilliggande lokaler och blandas med luften vilket ger gradvis försämrad sikt. Störst öppningar finns till lokal A i vilken ett brandgaslager börjar bildas efter cirka 8 minuter. Detta syns i figur 6.13 genom att sikten inte längre försämras då brandgaserna istället samlas i taket.



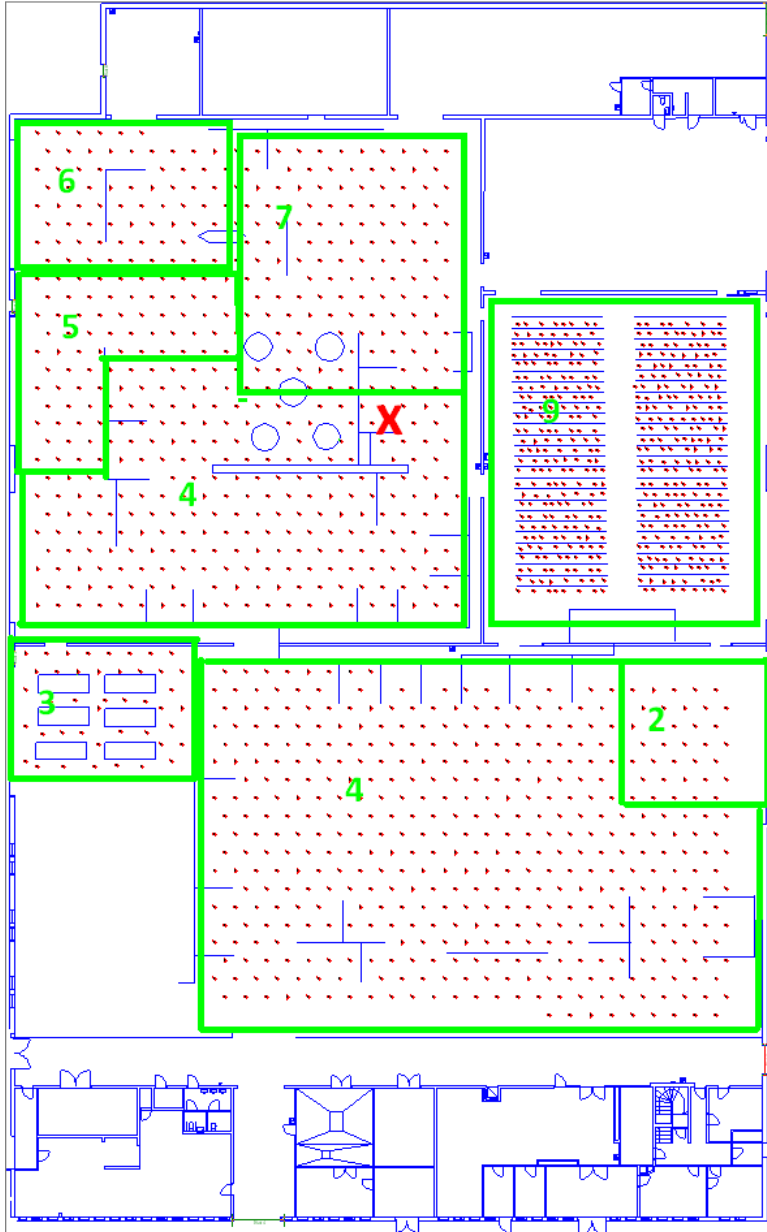
Figur 6.12 Brandgaslagrets höjd över golvet beräknat med Argos



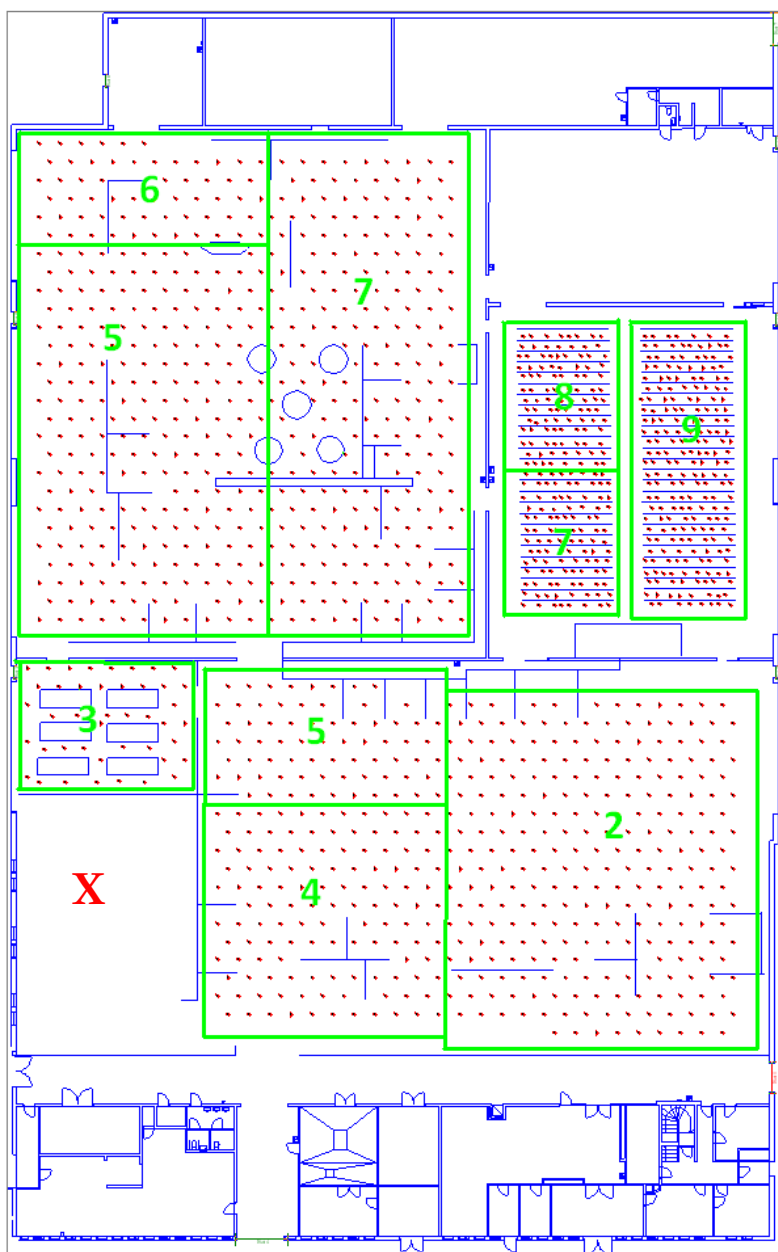
Figur 6.13 Optisk densitet i lokalerna beräknat med Argos

Bilaga 7. Uppställning i Simulex

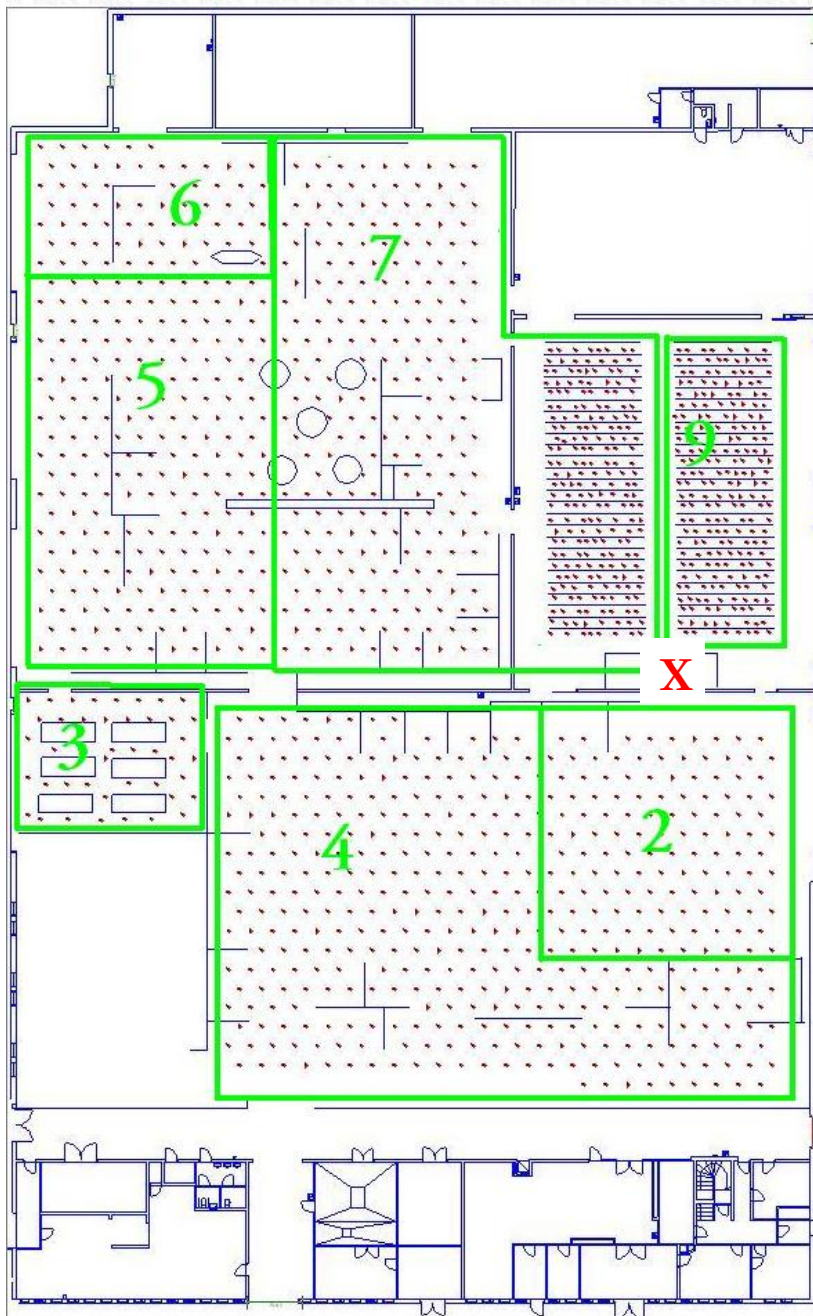
Nedan presenteras uppställningen för simuleringar i Simulex, för de tre olika brandscenerierna. Antal personer är totalt 1412 stycken. Krysset markerar den plats där branden startar. Siffrorna i rutorna innebär att personerna inom aktuell ruta utrymmer genom den "Exit" som har samma siffra i figur 28 i rapporten, se under rubrik *10 Simuleringar i Simulex: förflyttningstiden med befintliga dörrar*.



Figur 7.1 Uppställning i Simulex vid brand i mässmonter.



Figur 7.2 Uppställning i Simulex vid brand i emballage.



Figur 7.3 Uppställning i Simulex vid brand i scen.

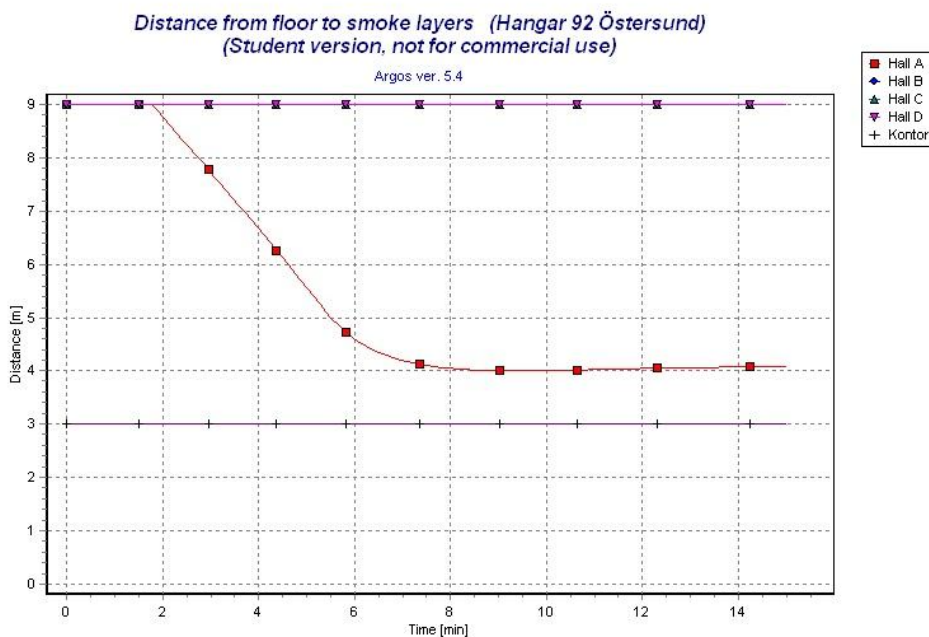
Bilaga 8. Resultatgrafer för simuleringar i Argos med brandgasventilation

Brandgasluckor á 1 x 2 m med Cv 0,4 som är fullt öppnade 15 sekunder efter aktivering. Öppnas på signal från brandlarm eller med smältbleck temperatur 60 °C och RTI 100 (ms)^{1/2}, maximalt avstånd till lucka är 14 m.

Antal i lokal: A 20 st, B 12 st, C 8 st, D 4 st.

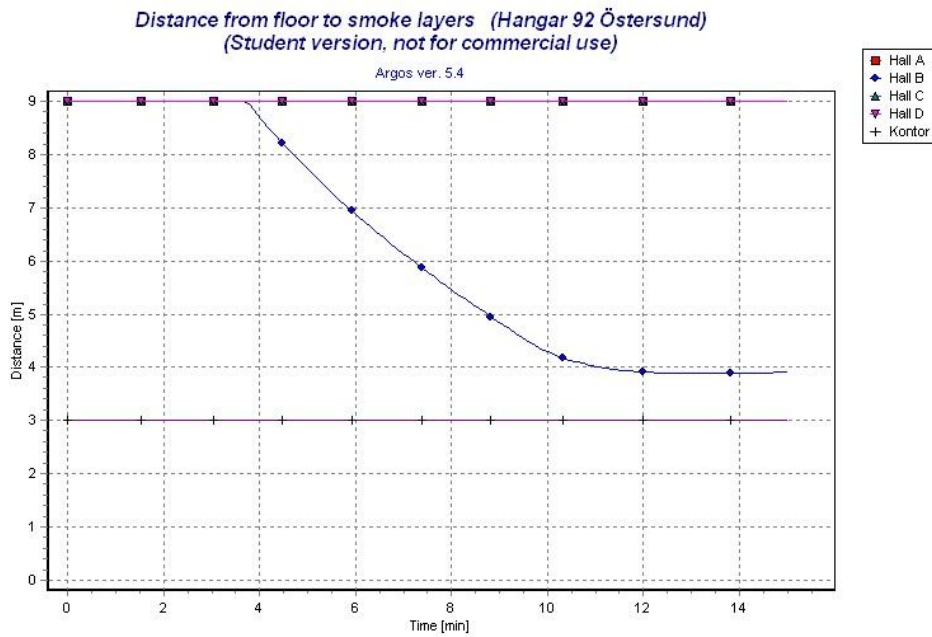
Aktivering med enbart smältbleck resulterar i att kritiska förhållanden uppstår i lokalerna innan brandgasventilationen hinner aktiveras och öppna. Med aktivering från brandlarmet uppstår inte kritiska förhållanden på grund av för lågt brandgaslager inom simuleringstiden 15 minuter.

