

Brandteknisk riskvärdering av Aeroseum



Hanna Johansson

Linnea Lundby

Daniel Matsson

Malin Richter

Johan Svebrant

Brandteknik och riskhantering

Lunds Tekniska Högskola

2011

Brandteknisk riskvärdering av **Aeroseum**



Hanna Johansson
Linnea Lundby
Daniel Matsson
Malin Richter
Johan Svebrant

Lund 2011

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.

Titel/Title

Brandteknisk riskvärdering av Aeroseum. Fire safety evaluation of Aeroseum

Rapport/Report

9392

Antal sidor/Number of pages

146

Av/By

Hanna Johansson, Linnea Lundby, Daniel Matsson, Malin Richter, Johan Svebrant

Brandingenjörsprogrammet, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, 2011
Fire Safety Engineering Program, Lund Faculty of Engineering, Lund University, 2011

© Brandteknik och riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2011

Nyckelord

@Risk, Aeroseum, brandscenario, brandskydd, brandteknisk riskvärdering, CFD, DETACT-QS, effektutveckling, FDS, kritiska förhållanden, känslighetsanalys, osäkerhetsanalys, personsäkerhet, riskanalys, riskidentifiering, simulering, Simulex, utrymning, utrymningsdimensionering

Keywords

@Risk, Aeroseum, CFD, critical conditions, DETACT-QS, evacuation, evacuation safety, FDS, fire risk assessment, fire safety, fire scenario, heat release rate, personal security, risk analysis, risk identification, sensitivity analysis, simulation, Simulex, uncertainty analysis.

Bilder/Pictures

Alla bilder är författarnas privata om inte källa anges. Omslagsbilderna är hämtade från Aeroseum. All pictures are private pictures taken by the authors if no reference is mentioned. Front page pictures: Aeroseum.

Språk/Language

Svenska, Swedish

**Avdelningen för Brandteknik
och Riskhantering**

Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund
Hemsida: www.brand.lth.se
E-postadress: brand@brand.lth.se
Telefon: 046- 222 73 60
Telefax: 046- 222 46 12

**Department of Fire Safety
Engineering and Systems Safety**

Lund Faculty of Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund, Sweden
Website: www.brand.lth.se
E-mail: brand@brand.lth.se
Telephone: +46 (46) 222 73 60
Telefax: +46 (46) 222 46 12

Sammanfattning

Denna rapport är en brandteknisk riskvärdering av Aerozeum i Göteborg och syftar till att utvärdera brandskyddet utifrån personsäkerhet vid händelse av brand. Rapporten är slutresultatet av kursen Brandteknisk riskvärdering VBR054 vid Lunds Tekniska Högskola våren 2011.

Simuleringar och beräkningar har visat att utrymningsresultatet för utställningshallen i det stora hela är tillfredsställande. Dock finns brister i brandskyddet och utifrån dessa har det diskuterats fram ett par åtgärder som komplement till det befintliga brandskyddet. Dessa åtgärdsförslag presenteras senare i sammanfattningen.

Aerozeum är en underjordisk flyghangar vid Säve strax utanför Göteborg som idag används som flygmuseum. Större delen av hangaren är en enda utställningshall. Här finns utställningsobjekt som Viggen och Flygande Tunnan men även simulatorer och café. Verksamheten har förändrats mycket sedan hangaren användes för militära syften och sträcker sig idag från restaurering av gamla plan till barnkalas och större evenemang. Aerozeum tar emot ungefär 50 000 besökare per år.

För att utvärdera Aerozeums brandskydd genomfördes ett platsbesök i februari 2011 då byggnaden och det befintliga brandskyddet undersöktes. Utifrån detta genomfördes en riskidentifiering och två brandscenarier valdes ut; brand i förråd och brand i korridor. Brand i förråd bedöms vara det värsta troliga scenariot i utställningshallen och anses representera samtliga brandscenarier som kan uppkomma här. Brand i korridoren utreds eftersom det är ett slutet utrymme vilket kan leda till en dold brand som får hög effekt- och rökutveckling innan den upptäcks.

De två brandscenarierna analyserades med hjälp av handberäkningar och simuleringar i datorprogrammet FDS för att få fram tiden det tar innan kritiska förhållanden uppstår. Den totala utrymningstiden för besökarna uppskattades med hjälp av litteratur och datorprogrammet Simulex. Tiden till kritiska förhållanden jämfördes med den totala utrymningstiden för att utvärdera huruvida säker utrymning kan ske i händelse av brand.

Resultatet visade att i scenariot med brand i förrådet hinner samtliga människor ut innan kritiska förhållanden uppstår i utställningshallen. I scenariot med brand i korridoren är tiden till kritiska förhållanden kortare och alla människor som befinner sig på plan 2 hinner inte ut innan kritiska förhållanden uppstår. Som en lösning på detta ges det förslag på åtgärder som minimerar risken att en brand uppkommer.

Vid platsbesöket upptäcktes en del brister i det befintliga brandskyddet. Utifrån detta samt med hjälp av regler och allmänna råd i Boverkets byggregler, BBR 2008, har ytterligare ett antal åtgärdsförslag tagits fram. Åtgärdsförslagen är uppdelade i åtgärder som *skall* genomföras, åtgärder som *bör* genomföras samt övriga rekommendationer som uppmanas av författarna att genomföra.