Lokal A, brand i emballage. Brandgasventilationen är fullt öppen efter 90 sekunder och brandgaslagret blir stationärt cirka 4 meter över golvet, se figur 8.1.



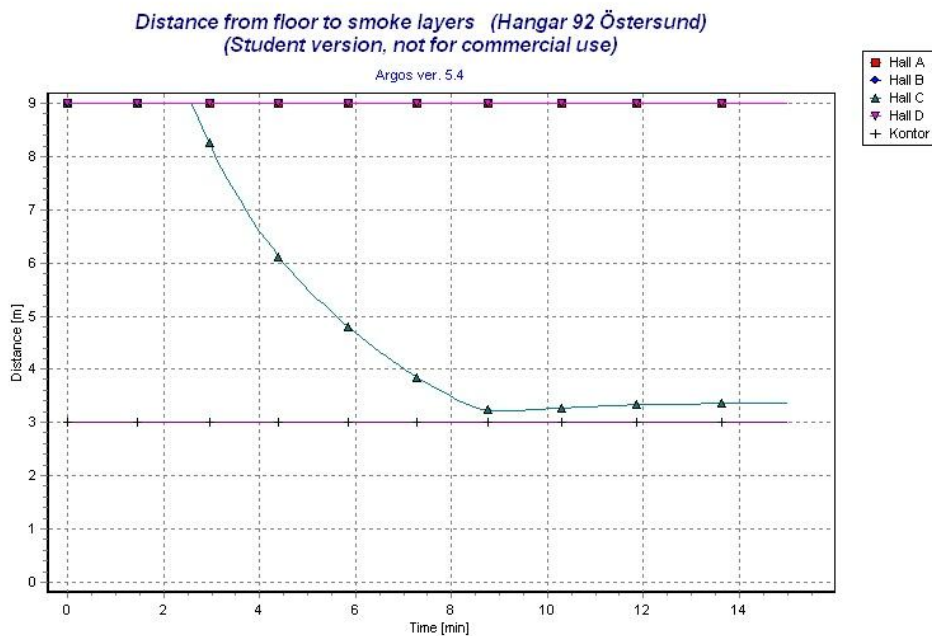
Figur 8.1 Brandgaslagrets höjd över golvet beräknat med Argos.

Lokal B, brand i stor mässmonter. Brandgasventilationen är fullt öppen efter 186 sekunder och brandgaslagret blir stationärt cirka 4 meter över golvet, se figur 8.2.



Figur 8.2 Brandgaslagrets höjd över golvet beräknat med Argos.

Lokal C, brand i scen. Brandgasventilationen är fullt öppen efter 147 sekunder och brandgaslagret blir stationärt cirka 3,2 meter över golvet, se figur 8.3.



Figur 8.3 Brandgaslagrets höjd över golvet beräknat med Argos.

Bilaga 9. Beräkningar i @Risk

Bilaga 9 presenterar först i bilaga 9a fördelningskurvorna som sedan simulerats i @Risk vars resultat visas i bilaga 9b – 9d.

a. Indata till fördelningskurvor.

Nedan presenteras de indata till de fördelningskurvor som simulerats i @Risk för vart och ett av brandscenarierna. Varje fördelningskurva är triangulär och har ett minimumvärde, ett ansatt medelvärde samt ett maximumvärde. Även fördelningskurvornas väntevärde åskådliggörs. Indata till fördelningskurvorna står i anknytning till den tid som specifik kurva påverkar. Gällande förflyttningstiden bygger de två Simulex-simuleringarna på fördelningskurvan över antal personer, men är i sig inga fördelningskurvor.

Tabell 9.1 Indata till fördelningskurvor monterbrand.

t_{kritisk} [sek]	Simulerats i	minvärde	Viktat medelvärde	maxvärde	väntevärde
Heskestads rökfylln.	Handberäkning	-	-	-	482
α -värde	@Risk	0,025	0,036	0,047	0,036
Rökfyllnad med brandgasventilation	Argos	-	-	-	900
t_{varseblivning} [sek]					
Tid till detektion enligt DETACT-QS	@Risk	62,8	96,7	126,9	90
Utan brandlarm	@Risk	20	180	300	166.6666667
t_{förberedelse} [sek]					
Informativt meddelande	@Risk	45	70	78	64.333333
Ringklocka	@Risk	81	185	205	157
Utan utrymningslarm	Ansatt värde	-	-	-	240
t_{förflyttning} [sek]					
Breda dörrar i utgångar	Simulex	-	-	-	159.8005852
Blockerad "Exit 5"	Simulex	-	-	-	182.3962646
Antal personer	@Risk	500	1500	2500	1500

Tabell 9.2 Indata till fördelningskurvor emballagebrand.

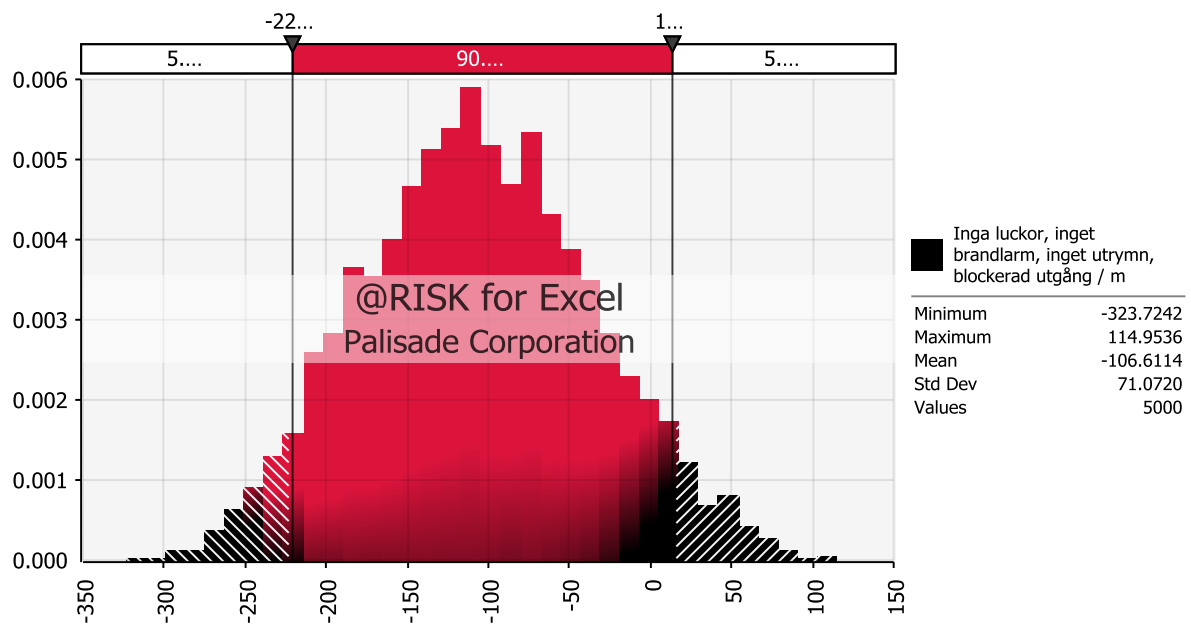
t_{kritisk} [sek]	Simulerats i	minvärde	Viktat medelvärde	maxvärde	väntevärde
Heskestads rökfylln.	Handberäkning	-	-	-	482
α -värde	@Risk	0,025	0,1	0,19	0.111666667
Rökfyllnad med brandgasventilation	Argos	-	-	-	900
t_{varseblivning} [sek]					
Tid till detektion enligt DETACT-QS	@Risk	55,1	84,8	111,3	78.66666667
Utan brandlarm	@Risk	20	180	300	166.6666667
t_{föberedelse} [sek]					
Informativt meddelande	@Risk	45	70	78	64.33333
Ringklocka	@Risk	81	185	205	157
Utan utrymningslarm	Ansatt värde	-	-	-	240
t_{förflyttning} [sek]					
Breda dörrar i utgångar	Simulex	-	-	-	159.8005852
Blockerad "Exit 4"	Simulex	-	-	-	167.9978345
Antal personer	@Risk	500	1500	2500	1500

Tabell 9.3 Indata till fördelningskurvor scenbrand.

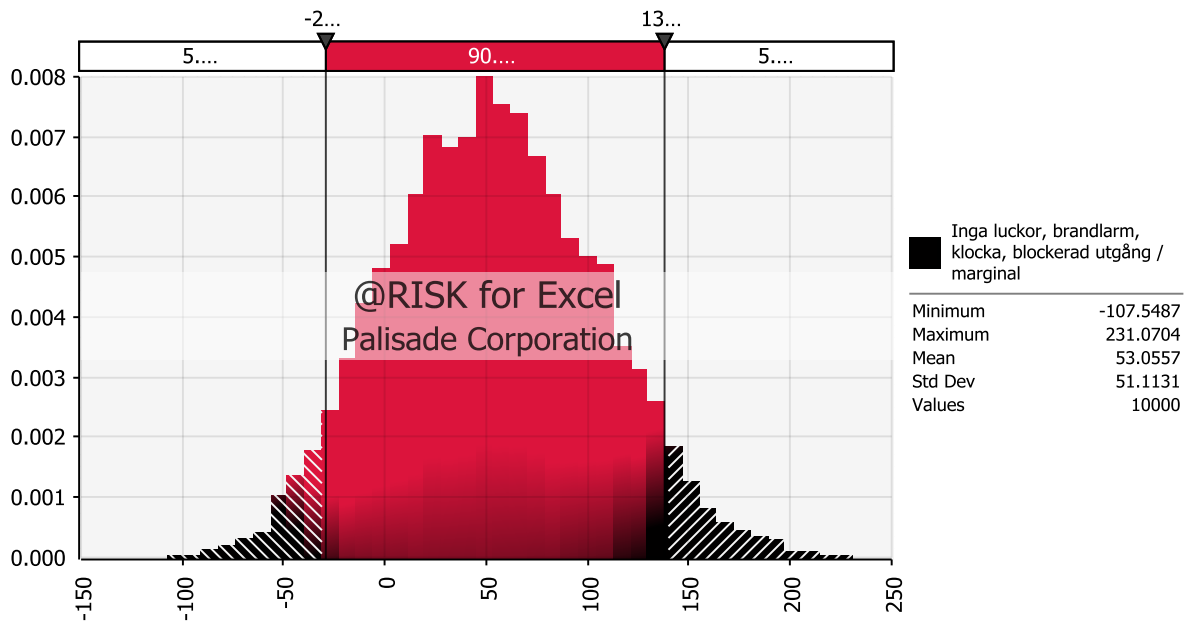
t_{kritisk} [sek]	Simulerats i	minvärde	Viktat medelvärde	maxvärde	väntevärde
Heskestads rökfylln.	Handberäkning	-	-	-	482
α -värde	@Risk	0,025	0,03	0,08	0,045
Rökfyllnad med brandgasventilation	Argos	-	-	-	900
t_{varseblivning} [sek]					
Tid till detektion enligt DETACT-QS	@Risk	54,5	83,9	110,2	79
Utan brandlarm	@Risk	20	180	300	166.6666667
t_{föberedelse} [sek]					
Informativt meddelande	@Risk	45	70	78	64.33333
Ringklocka	@Risk	81	185	205	157
Utan utrymningslarm	Ansatt värde	-	-	-	240
t_{förflyttning} [sek]					
Breda dörrar i utgångar	Simulex	-	-	-	159.8005852
Blockerad "Exit 9"	Simulex	-	-	-	180.607857
Antal personer	@Risk	500	1500	2500	1500

b. Grafer över utrymningsresultat brandscenario mässmonter.

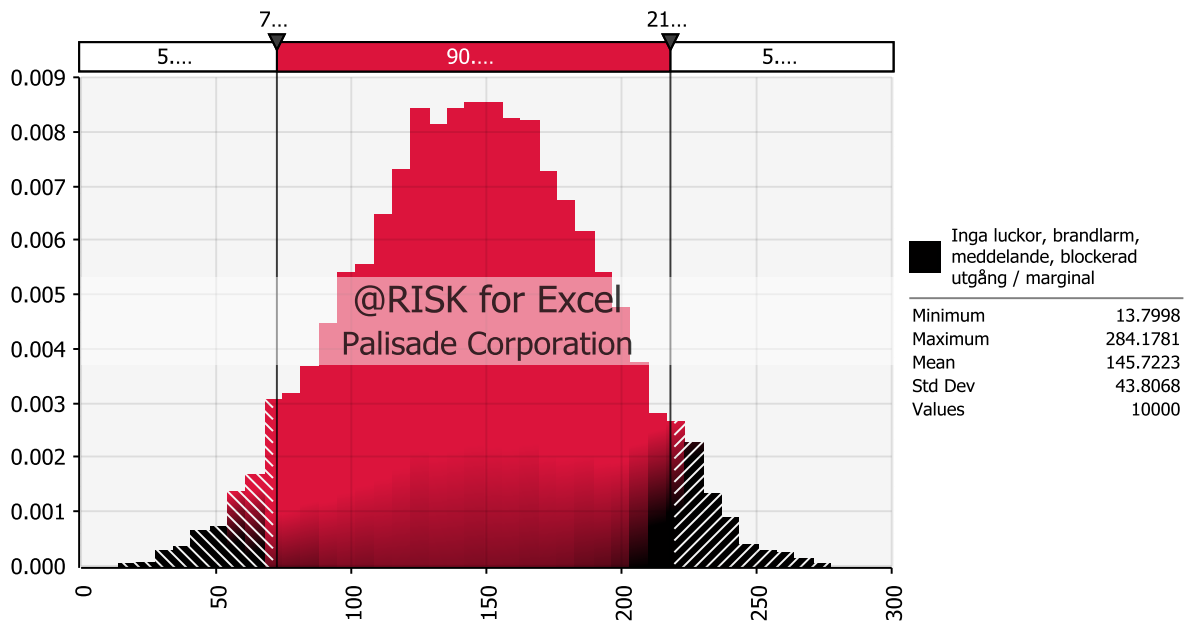
Nedan presenteras resultatet från simuleringar i @Risk med ovanstående fördelningskurvor, gällande brandscenario mässmonter. Varje figur motsvarar en simulering med en specifik kombination av brandtekniska system. Väntevärdet av varje simulering ger en god indikation på hur bra brandskyddet i specifikt fall är. Resultatet är marginalen som kvarstår efter den totala utrymningstiden. Ett bra system innebär en positiv marginal, det vill säga positiva värden för min-, max- och medelvärden. Ett starkt positivt minimumvärde visar på den bästa kombinationen av brandtekniska system. Konfidensintervallet är ansatt till 90 %.