Följande *skall* åtgärdas:

- Det systematiska brandskyddsarbetet skall förbättras.
- Utrymningstrappan skall göras mer attraktiv och framkomlig. Installera nödbelysning samt genomlysta skyltar.
- Utrymningsplanen skall uppdateras.
- Ta bort allt materiel som förvaras i korridoren bakom verkstaden. Detta gäller i viss utsträckning även för andra delar av Aerozeum. Materiel och bråte skall inte förvaras i gångar dit besökarna har tillträde.
- Genomlysta skyltar skall installeras vid nödutgångar och i utrymningsvägar.
- Nödbelysningen skall kompletteras så att den täcker samtliga utrymningsvägar samt vägar till dessa.
- Förbättra utrymningsvägen vid västra porten. Exempelvis installera en kassett som den i östra ingången med utåtgående, lätt öppningsbara dörrar. .

Följande *bör* åtgärdas:

- De befintliga detektorerna bör kompletteras med fler detektorer. Sektionsritningen för detektorer bör uppdateras.
- Byt ut samtliga värmedetektorer mot rökdetektorer.

Övriga rekommendationer:

- Installera en jalsiport i västra nedfarten.
- Kontrollera utrymningsskyltarnas placering och vägledning. Tydligare skyltar på dörrar till utrymningsvägar för att undvika att vilseleda besökarna. Gör utrymningsvägarna mer attraktiva.
- Gör korridoren bakom verkstaden till en utrymningsväg.
- Byt ut utrymningslarmet mot ett automatiskt talat utrymningslarm.
- Utred möjligheten att renovera det gamla sprinklersystemet.

Abstract

The following report contains an evaluation of the fire safety regarding evacuation at Aerozeum in Gothenburg, Sweden. This report is the result of the course *Fire Safety Evaluation* given by the Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety at the Faculty of Engineering, Lund, Sweden. Aerozeum is an old hangar located underground that now functions as an aircraft museum. They also arrange parties and other events.

The aim with the report is to evaluate if evacuation in case of fire can be done with satisfaction. Based upon information and observations from a visit to Aerozeum a risk analysis was made. Two possible fire scenarios were chosen and these were thoroughly analyzed with calculations and simulations. The time to critical conditions was calculated with the computer program FDS. The time it takes to evacuate the building was estimated with literature and the computer program Simulex. At last these two times were compared to each other.

The analyze shows that safe evacuation will be possible before critical conditions occur if some measures are implemented. These measures will increase the safety during evacuation of the building in case of fire.

Förord

Författarna vill rikta ett stort tack till de personer som hjälpt till under arbetets gång och bidragit med värdefulla kommentarer, tips och idéer.

Nils Johansson Handledare och doktorand, Brandteknik och Riskhantering LTH

Robert Petersson Handledare och brandingenjör, Räddningstjänsten Storgöteborg

Roger Eliasson Kontaktperson Aeroseum

Lars-Gunnar Larsson Tekniskt ansvarig Aeroseum

Jonathan Wahlqvist Doktorand, Brandteknik och Riskhantering LTH

Patrick van Hees Professor, Brandteknik och Riskhantering LTH

Håkan Frantzich Universitetslektor, Brandteknik och Riskhantering LTH

Robert Jönsson Universitetslektor, Brandteknik och Riskhantering LTH

Nomenklaturlista

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

$A_r = \text{dimensionslös faktor vid synfaktorberäkningar} [-]$

$B_r = \text{dimensionslös faktor vid synfaktorberäkningar} [-]$

$D = \text{diameter} [m]$

$E = \text{utstrålad effekt per kvadratmeter} [kW/m^2]$

$H = \text{rumshöjd} [m]$

$h_c = \text{förbränningsentalpi} [MJ/kg]$

$h_r = \text{dimensionslös faktor vid synfaktorberäkningar} [-]$

$L = \text{längd} [m]$

$L_{flamma} = \text{medelflamhöjd} [m]$

$m = \text{massa} [kg]$

$S = \text{dimensionslös faktor vid synfaktorberäkningar} [-]$

$Q = \text{energi} [kJ]$

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

$\dot{Q}'' = \text{effektutveckling per kvadratmeter} [kW/m^2]$

$\dot{q}'' = \text{strålningsintensitet} [kW/m^2]$

$\dot{q}''_{flamma} = \text{strålningsintensitet från flamman} [kW/m^2]$

$x_r = \text{dimensionslös faktor vid synfaktorberäkningar} [-]$

$T = \text{temperatur} [K]$

$t = \text{tid} [s]$

$\alpha = \text{tillväxtfaktor} [kW/s^2]$

$\alpha_s = \text{dimensionslös faktor vid synfaktorberäkningar} [-]$

$\varepsilon = \text{emissionsfaktor} [-]$

$\sigma = \text{Stefan Boltzmanns konstant} [W/(m^2 \cdot K^4)] = 5,67 \cdot 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$