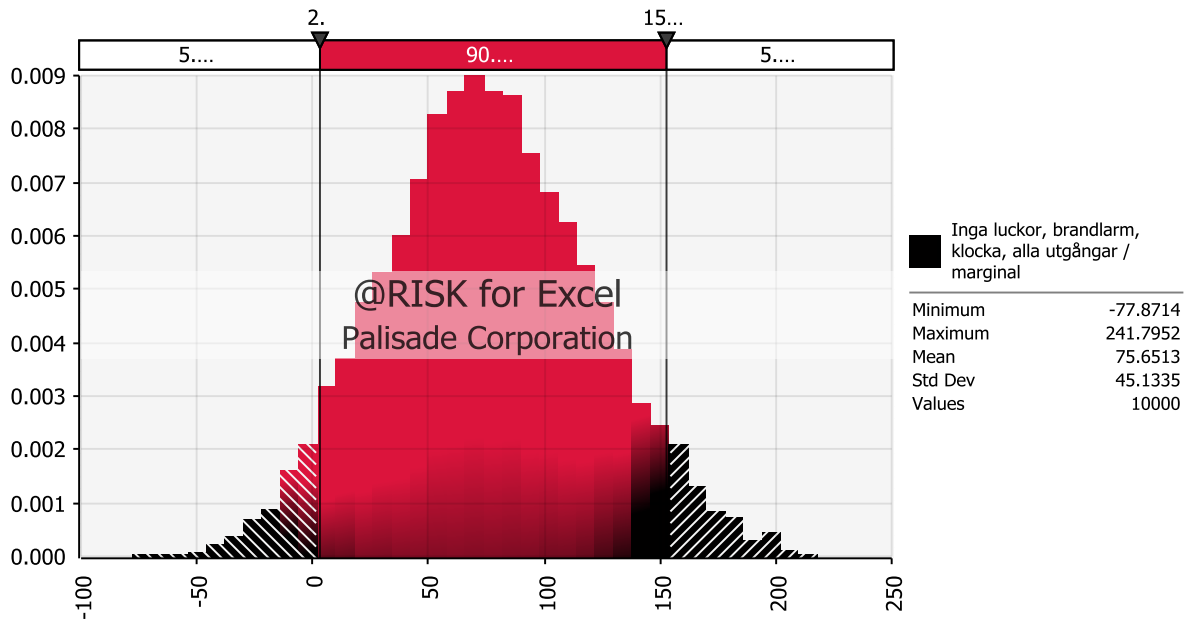
Figur 9.1 Brandscenario mässmonter. Simulering med ingen brandgasventilation, inget brand- eller utrymningslarm, en blockerad utgång.



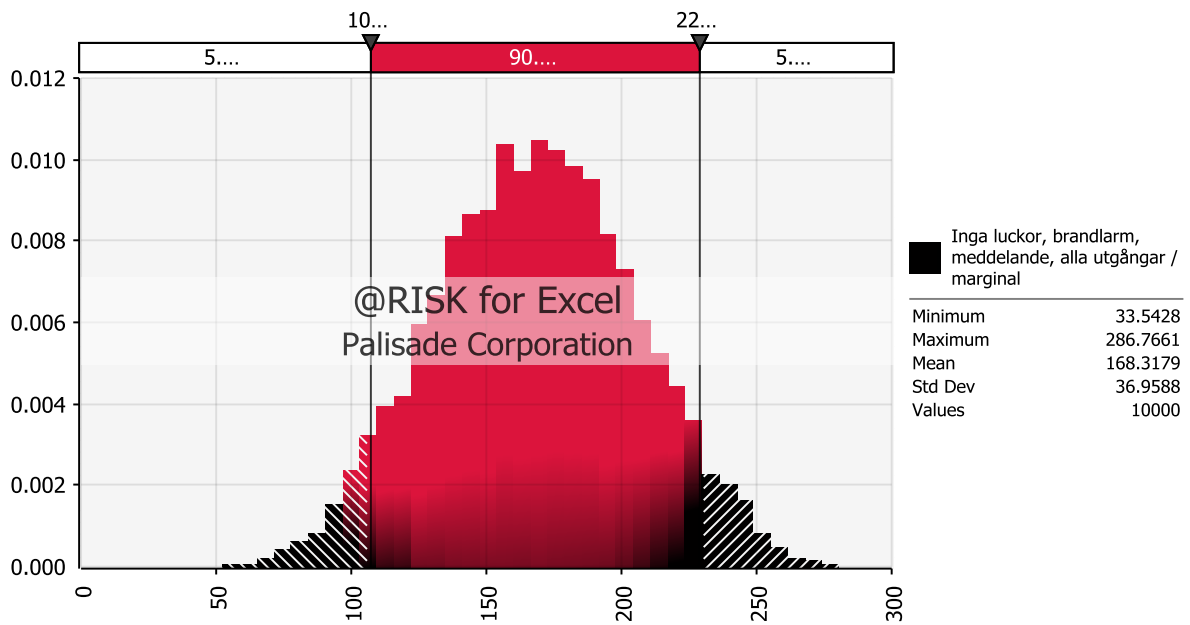
Figur 9.2 Brandscenario mässmonter. Simulering med ingen brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av ringklocka, en blockerad utgång.



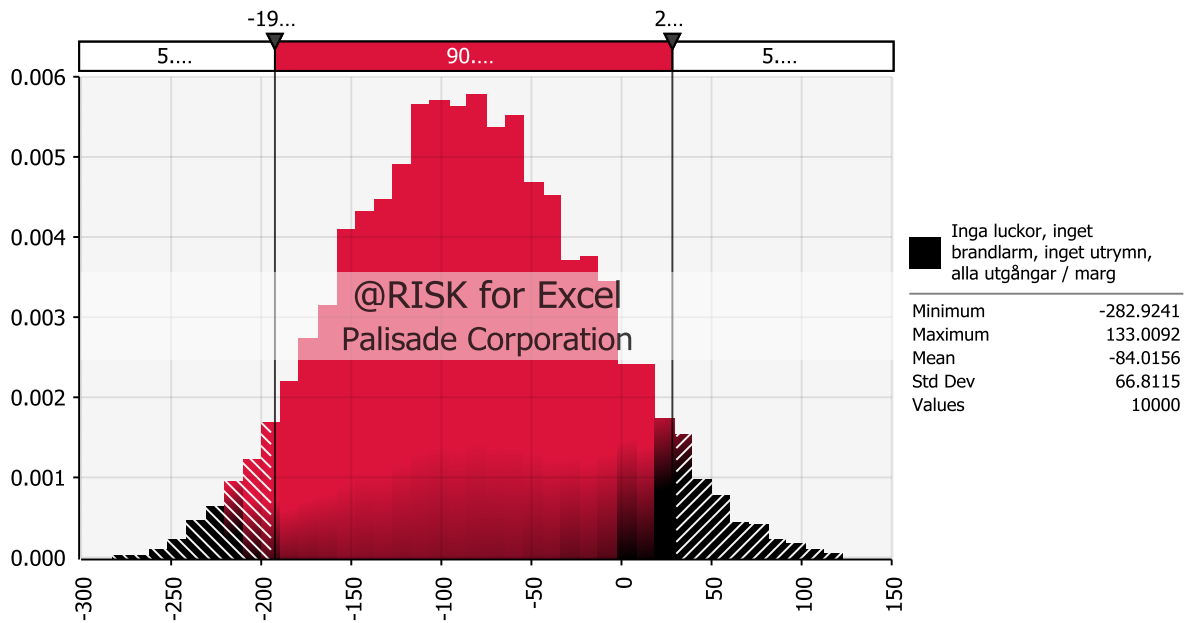
Figur 9.3 Brandscenario mässmonter. Simulering med ingen brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av meddelande, en blockerad utgång.



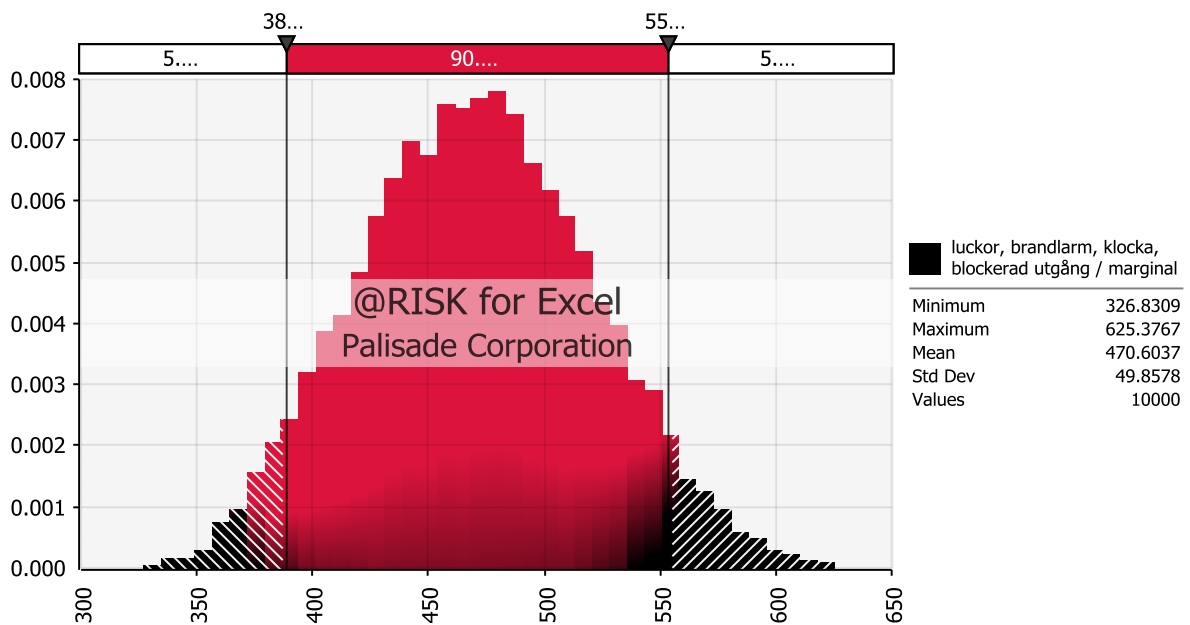
Figur 9.4 Brandscenario mässmonter. Simulering med ingen brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av ringklocka, alla utgångar tillgängliga.



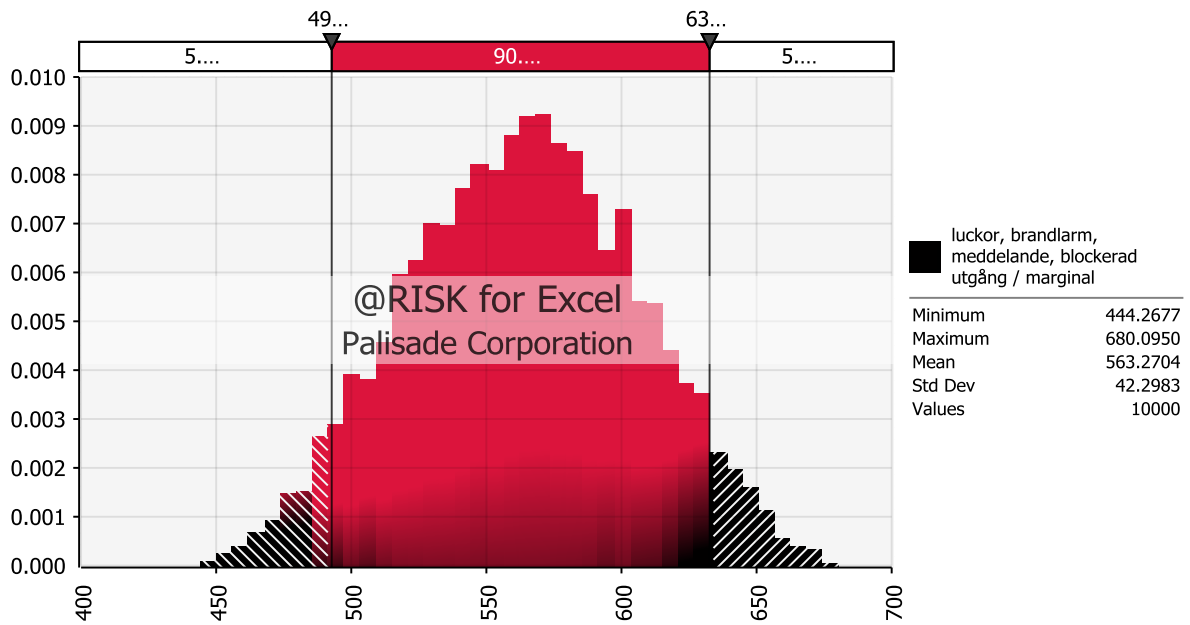
Figur 9.5 Brandscenario mässmonter. Simulering med ingen brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av meddelande, alla utgångar tillgängliga.