$\phi = \text{synfaktor} [-]$

$\pi = \text{pi} \approx 3.1416 [-]$

$\rho = \text{densitet} [kg/m^3]$

Förkortningar

BBR = Boverkets byggregler

CAD = Computer – aided design

CFAST = Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport

CFD = Computational fluid dynamics

DETECT – QS = Detector Activation – Quasi Steady

FDS = Fire dynamics simulator

LTH = Lunds Tekniska Högskola

SFPE = Society of Fire Protection Engineers

Innehållsförteckning

Förord	VIII
Nomenklaturlista	IX
Förkortningar	X
1 Inledning.....	3
1.1 Syfte	3
1.2 Mål	3
1.3 Metod	3
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Begränsningar.....	4
2 Objektsbeskrivning.....	5
2.1 Utformning	5
2.2 Ventilation	9
2.3 Verksamhet.....	9
2.4 Historik.....	9
2.5 Personal	9
3 Befintligt brandskydd	11
3.1 Beskrivning av befintligt brandskydd	11
3.2 Diskussion av befintligt brandskydd	16
4 Teori	23
4.1 Utrymningsdimensionering	23
5 Riskidentifiering.....	29
5.1 Tidigare incidenter	29
5.2 Statistik.....	29
5.3 Kvalitativ beskrivning av tänkbara brandscenarier	29
5.4 Grovanalys	33
6 Brandscenario 1 – Brand i förråd i skepp.....	35
6.1 Beskrivning	35
6.2 Brandförlopp	36
6.3 Effektutveckling	36
6.4 Tid till kritiska förhållanden.....	38
6.5 Tid till utrymning	42
6.6 Utrymningsresultat	42

6.7 Verifiering	43
7 Brandscenario 2 – Brand i korridor bakom verkstad	47
7.1 Beskrivning	47
7.2 Brandförlopp	47
7.3 Effektutveckling	49
7.4 Tid till kritiska förhållanden.....	50
7.5 Tid till utrymning	55
7.6 Utrymningsresultat	56
7.7 Verifiering	57
8 Känslighetsanalys.....	61
8.1 Utrymning	61
8.2 Brandscenarierna	62
9 Åtgärdsförslag	69
9.1 Åtgärder som <i>skall</i> genomföras.....	69
9.2 Åtgärder som <i>bör</i> genomföras.....	72
9.3 Övriga rekommendationer.....	73
9.4 Sammanfattning av åtgärdsförslag	75
10 Slutsats och diskussion.....	77
11 Litteraturlista.....	81
Bilaga A Brandteori	83
Bilaga B Teori – Datorprogram.....	87
Bilaga C Beräkningar för brand i förråd	91
Bilaga D Beräkningar för brand i korridor	99
Bilaga E DETACT-QS.....	103
Bilaga F Simulex.....	107
Bilaga G Simuleringar i FDS	113
Bilaga H Kod FDS	117

1 Inledning

I detta kapitel presenteras bakgrunden till uppgiften, målet och tillvägagångssättet.

1.1 Syfte

Syftet med rapporten är att knyta ihop kunskaper från kursen VBR054 Brandteknisk riskvärdering och tidigare kurser. Framställandet av denna rapport kräver att större delen av det studenterna lärt sig på brandingenjörsprogrammet används till att utvärdera brandskyddet för en större byggnad, vilket ger en god övning i tillämpandet av kunskaperna.

1.2 Mål

Målet är att producera en korrekt utförd analytisk brandteknisk riskvärdering. Rapporten ska ur ett utrymningsperspektiv visa huruvida lokalens brandskydd är tillräckligt för att garantera säkerheten för de personer som vistas där. Vid behov ska det ges förslag på åtgärder som förbättrar säkerheten vid utrymning.

Objektet för denna rapport är Aerozeum som är ett flygplansmuseum som är beläget i en underjordisk hangar utanför Göteborg.

1.3 Metod

På grund av Aerozeums komplexa utformning och risken för personskador vid brand utförs en analytisk dimensionering. Dessutom diskuteras det befintliga brandskyddet utifrån krav och allmänna råd i Boverkets regelsamling för byggande, BBR2008. Utformningen av brandskyddet anses vara acceptabel om den totala utrymningstiden inte överträffar tiden till kritiska förhållanden i händelse av brand.

Inledningsvis besöktes objektet för att få en god inblick i hur lokalen är utformad. Med hjälp av information från besöket samt ritningar beskrevs objektets utformning och befintliga brandskydd. Därefter genomfördes en riskanalys för att utreda lämpliga dimensionerande brandscenarier. För dessa brandscenarier bedömdes de respektive konsekvenserna med avseende på huruvida en utrymning är möjlig innan förhållandena i lokalen blir kritiska avseende brand.

Två brandscenarier har utvärderats och simulerats med hjälp av datorprogrammet FDS. Simuleringarna i FDS gav information om hur förhållandena i lokalen ändrades och när dessa blev kritiska. Den totala tiden till utrymning för besökare har uppskattats med datorprogram och litteratur. Tiden till kritiska förhållanden jämfördes sedan med den totala utrymningstiden för att utvärdera det befintliga brandskyddet och säkerheten vid utrymning. Utifrån dessa resultat diskuteras och rekommenderas olika åtgärdsförslag.

I rapporten har på vissa ställen väldigt exakta värden använts vid beräkningar vilket kan ge en bild av att resultaten är väldigt exakta men de är uppskattningar och bör hanteras som det.

1.4 Avgränsningar

I rapporten undersöks personsäkerheten, och ingen särskild hänsyn tas till materiella skador. Personer antas vara i säkerhet så fort de lämnar byggnaden. Byggnadens

kulturminnesmärkning är inget som kommer tas i beaktning. Åtgärder som krävs för att säkerställa säkerhet får dock alltid genomföras.