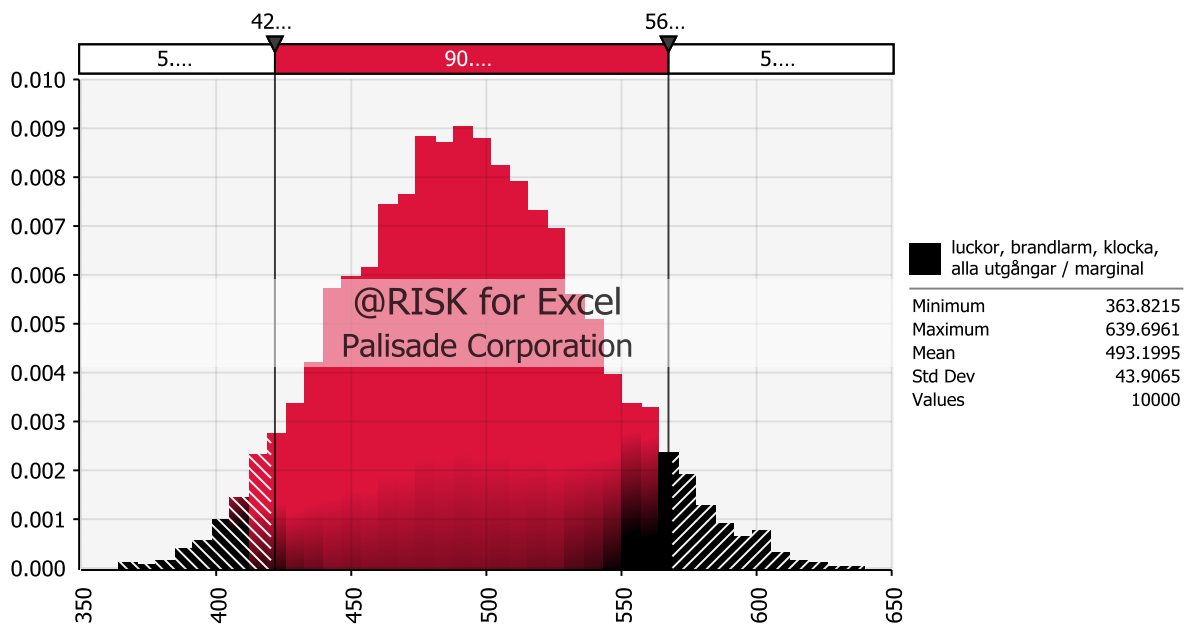
Figur 9.6 Brandscenario mässmonter. Simulering med ingen brandgasventilation, inget brandlarm, inget utrymningslarm, alla utgångar tillgängliga.



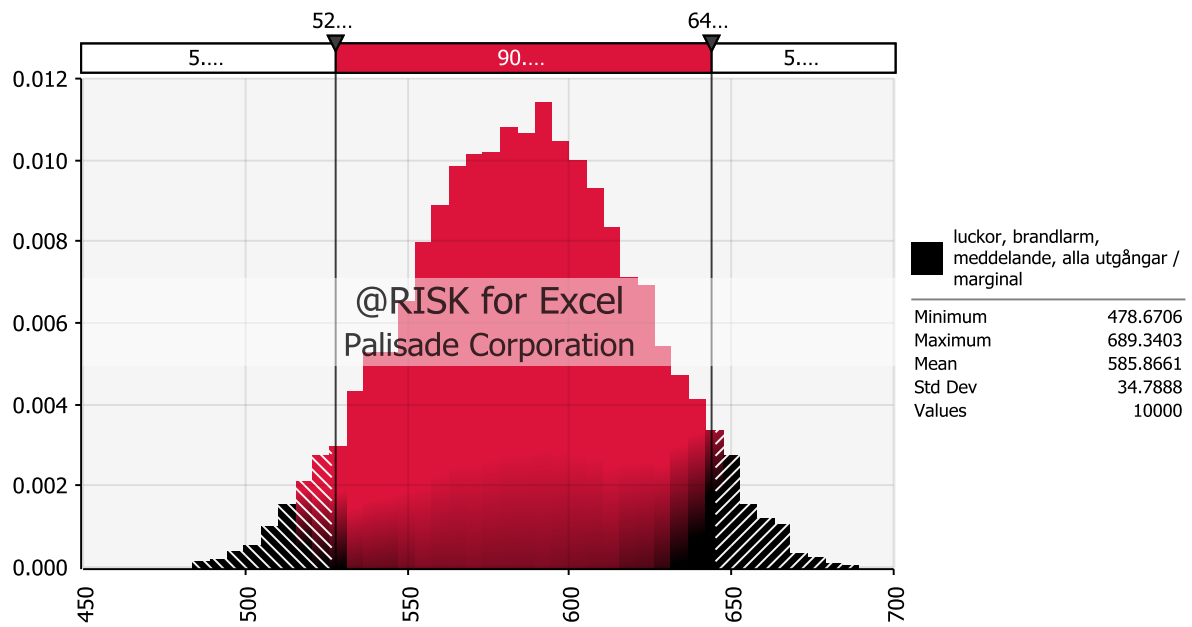
Figur 9.7 Brandscenario mässmonter. Simulering med brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av klocka, en utgång blockerad.



Figur 9.8 Brandscenario mässmonter. Simulering med brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av meddelande, en utgång blockerad.



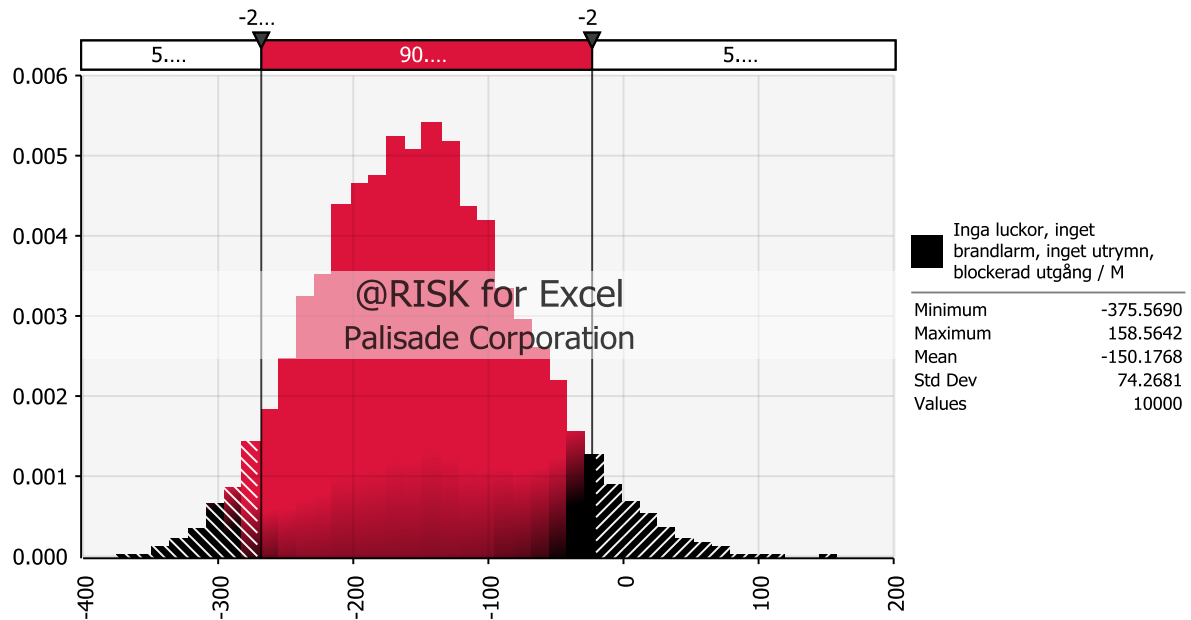
Figur 9.9 Brandscenario mässmonter. Simulering med brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av klocka, alla utgångar tillgängliga.



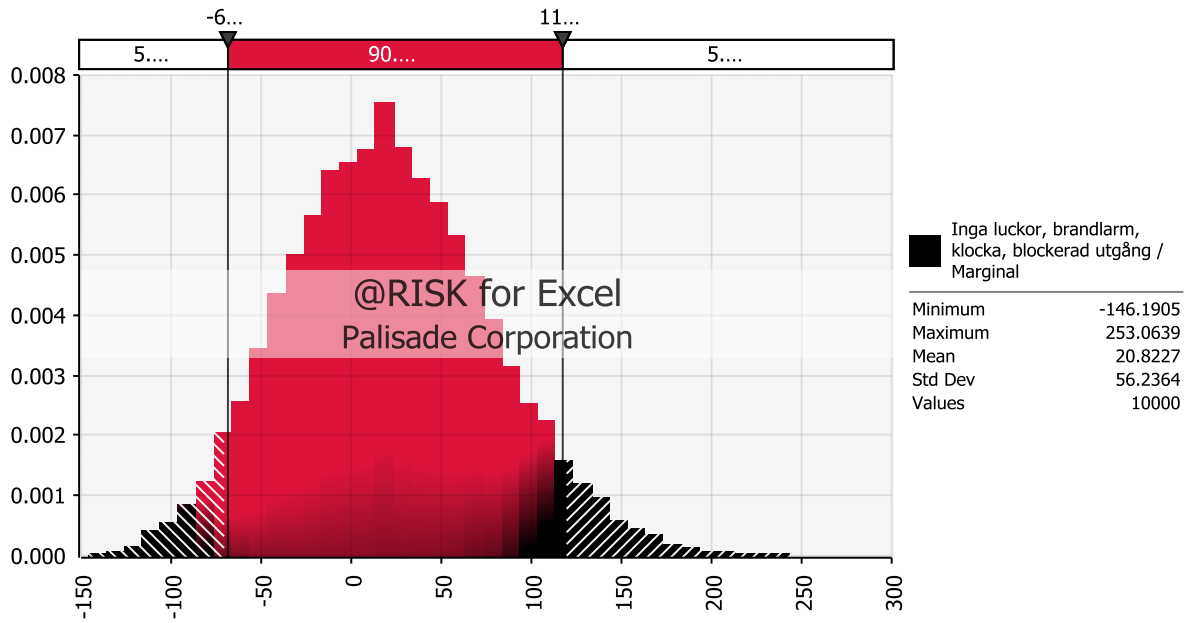
Figur 9.10 Brandscenario mässmonter. Simulering med brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av meddelande, alla utgångar tillgängliga. Denna kombination av brandtekniska system ger den bästa marginalen.

c. Grafer över utrymningsresultat brandscenario emballage.

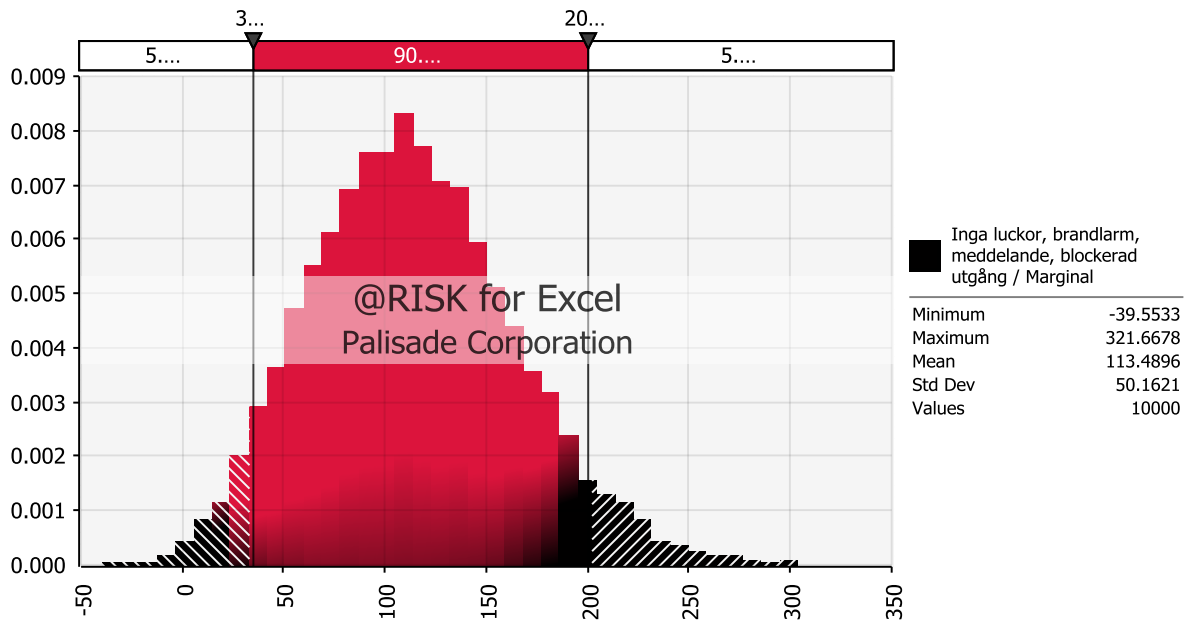
Nedan presenteras resultatet från simuleringar i @Risk med ovanstående fördelningskurvor, gällande brandscenario emballage. Varje figur motsvarar en simulering med en specifik kombination av brandtekniska system. Väntevärdet av varje simulering ger en god indikation på hur bra brandskyddet i specifikt fall är. Resultatet är marginalen som kvarstår efter den totala utrymningstiden. Ett bra system innebär en positiv marginal, det vill säga positiva värden för min-, max- och medelvärden. Ett starkt positivt minimumvärde visar på den bästa kombinationen av brandtekniska system. Konfidensintervallet är ansatt till 90 %.