1.5 Begränsningar

Handberäkningar och tvåzonsmodeller för brandgasspridning har inte kunnat användas då Aeroseums geometri är så pass stor och komplicerad att de tillgängliga modellerna inte skulle ge ett tillförlitligt resultat. Brandgasspridningen har därför endast kunnat simuleras i FDS och resultatet har inte kunnat jämföras med varken handberäkningar eller tvåzonsmodeller.

Aktiveringstiden beräknades även den i FDS och verifierades med DETACT-QS.

Begränsningar för respektive datorprogram redovisas i bilaga B.

Ritningsunderlaget som fanns tillgängligt innehöll vissa felaktigheter i mått och detektorplaceringar, och därför har egna mätningar på plats använts som underlag.

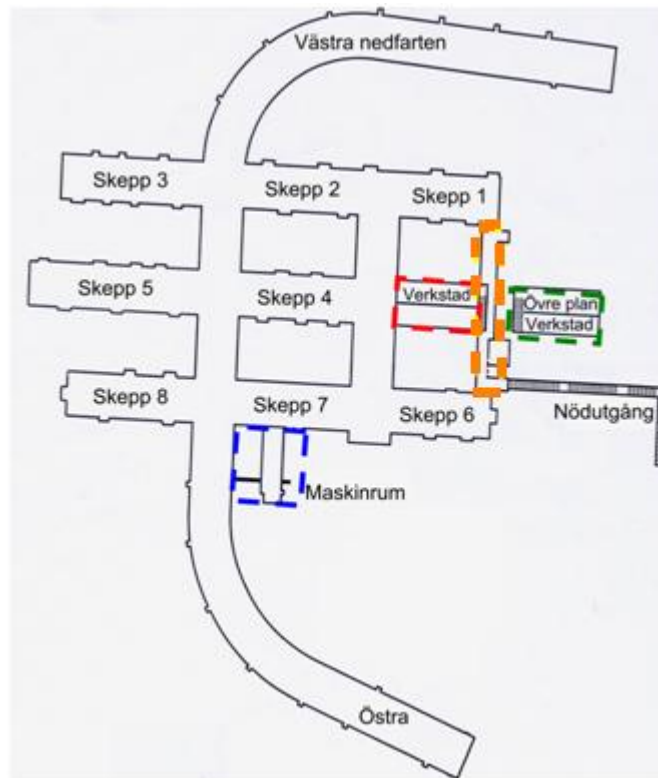
Bergvärdarna har ett stort ansvar och spelar en stor roll vid utrymning men ingen möjlighet har funnits att undersöka utbildningsnivån och färdigheterna hos dessa.

På grund av brist på ventilationsritningar har ventilationen i Aeroseum inte kunnat utvärderas annat än kvalitativt.

2 Objektsbeskrivning

I detta kapitel beskrivs objektets utformning, verksamhet, historik och personal.

Aeroseum är en flyghangar på 22 000 m² beläget i Nya berget vid Säve flygplats nordväst om Göteborg. Hangaren ligger 27 meter under berget och används idag som flygmuseum. Den byggdes genom att först spränga bort under berget och sedan bygga ett skal inuti. Skalet är ett valv som är uppbyggt av armering och betong. Vissa väggar är målade. Samtliga väggar är således obrännbara, klassbeteckning A1. Hangaren är kulturminnesmärkt och ägs av Fortifikationsverket och hyrs av stiftelsen Aeroseum.



Figur 2.1. Översiktsritning av Aeroseum med brandcellsgränser markerade. Källa: Aeroseum.

2.1 Utformning

Hangaren har två nedfarter, en i öst och en i väst och är uppbyggt av åtta så kallade skepp, se figur 2.1. Nedfarten i öst används som entré till museet medan den västra endast är till för personal och som väg till utrymningsväg. Vardera nedfarten har två stora betongportar i öppningen. Hangaren är indelad i totalt fem olika brandceller. Den största brandcellen innefattar nedfarterna och själva utställningsområdet, och täcker i stort sett hela lokalen. Det finns en verkstadsdel i två plan som är utformad som två brandceller. Dessutom finns det en korridor och ett maskinrum som utgör varsin egen brandcell. Taket i hangaren har en rundad form. Maximala takhöjden är 5,8 meter och den lägsta är 2,9 meter. Bredden på gångarna i utställningshallen är cirka 15 meter och bredden på korridoren varierar mellan två och fem meter.



Figur 2.2. Östra nedfarten sedd utifrån.



Figur 2.3. Kassett i östra ingången (entrédörr), sedd utifrån.

Östra nedfarten

Portarna i öst, som fungerar som entré, är till hälften öppna och mellan dem sitter en kassett med två utrymningsdörrar, se figur 2.3. Lösningen är tillfällig och bättre alternativ eftersträvas. I nedfarten är flera flygplan placerade längs med norra sidan, se figur 2.4. Längs södra sidan finns ett litet utrymme med en utställning om hangarens historia. Nedfarten sluttar neråt och avslutas i en jalusiport och fyra dörrar som leder in till resten av hangaren, se figur 2.5. Dörrarna öppnas utåt, mot nedfarten, och har panikreglar. Porten är alltid nere under öppettider men kan öppnas för att transportera materiel och utställningsobjekt in och ut ur hangaren.



Figur 2.4. Östra nedfarten sedd från ingången, i riktning mot skeppen.



Figur 2.5. Porten vid östra nedfarten, sedd från skepp 7.

Västra nedfarten

Västra nedfarten är stängd för besökare och används som uppställningsplats för fordon. Nedfarten skärmas av från resten av hangaren med ett plastskynke som alltid är öppet en bit längs södra sidan av utrymningsskäl, se figur 2.6. Porten ut består även här av två stora betongportar som under öppettider är delvis öppna (ungefär 1,5 meter) och avskärmade med ett plastdraperi på utsidan för att förhindra fukt och kyla från att komma in, se figur 2.7.



Figur 2.6. Västra nedfarten sedd från skepp 3.



Figur 2.7. Plastskynke vid västra ingången.

Skepp 1 & 2

Längs västra sidan av skepp 1 och 2 är flygplan uppställda och de renoveras under öppettider som en del av utställningen. Vid besöksstillfället fanns här tolv plan uppställda. Renoveringsområdet är avspärrat med band så att besökarna inte kan beträda området. Personerna som jobbar med renoveringen måste ha speciella overaller på sig för att synas. Aerozeum har som praxis att aldrig förvara brandfarliga varor i utställningshallen.

Skepp 3

Större delen av skepp 3 är avspärrat för besökare och används som förråd av diverse tillbehör. Vid besöket fanns där bland annat två helikoptrar, en flygplanskropp samt en del blandat materiel och bråte.

Skepp 4

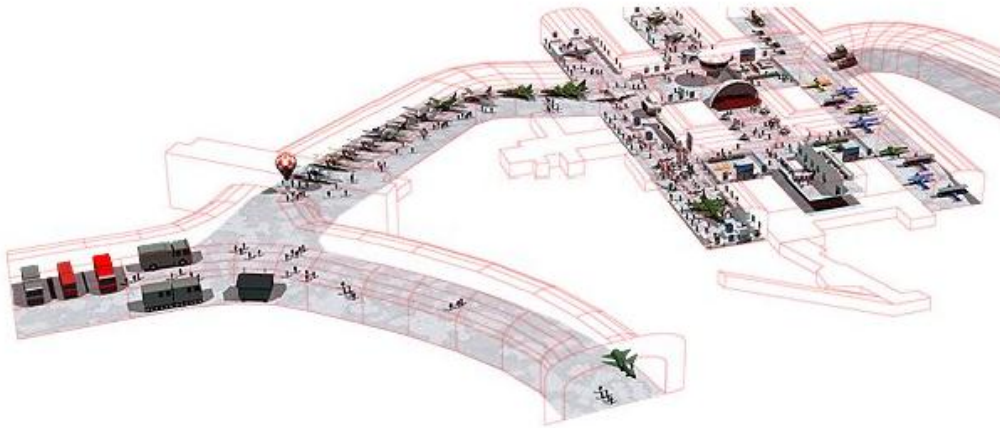
Skepp 4 är placerat mitt i hangaren. Vid platsbesöket fanns här fyra utställningsobjekt presenterade. Mellan skepp 2 och 4 finns ett café med köksutrustning och försäljning av fika och souvenirer. Det finns ett stort antal bord och stolar.

Skepp 5

I stort sett hela skepp 5 används som förråd. Det finns bland annat hyllor med träpallar, staplar med mattor och trälårar med sladdar och annat. Arkivskåp i metall är placerade ungefär 35 meter från öppningen till skeppet och avskärmar större delen av förrådet. Det finns även utställningsobjekt som ska renoveras och byggas om, till exempel simulatorer. Skepp 5 är avspärrat med en kedja som ska hindra besökare från att komma in. Ett skynke skyddar förrådet från insyn.

Skepp 6

Denna del används vid konferenser och andra tillställningar. Det finns en del bord och annat möblemang samt en scen. På golvet ligger en tunn heltäckningsmatta och utrymmet är avdelat med hjälp av maskeringsnät.



Figur 2.8. Översikt av Aeroseum. Källa: Aeroseum.

Skepp 7

Två flygplan finns uppställda i skepp 7.

Skepp 8

I skepp 8 finns en helikopter och två flygplan uppställda. Innersta delen av skepp 8 är avspärrad.

Verkstadsdel

Verkstadsdelen består av två våningsplan som är varsin brandcell. I dagsläget används verkstaden som kontor. Nedersta planet fungerar som kontor men det finns även en toalett med skötbord som kan användas av besökare. I kontoret finns skrivbord, bokhyllor, arkivskåp med mera. Här finns ett brandklassat förråd där brandfarliga varor förvaras. Detta förråd är låst.

På andra planet finns toaletter för besökarna, några kontor, ett konferensrum och ett rum med en gammal kommandocentral. Andra våningsplanet kan nås via trappor från två håll, dels från caféet och dels från en korridor på andra sidan. Korridoren utgör en egen brandcell, men dörren som leder från korridoren via trappan till övre plan i verkstaden stod öppen vid besöket, vilket gör att brandcellen inte är intakt. Korridoren sträcker sig längs södra sidan av verkstaden och det finns staplade stolar, träskivor, skåp och diverse datorutrustning. Det finns även ett förråd som ansluter till korridoren och är fylld med diverse attiraljer. Från korridoren nås nödutgången i norr, som består av en smal trappa.