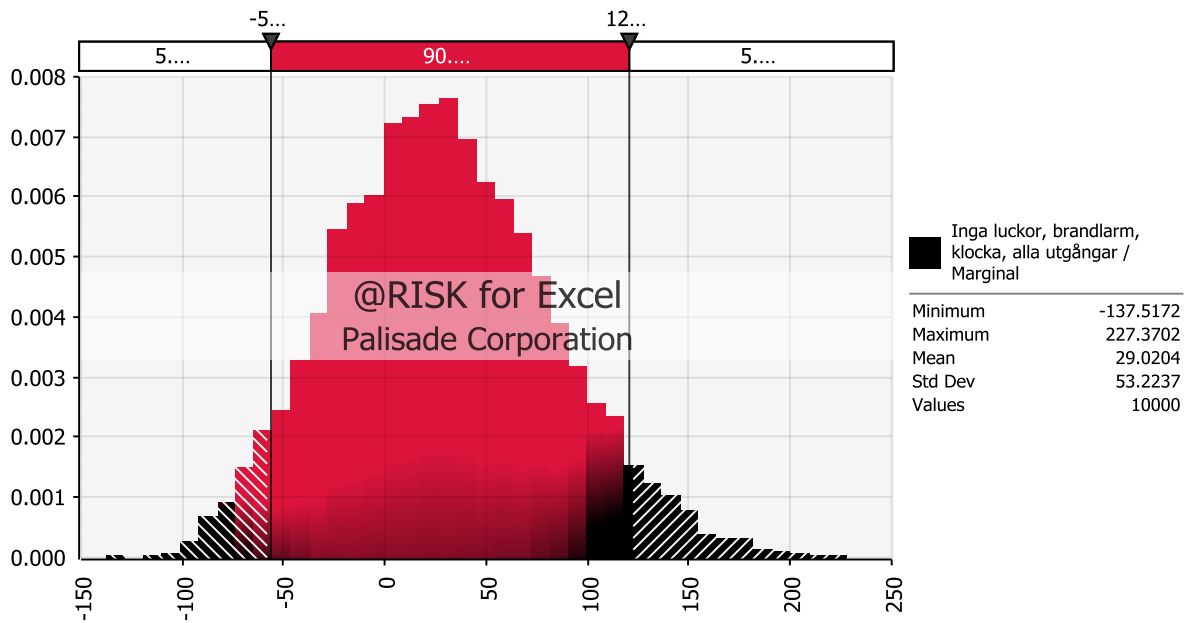
Figur 9.11 Brandscenario emballage. Simulering med ingen brandgasventilation, inget brandlarm, inget utrymningslarm, en blockerad utgång.



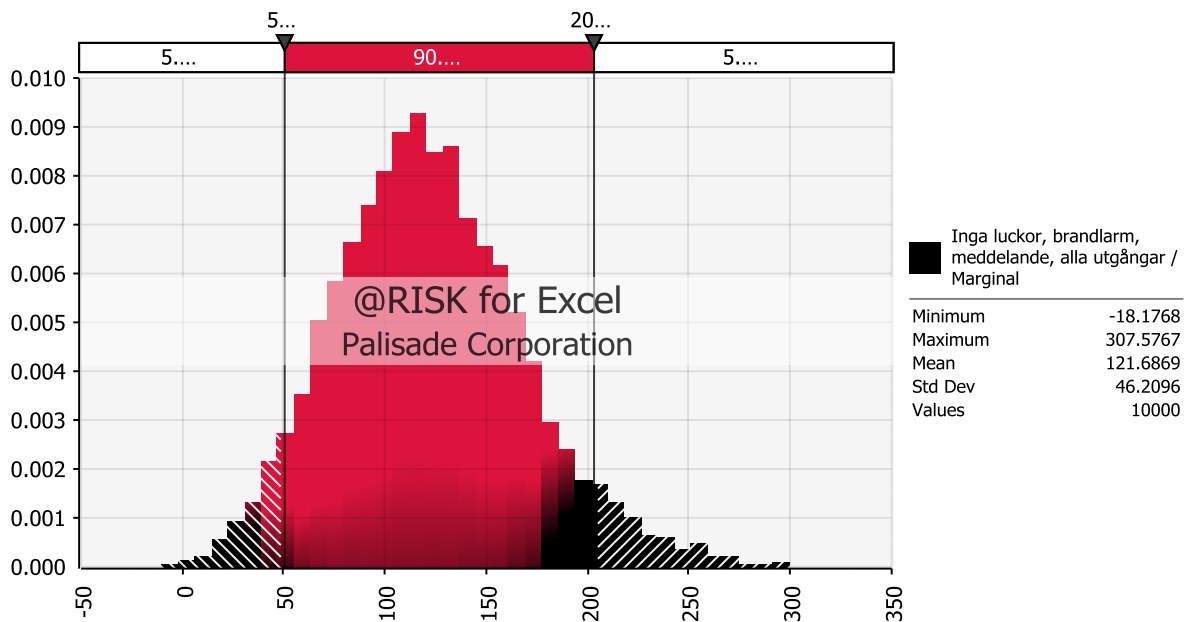
Figur 9.12 Brandscenario emballage. Simulering med ingen brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av klocka, en blockerad utgång.



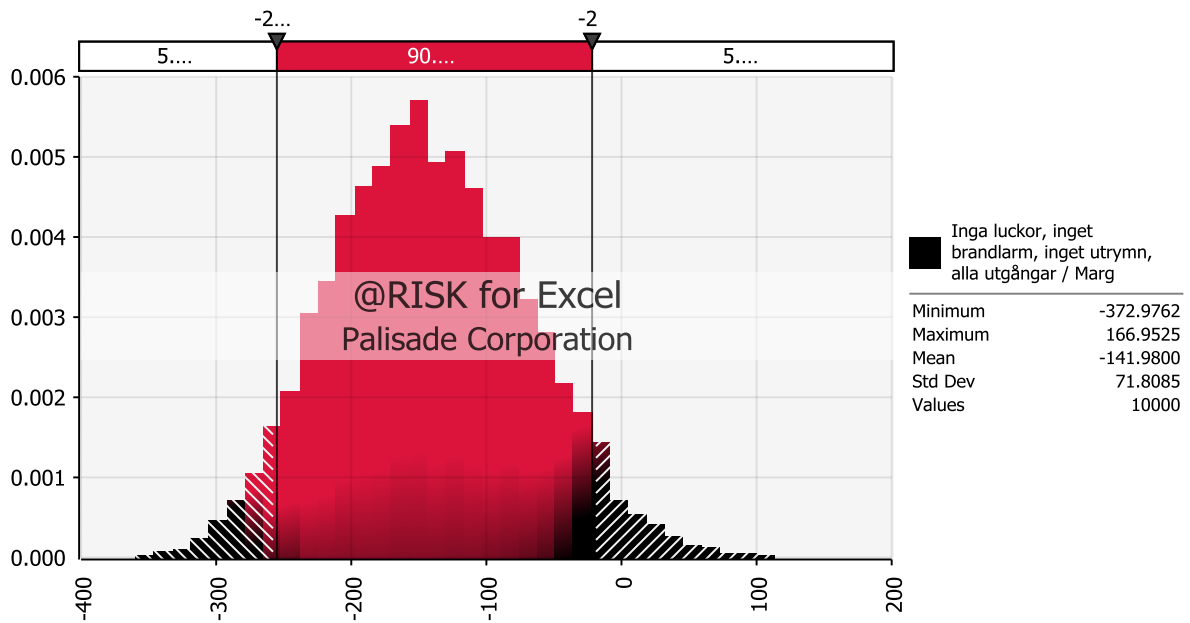
Figur 9.13 Brandscenario emballage. Simulering med ingen brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av meddelande, en blockerad utgång.



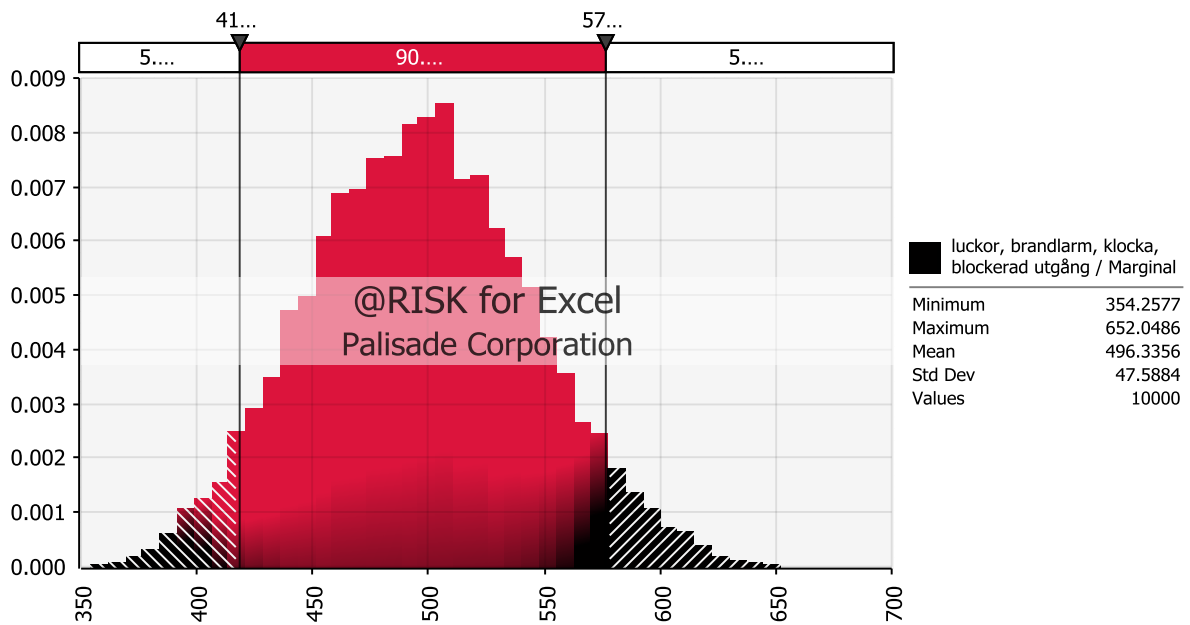
Figur 9.14 Brandscenario emballage. Simulering med ingen brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av klocka, alla utgångar tillgängliga.



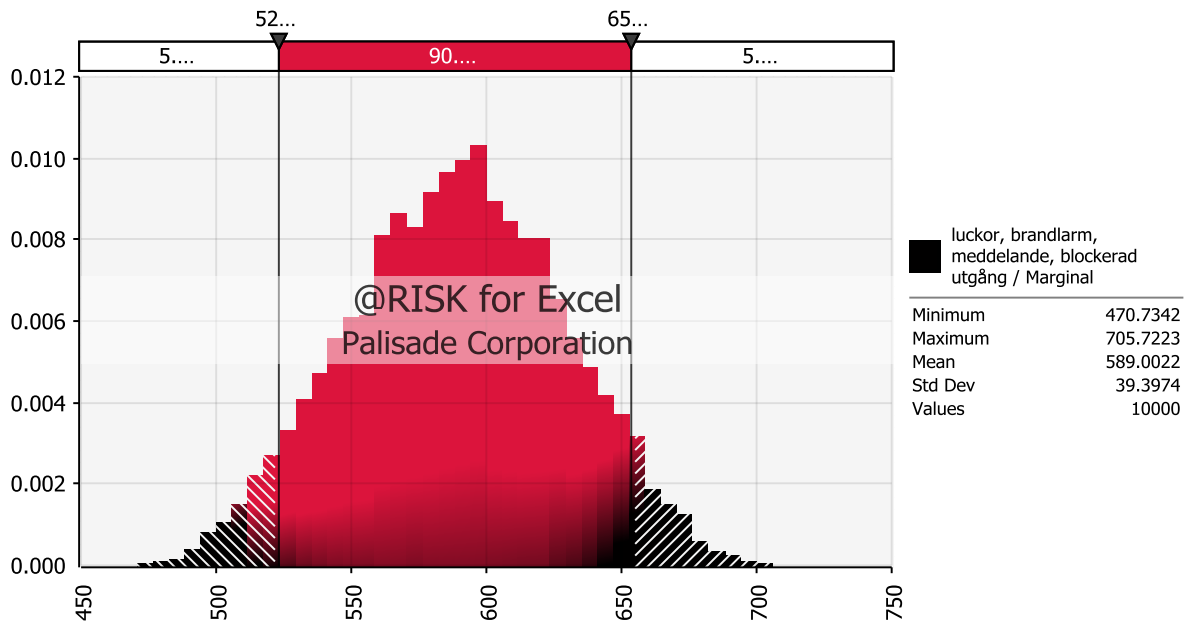
Figur 9.15 Brandscenario emballage. Simulering med ingen brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av meddelande, alla utgångar tillgängliga.



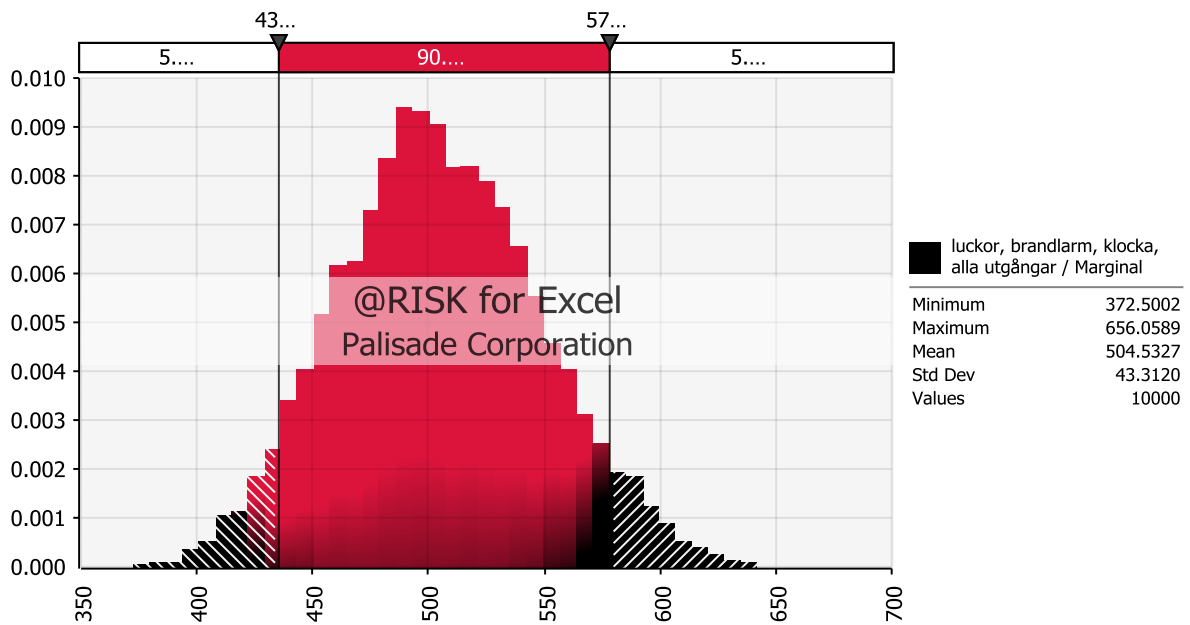
Figur 9.16 Brandscenario emballage. Simulering med ingen brandgasventilation, inget brandlarm, inget utrymningslarm, alla utgångar tillgängliga.