Maskinrum

Maskinrummet utgör en egen brandcell. I maskinrummet finns två reservaggregat, uppvärmningsanordning, centralapparaten till brandlarmet och brandförsvarstablån. Reservaggregaten är dieslaggregat och testas en gång i månaden och slås igång automatiskt

vid strömavbrott. Dessa dieselaggregat ska ha tillräckligt med diesel för att försörja hela anläggningen i flera dagar. Det ena reservaggregatet var ur funktion vid besöket. Uppvärmningsanordningen drivs av olja.

2.2 Ventilation

All tilluft tas genom trappuppgången i norr. Luften går först igenom ett stenfilter, sedan ytterligare ett filter innan den kylv i ett kylbatteri för att avfuktas. Ett värmebatteri används för att värma luften innan den trycks ut i utrymmet mellan berget och skalet.

Frånluften tas till 60 procent från frånluftsdon i golvnivå och resterande från trummor i taket. Därefter går den till ett återvinningsbatteri innan den försvinner ut.

All luft i lokalen byts ut tre gånger per timme. Detta kan jämföras med Socialstyrelsens rekommendation för bostäder som säger att luftomsättningen inte bör understiga 0,5 rumsvolymer per timme (Socialstyrelsen, 1999). Aerozeum har en hög luftomsättning som är kvar från tiden då lokalen användes som flygplanshangar av militären.

2.3 Verksamhet

Aerozeum är ett flygmuseum som berättar om flygets historia och utveckling, såväl nationellt som internationellt. De vill visa både den civila och den militära utvecklingen. De har utställningar, simulatorer och anordnar flyguppvisningar. Även konferenser och barnkalas anordnas. Aerozeum är en stiftelse som jobbar med att bevara de historiska berganläggningarna. Stiftelsen äger ett driftsbolag (aktiebolag).

Aerozeum vill i framtiden att anläggningen ska bli ett upplevelsecenter som ska kunna ha konserter och evenemang. Målet är att kunna ta emot 600 personer i ett första steg och senare uppemot 1200 personer. Aerozeum har ungefär 50 000 besökare per år. Topparna ligger på helger, skollov och under sommaren. De tar även emot cirka 150 skolklasser per år.

Aerozeum planerar att bygga världens första handikappanpassade flygplanssimulator. Under öppettiderna finns personer från Göteborgs veteranflygförening på plats och utför renoveringar.

2.4 Historik

Den gamla berghangaren började användas år 1942 av Kungliga Göta Flygflottilj och var Sveriges första flygflottilj med en skyddande berghangar. Efter ett par år började hangaren byggas om och år 1955 invigdes den nya, större hangaren. Den kallades "Nya berget" och den 22 000 m² stora hangaren var topphemlig. År 1969 lämnades flyghangaren och fram till 2004 har det använts som förråd. 2005 tog stiftelsen Aerozeum över och har sedan dess drivit sin verksamhet där.

2.5 Personal

Driftsbolaget har tio anställda. Stiftelsen utbildar volontärer och har utbildat ungefär 450 personer som bland annat jobbar som bergvärdar. Bergvärdarna har som ansvar att övervaka lokalerna under öppettiderna och vägleda besökarna ut vid händelse av brand. Normalt är de

tre personer men antalet beror på antalet besökare. Det finns även en vakthavande bergchef som bland annat kontrollerar vart larmet har gått vid larm.

3 Befintligt brandskydd

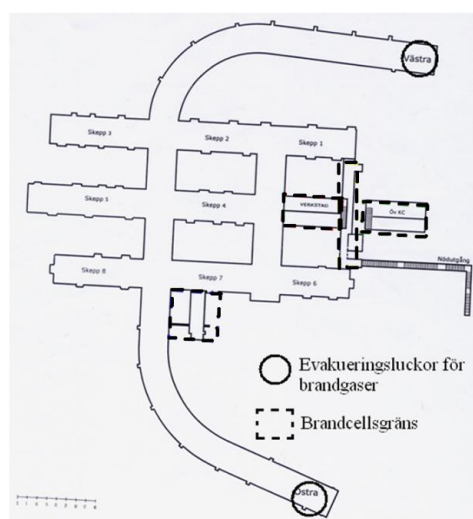
I detta kapitel presenteras Aeroseums befintliga brandskydd. Sedan förs en diskussion kring detta och en jämförelse görs med aktuella krav och rekommendationer ur olika källor.

3.1 Beskrivning av befintligt brandskydd

Aeroseums brandskydd består idag av bergvärdar, brandceller, utrymningsvägar, brandgasventilation, detektorer, utrymningslarm, handbrandsläckare, brandposter, utrymningsskyltar och nödbelysning. Det saknas ett fungerande aktivt släcksystem i lokalen.

3.1.1 Bergvärdar

Bergvärdar är utbildad personal vars uppdrag består av att övervaka lokalerna under dagarna och vid en nödsituation leda besökarna ut ur byggnaden via lämpliga nödutgångar. Vanligtvis finns det tre bergvärdar i tjänst, men det finns fler att tillgå vid behov, exempelvis under lov då antalet besökare ökar. Bergvärdarna står placerade i korsningarna mellan de olika skeppen för att få en god överblick över hela lokalen. Det finns en vakthavande bergchef som har ansvaret att vid larm gå till larmcentralen och kontrollera var tillbudet skett. En av bergvärdarna har som uppgift att vid larm kontrollera att toaletterna på ovanvåningen är utrymda. Bergvärdarna har genomgått en säkerhetsutbildning som Aeroseum ansvarar för. De är utrustade med västar, ficklampor samt har tillgång till megafon. Bergvärdarna har kunskap om nödutgångar, uppsamlingsplatser med mera. Vid platsbesöket var lokalen stängd för besökare och därför fanns det ingen bergvärd närvarande.



Figur 3.1. Brandcellsindelning och placering av evakueringsluckor för brandgaser. Källa: Aeroseum.

3.1.2 Brandceller

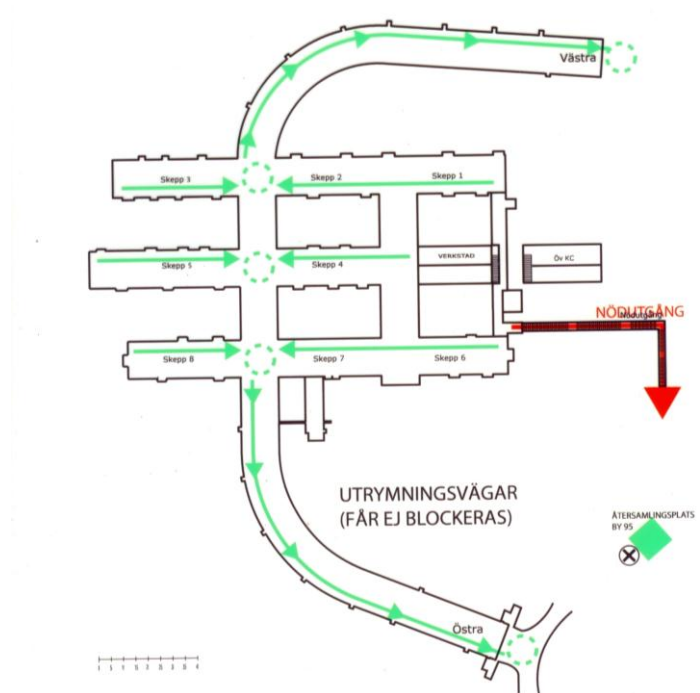
Större delen av hangaren är en och samma brandcell. Där ingår östra och västra nedfarten samt hela utställningsytan. Maskinrummet där larmcentralen är placerad är en egen brandcell och verkstadens två plan består av varsin brandcell. Samtliga dörrar var vid platsbesöket övermålade så brandklassen på dörrarna kunde inte uttydas. Jalusiporten som finns i slutet av östra nedfarten och leder in till utställningshallen är inte brandklassad. Se figur 3.1 för brandcellsindelning.

3.1.3 Utrymningsvägar

Det finns idag tre utrymningsvägar: västra och östra ingången samt en trappa placerad i norra delen av byggnaden som leder ut till det fria, se figur 3.3. Ingången för besökarna är placerad i den östra nedfarten medan den västra nedfarten normalt är avstängd för allmänheten. I båda ingångarna finns det två tunga betongportar. Vid östra ingången finns det dessutom en ny kassett som är ingången till Aerozeum, se figur 3.2. Kassetten har två dörrar som båda är utrustade med panikregel och öppnas utåt. Detta saknas i den västra ingången, där det endast finns betongdörrarna som funnits sedan invigningen 1955. Dessa dörrar är alltid delvis öppna då museet är öppet. Betongdörrarna måste öppnas manuellt av personal via ett litet rum bredvid öppningen. Detta rum gränsar till ett annat rum som i sin tur leder ut till det fria. Det är ett litet svårframkomligt rum och fungerar normalt inte som utgång.



Figur 3.2. Dörrar med kassett vid östra ingången, sedd inifrån.

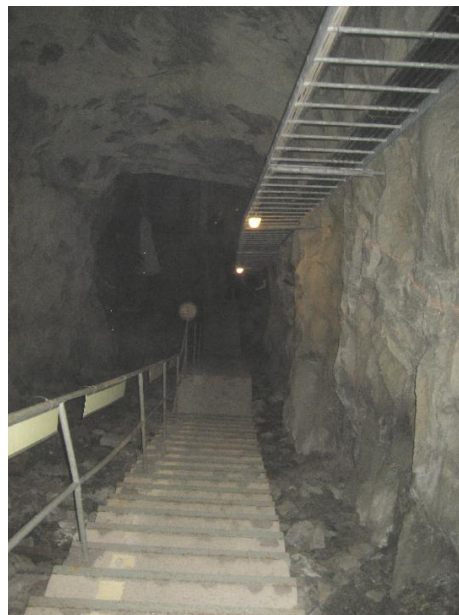


Figur 3.3. Utrymningsvägar i Aerozeum.