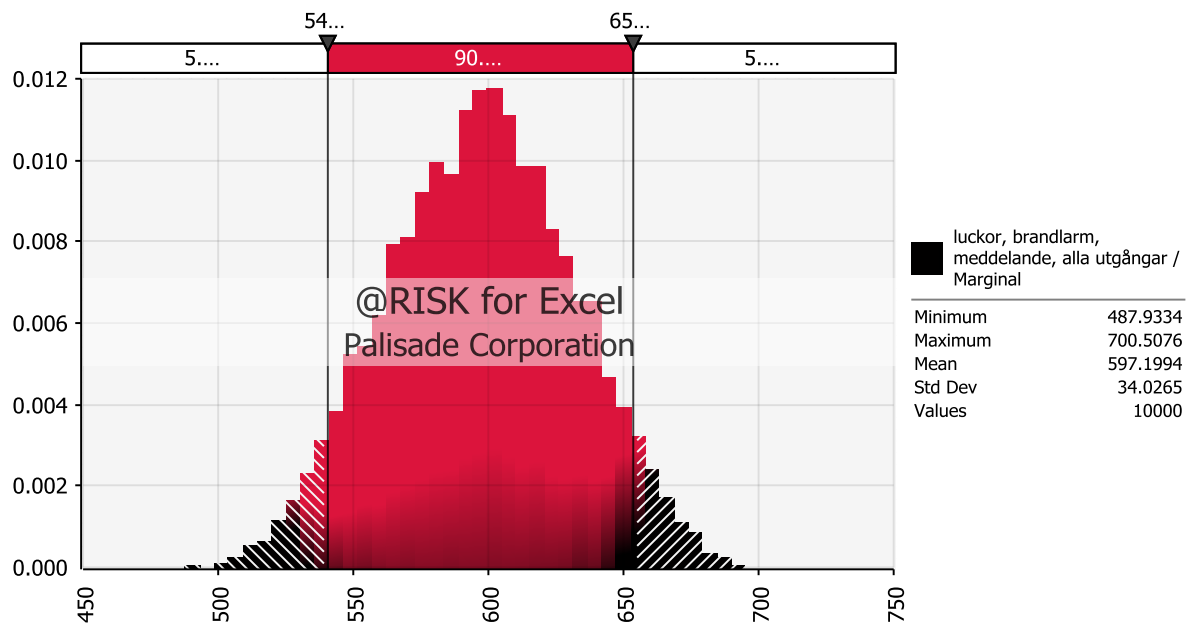
Figur 9.17 Brandscenario emballage. Simulering med brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av klocka, en utgång blockerad.



Figur 9.18 Brandscenario emballage. Simulering med brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av meddelande, en utgång blockerad.



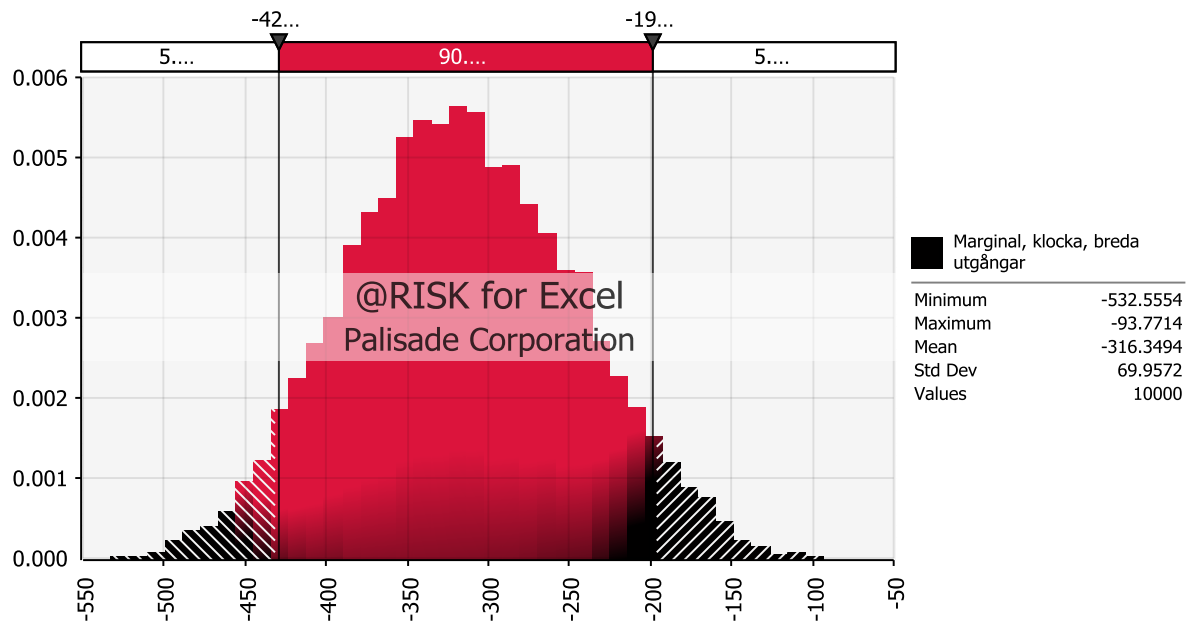
Figur 9.19 Brandscenario emballage. Simulering med brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av klocka, alla utgångar tillgängliga.



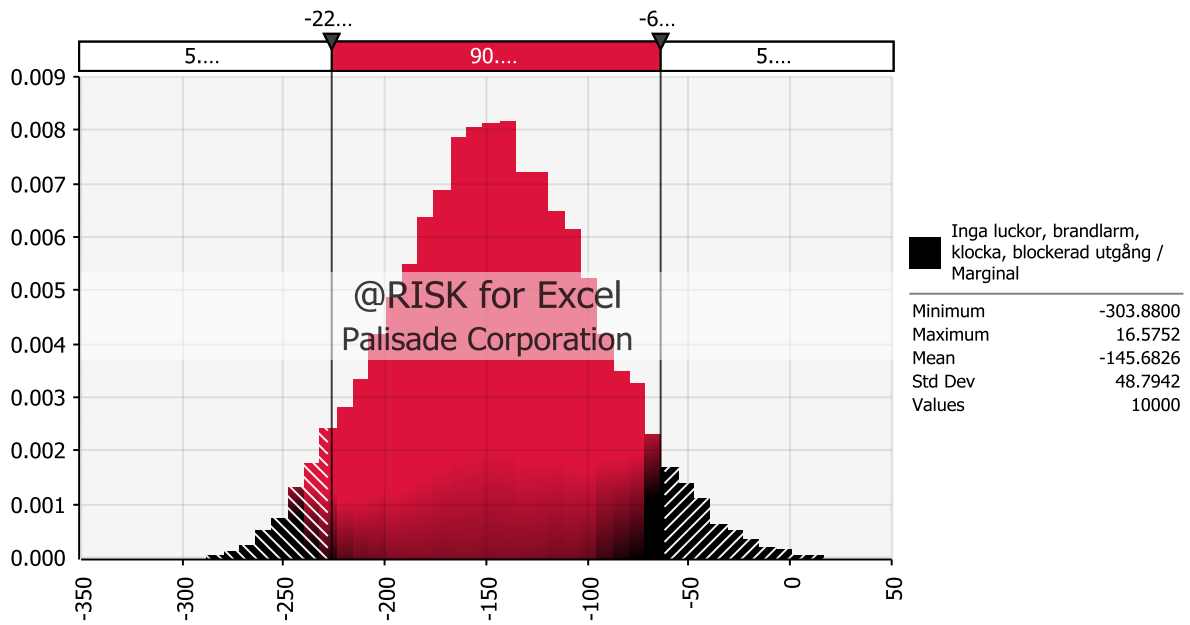
Figur 9.20 Brandscenario emballage. Simulering med brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av meddelande, alla utgångar tillgängliga. Denna kombination av brandtekniska system ger den bästa marginalen.

d. Grafer över utrymningsresultat brandscenario scen.

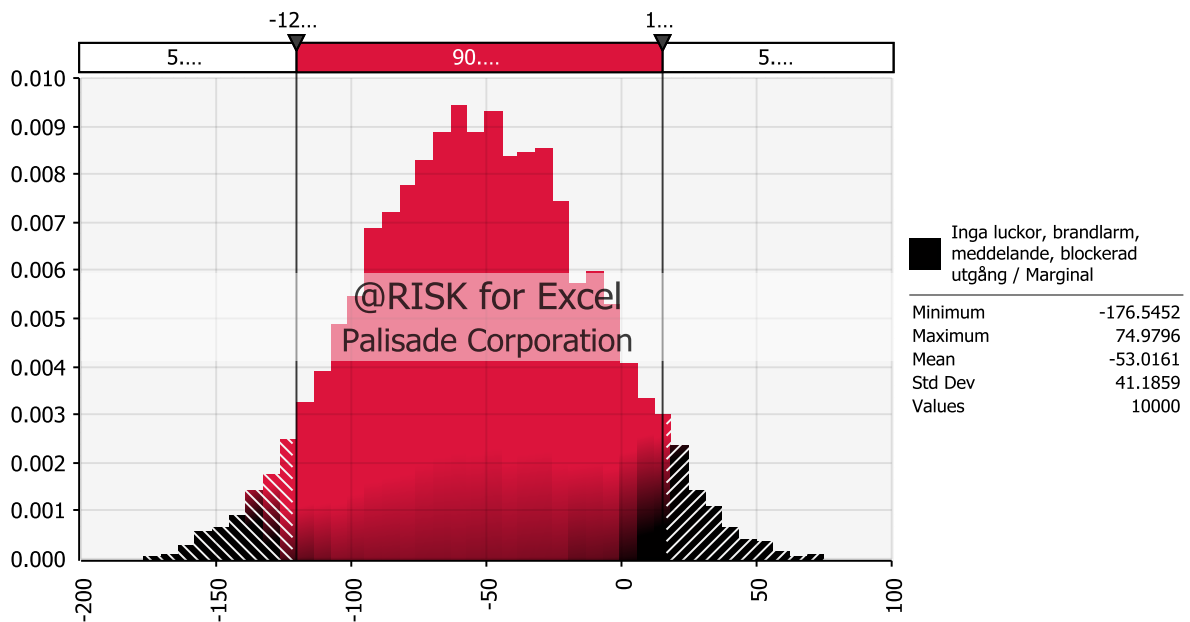
Nedan presenteras resultatet från simuleringar i @Risk med ovanstående fördelningskurvor, gällande brandscenario scen. Varje figur motsvarar en simulering med en specifik kombination av brandtekniska system. Väntevärdet av varje simulering ger en god indikation på hur bra brandskyddet i specifikt fall är. Resultatet är marginalen som kvarstår efter den totala utrymningstiden. Ett bra system innebär en positiv marginal, det vill säga positiva värden för min-, max- och medelvärden. Ett starkt positivt minimumvärde visar på den bästa kombinationen av brandtekniska system. Konfidensintervallet är ansatt till 90 %.



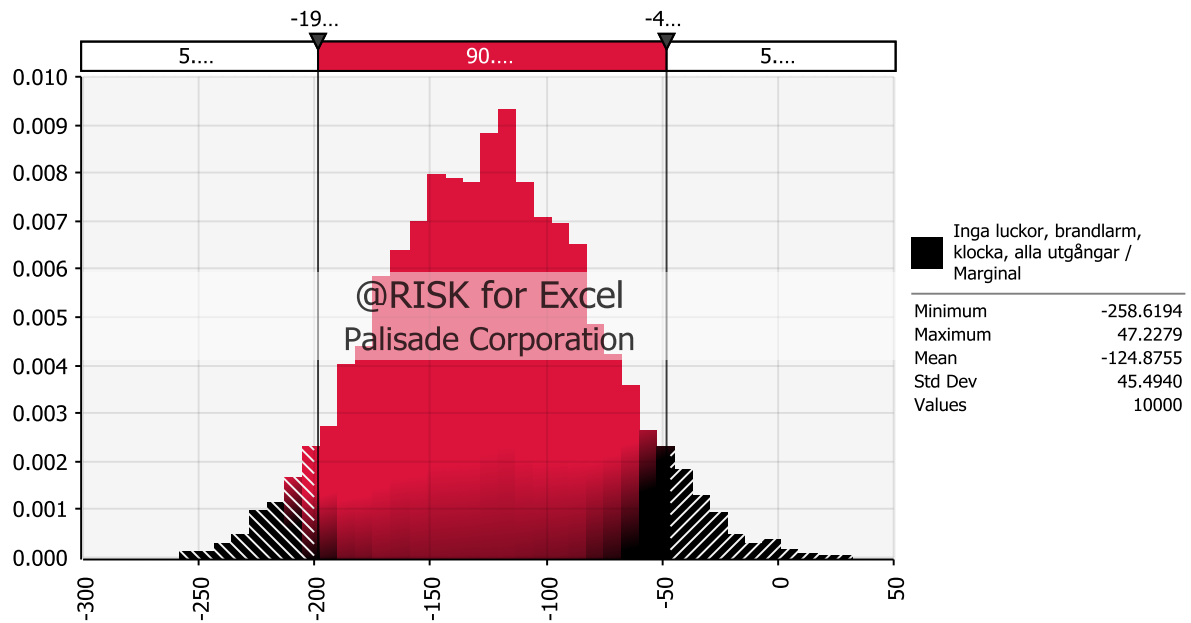
Figur 9.21 Brandscenario scen. Simulering med ingen brandgasventilation, inget brandlarm, inget utrymningslarm, en blockerad utgång.



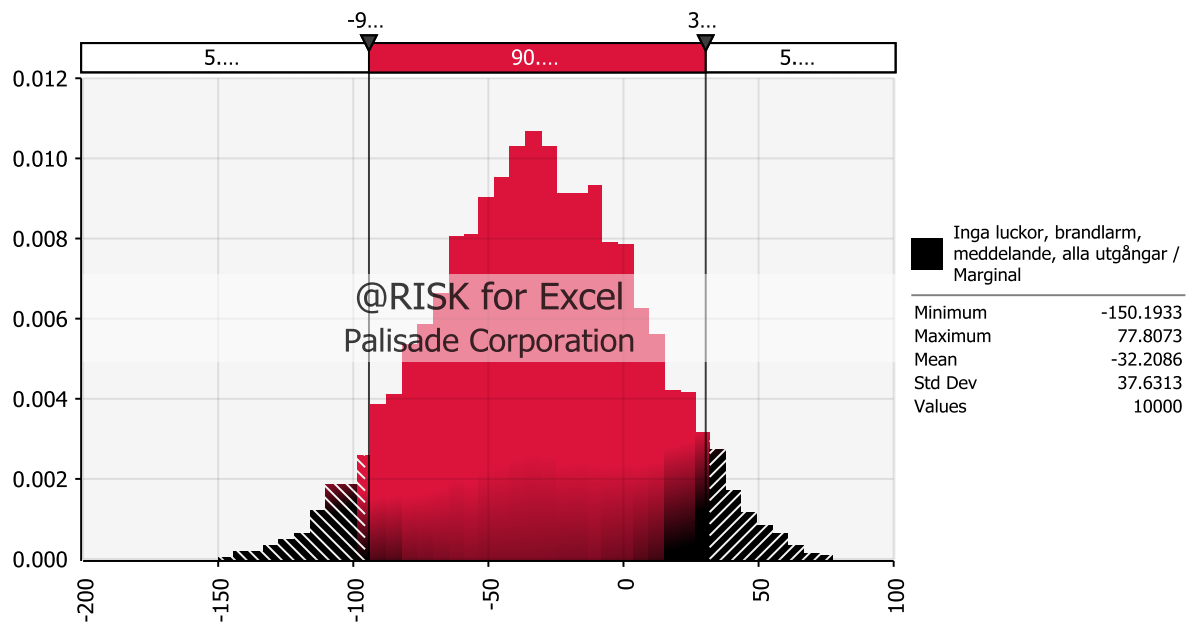
Figur 9.22 Brandscenario scen. Simulering med ingen brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av klocka, en blockerad utgång.



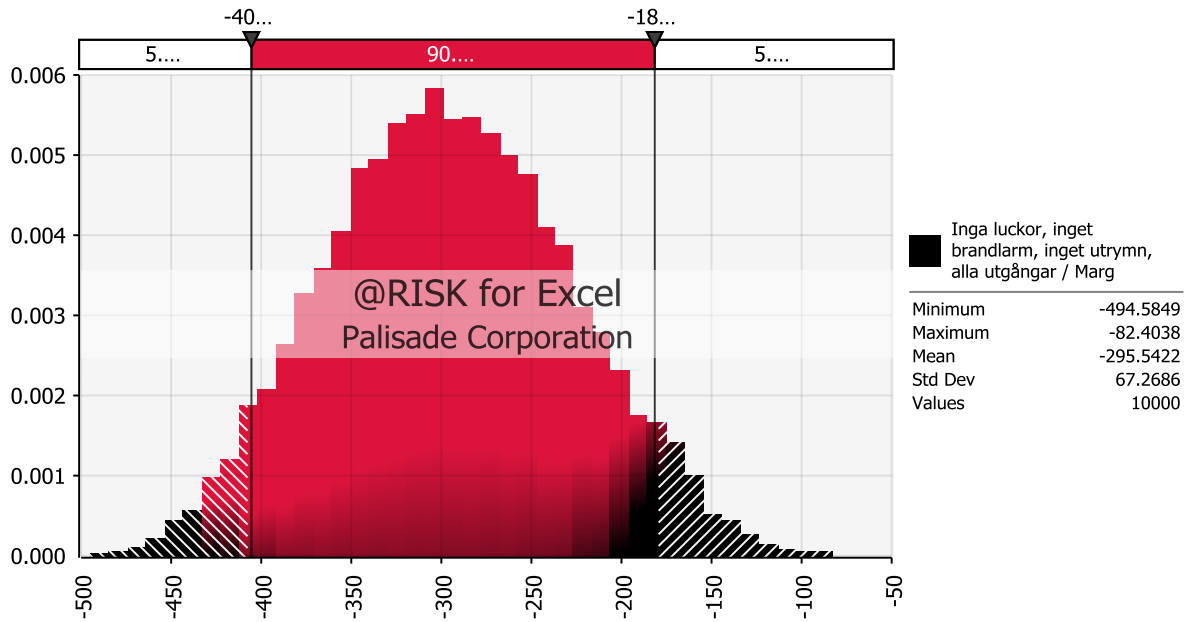
Figur 9.23 Brandscenario scen. Simulering med ingen brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av meddelande, en blockerad utgång.



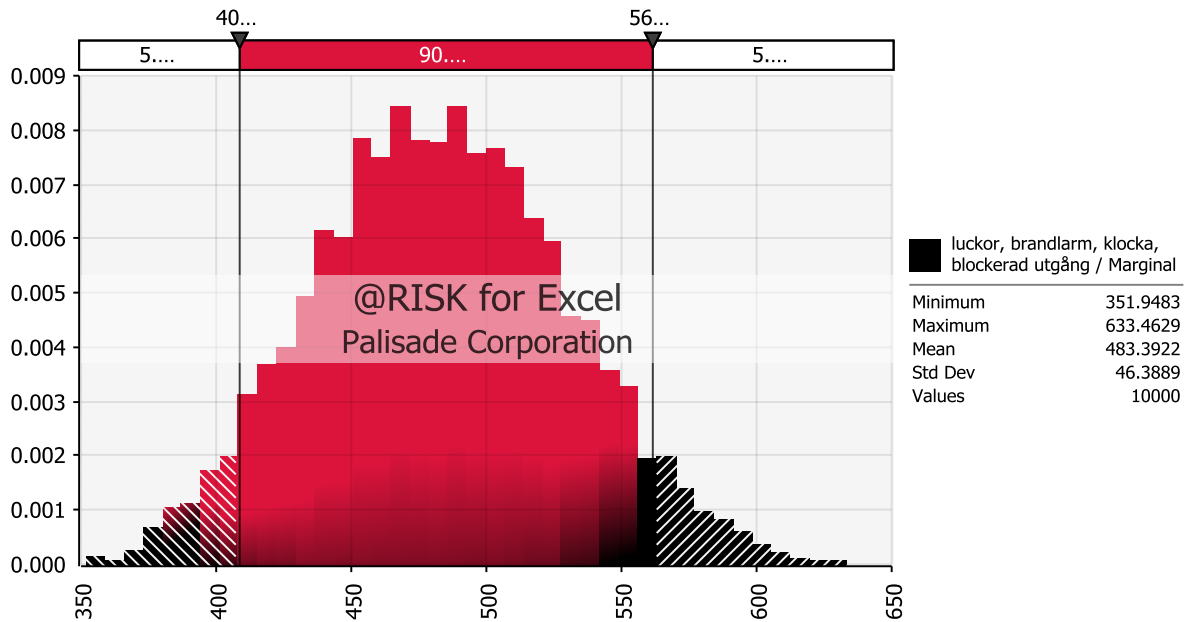
Figur 9.24 Brandscenario scen. Simulering med ingen brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av klocka, alla utgångar tillgängliga.



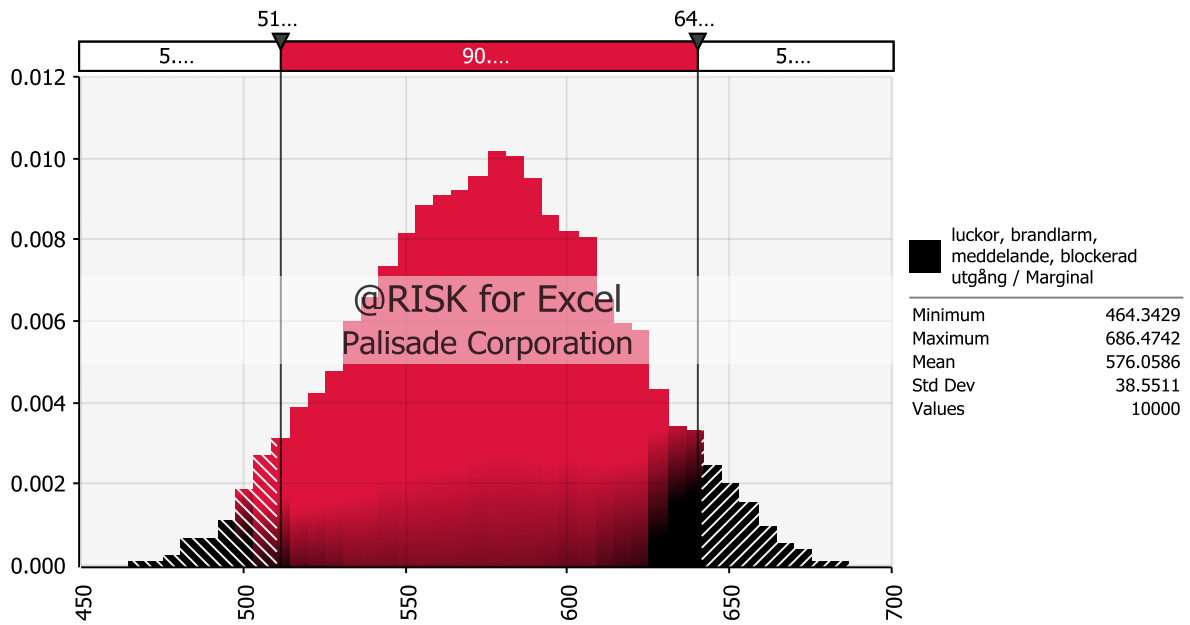
Figur 9.25 Brandscenario scen. Simulering med ingen brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av meddelande, alla utgångar tillgängliga.



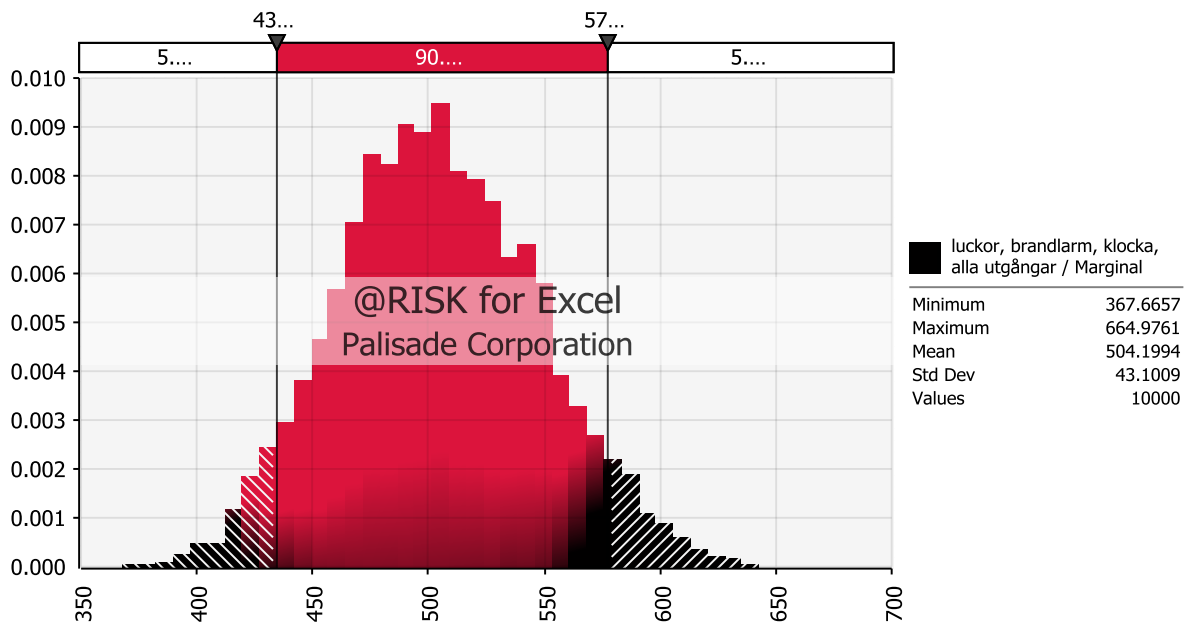
Figur 9.26 Brandscenario scen. Simulering med ingen brandgasventilation, inget brandlarm, inget utrymningslarm, alla utgångar tillgängliga.



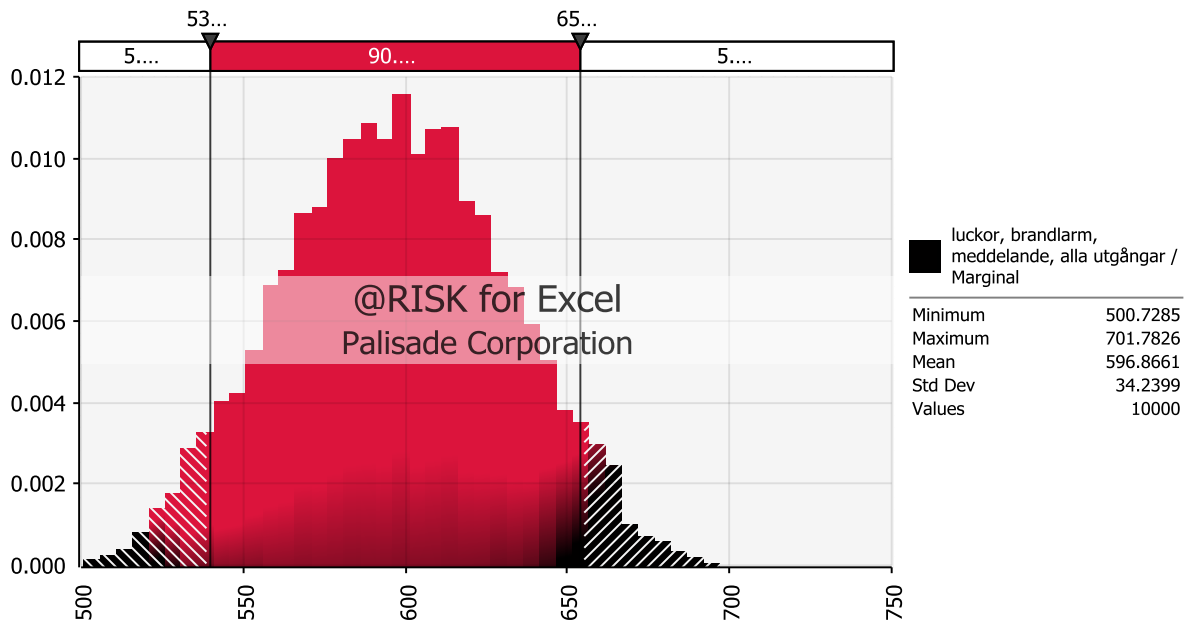
Figur 9.27 Brandscenario scen. Simulering med brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av klocka, en utgång blockerad.



Figur 9.28 Brandscenario scen. Simulering med brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av meddelande, en utgång blockerad.



Figur 9.29 Brandscenario scen. Simulering med brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av klocka, alla utgångar tillgängliga.



Figur 9.30 Brandscenario scen. Simulering med brandgasventilation, brandlarm, utrymningslarm i form av meddelande, alla utgångar tillgängliga. Denna kombination av brandtekniska system ger den största marginalen.

Bilaga 10. Beräkningar av detektionstider med DETACT-QS

Beräkningar samt indata för DETACT-QS. Programmet DETACT-QS används för att beräkna detektionstiden för värmedetektorer. Tre olika aktiveringstemperaturer har beräknats i vart och ett av brandscenerierna; 5, 9 och 13 grader. Indata till DETACT-QS är densamma i de tre brandscenerierna förutom tillväxtkoefficienten, α , vilken beror på vilket scenario som studeras. Tid till aktivering som beräknas motsvarar tiden det tar för brandgaserna att transporteras upp till detektorerna i taket och tills dess att de aktiveras. Val av aktiveringstemperatur samt RTI-värde är enligt metod beskriven i litteratur (Nilsson & Holmstedt, 2008).

Antagande att det i samtliga fall är maximal radie = $50^{-0.5}$ då det enligt SBF 110:6 maximalt får vara 10 meter mellan varje detektor (Brandskyddsföreningen). Radien blir således 7 meter för var och en av lokalerna.

Brandscenario Mässmonter lokal B:

(15 st detektorer)

Tid till Aktivering med temperaturökning **13 grader** = konservativt.

$\alpha = 0,036$, RTI=0.87, r=21feet, H=27feet, 91.4F =akt.temp, 68F=omgivande temp

Aktiveringstid = 126,9 sekunder.

Tid till Aktivering med temperaturökning **9 grader**, ligger mellan 13 och 5 grader.

$\alpha = 0,036$, RTI=0.87, r=21feet, H=27feet, 84,2F =akt.temp, 68F=omgivande temp

Aktiveringstid = 96,7 sekunder.

Tid till Aktivering med temperaturökning **5 grader**, ty nya detektorer.

$\alpha = 0.036$, RTI=0.87, r=21feet, H=27feet, 77F =akt.temp, 68F=omgivande temp

Aktiveringstid = 62,8 sekunder.

Brandscenario Emballage lokal A:

(20 st detektorer)

Tid till Aktivering med temperaturökning **13 grader** = konservativt.

$\alpha = 0.047$, RTI=0.87, r=21feet, H=27feet, 91.4F =akt.temp, 68F=omgivande temp

Aktiveringstid = 111,3 sekunder.

Tid till Aktivering med temperaturökning **9 grader**, ligger mellan 13 och 5 grader.

$\alpha = 0.047$, RTI=0.87, r=21feet, H=27feet, 84,2F =akt.temp, 68F=omgivande temp

Aktiveringstid = 84,8 sekunder.

Tid till Aktivering med temperaturökning **5 grader**, ty nya detektorer.

$\alpha = 0.047$, RTI=0.87, r=21feet, H=27feet, 77F =akt.temp, 68F=omgivande temp

Aktiveringstid = 55,1 sekunder.

Brandscenario scenbrand lokal C:

(4 st detektorer)

Tid till Aktivering med temperaturökning **13 grader** = konservativt.

$\alpha = 0,048$, $RTI=0.87$, $r=21\text{feet}$, $H=27\text{feet}$, 91.4F =akt.temp, 68F =omgivande temp

Aktiveringstid = 110,2 sekunder.

Tid till Aktivering med temperaturökning **9 grader**, ligger mellan 13 och 5 grader.

$\alpha = 0,048$, $RTI=0.87$, $r=21\text{feet}$, $H=27\text{feet}$, $84,2\text{F}$ =akt.temp, 68F =omgivande temp

Aktiveringstid = 83,9 sekunder.

Tid till Aktivering med temperaturökning **5 grader**, ty nya detektorer.

$\alpha = 0,048$, $RTI=0.87$, $r=21\text{feet}$, $H=27\text{feet}$, 77F =akt.temp, 68F =omgivande temp

Aktiveringstid= 54,5 sekunder.

Bilaga 11. Förflyttningstider i Simulex med utgångar fria eller blockerade

Nedan presenteras tid för förflyttning dels med alla utgångar fria och dels med en utgång blockerad i brandrummet. Resultatet presenteras grafiskt i figur 11.1. Ur dessa grafer har ekvationen för en linjär regression tagits fram. I tabell 11.1 visas antal personer som simulerats, med alla utgångar tillgängliga, samt resultat från simuleringarna. I tabell 11.2 visas antal personer som simulerats, med en utgång blockerad, samt resultat från simuleringarna.

Grundinställning för simuleringar i Simulex var enligt följande:

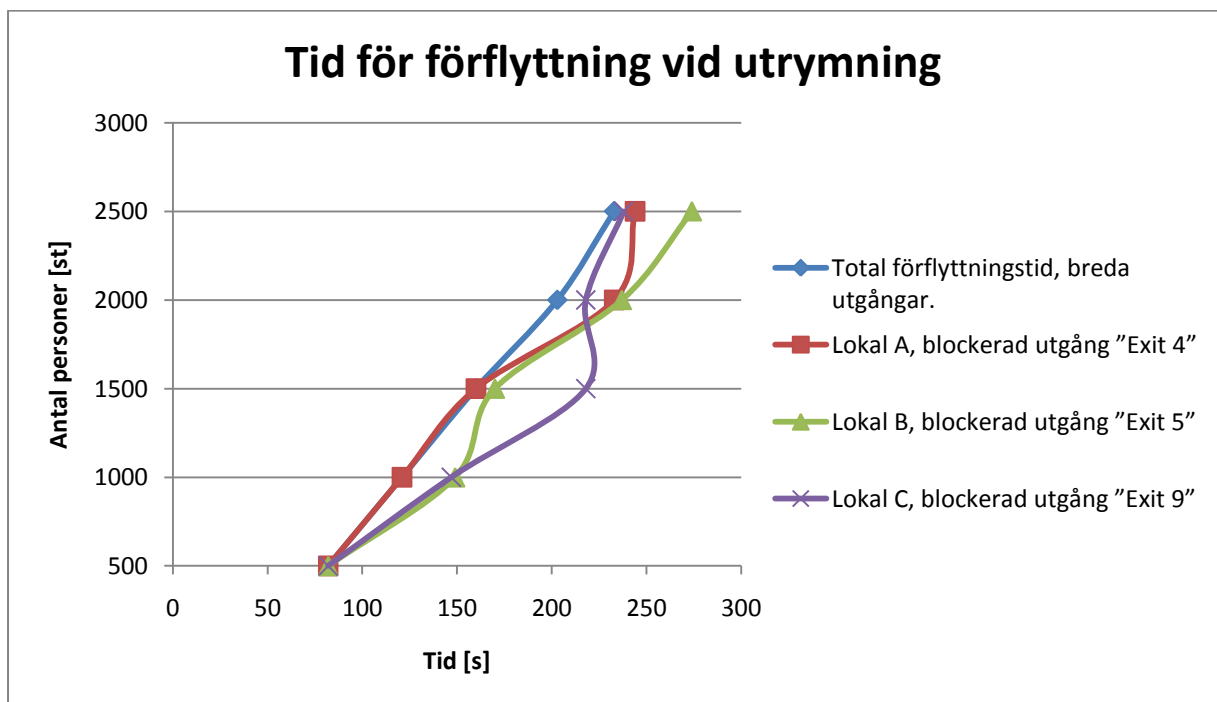
- alla utgångar med bredd mindre än 1,2 meter har breddats till 1,2 meter
- ingen utrymningsväg blockerad
- karaktärsdragen ansattes till "Shoppers"
- $\frac{1}{4}$ av personerna i lokal A utrymmer genom "Exit 1"
- $\frac{1}{2}$ av personerna i lokal A utrymmer genom "Exit 4"
- $\frac{1}{4}$ av personerna i lokal B utrymmer genom "Exit 7"
- $\frac{1}{2}$ av personerna i lokal C utrymmer genom "Exit 9" och andra hälften genom "Exit 2"
- resterande personer utrymmer genom den utgång som är mest lämplig.

Tabell 11.1 Antal personer i simuleringar samt resultat av förflyttningstid. Avser alla utgångar tillgängliga.

Antal personer i lokalerna	Total förflyttningstid [s]
500	82
1000	121
1500	170
2000	203
2500	233

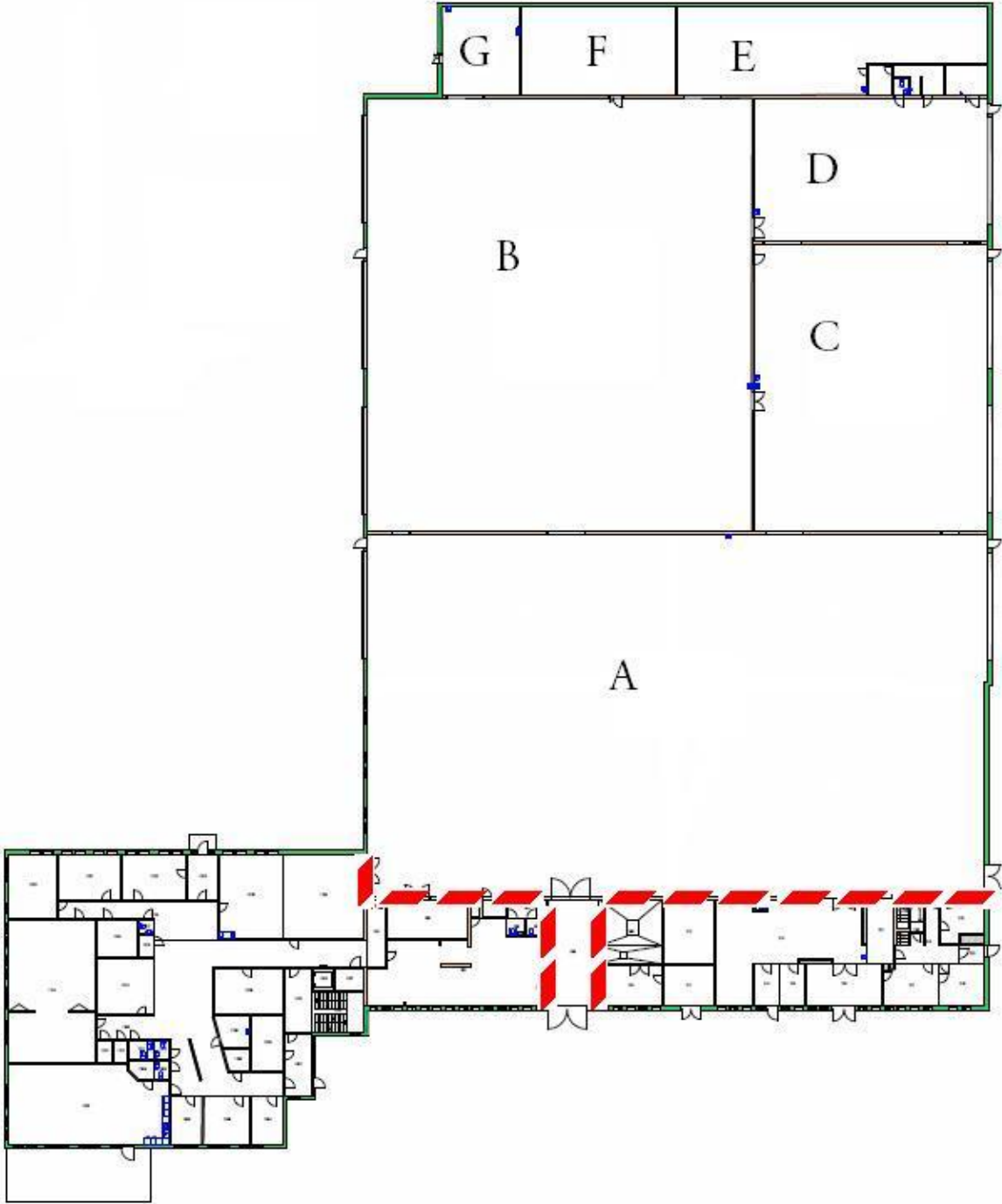
Tabell 11.2 Blockerad utgång, antal personer i simuleringar, samt resultat av förflyttningstid.

Blockerad utgång i brandrum	Antal personer	Förflyttningstid [s]
Lokal A, "Exit 4"	500	82
Lokal B, "Exit 5"	500	82
Lokal C, "Exit 9"	500	82
Lokal A, "Exit 4"	1000	121
Lokal B, "Exit 5"	1000	149
Lokal C, "Exit 9"	1000	147
Lokal A, "Exit 4"	1500	160
Lokal B, "Exit 5"	1500	170
Lokal C, "Exit 9"	1500	218
Lokal A, "Exit 4"	2000	233
Lokal B, "Exit 5"	2000	237
Lokal C, "Exit 9"	2000	218
Lokal A, "Exit 4"	2500	244
Lokal B, "Exit 5"	2500	274
Lokal C, "Exit 9"	2500	238



Figur 11.1 Förflyttningstid. Varje kurva motsvarar ett fall.

Bilaga 12. Förslag på ny brandcellsindelning



Figur 12.1 En av åtgärderna är att göra en ny brandcellsindelning, vilket motsvarar streckad linje.