Den tredje utrymningsvägen består av en lång och smal trappa på 113 trappsteg i två nivåer. Trapphuset är utsprängt ur berget och har inget invändigt skal, se figur 3.5. För att komma till trappan behöver man följa skyltar och passera ett antal dörrar, bland annat en dörr som är markerad med *Reservutgång*, se figur 3.4. I slutet av trappan finns ytterligare en dörr med vanligt handtag. Trappan har ledstång på ena sidan och det finns efterlysande vägledande markering på trappstegen. Det finns ingen nödbelysning. Trapphuset fungerar även som tilluftskanal till hela lokalen.



Figur 3.4. Dörr till utrymningstrappan i norr.



Figur 3.5. Utrymningstrappan sedd utifrån. I figuren är trappan upplyst av kamerablixten.

3.1.4 Brandgasventilation

De enda rökluckor som finns är evakueringsluckor vid portarna i östra och västra nedfarten som öppnas manuellt, se figur 3.1.

3.1.5 Detektorer

Detektorerna som finns i Aerozeum är framförallt rökdetektorer, men det förekommer även värmedetektorer. I utställningshallen är detektorerna placerade med ett avstånd som varierar mellan 15 och 27 meter från varandra, beroende på placering i lokalen. Enligt ritningar är arean som en detektor täcker i utställningshallen mellan 200 och 400 m². Enligt detektorritningen skulle det även finnas flamdeterektorer men vid besöket verkade dessa vara rökdetektorer. I korridoren bakom verkstaden finns sex stycken värmedetektorer som aktiverar vid 60 °C. Även i verkstaden finns det värmedetektorer av denna typ.

3.1.6 Utrymningslarm och larmcentral

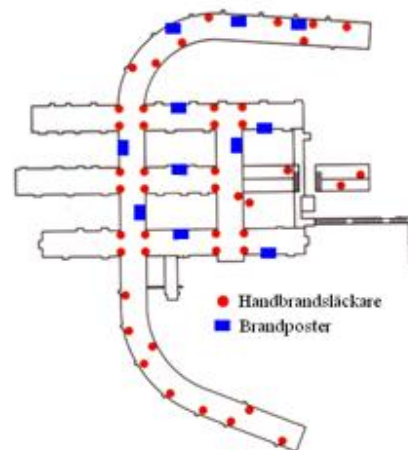
Utrymningslarmet består av ringklockor. Det finns högtalare i lokalen men de används för att spela upp meddelanden och få ut information till besökare. Larmcentralen är placerad i maskinrummet, har ingen larmlagring och är inte direktkopplat till räddningstjänsten. Detektorsystemet är adresserbart och centralen meddelar vilken detektor i vilken sektion som har aktiverat. Den närmaste räddningstjänsten är stationerad i Angered och har en insatstid på ungefär tio minuter. Det har inte utförts några övningar med räddningstjänsten men flera av Göteborgs brandkårer har varit och besökt byggnaden. Personal i entrén håller koll på antalet besökare i byggnaden. Det finns även ett inbrottslarm som har direkt koppling till ett vaktbolag.

3.1.7 Handbrandsläckare och brandposter

Det finns gott om handbrandsläckare, bland annat utplacerade vid alla korsningar i byggnaden. De är i huvudsak pulver men några vattensläckare finns. Handbrandsläckarna kontrolleras regelbundet av Fortifikationsverket. Det finns även en del brandposter utplacerade i byggnaden. Brandposterna får vatten från en vattenbassäng som rymmer 400 m³ vatten. Bassängen har ett filter och samlar upp avfallsvatten från hangaren och regnvatten. Brandpostnätet har manuell skuminblandning. Se figur 3.7 för placering av handbrandsläckare och brandposter.



Figur 3.6. Handbrandsläckare med pulver.

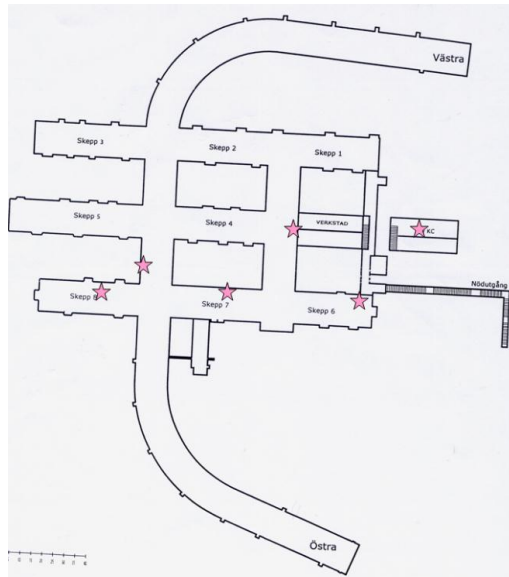


Figur 3.7. Utplacering av handbrandsläckare och brandposter. Källa: Aeroseum.

3.1.8 Utrymningsskyltar och nödbelysning

Utrymningsskyltarna är efterlysande. Det finns dessutom efterlysande markeringar på golvet som visar vägen till närmaste utrymningsplats. Linjerna är ofta parallella med ena väggen och täcker hela byggnaden. Aeroseum har som princip att alltid hålla linjerna fria. Linjerna finns kvar från tiden då byggnaden användes av militären men blir med jämna mellanrum ommålade.

Det finns nödbelysning utplacerade på ett antal ställen i byggnaden som startar automatiskt när strömmen bryts, se figur 3.8. Det finns dessutom nödbelysning placerad i västra nedfarten som inte är markerad i figur 3.8 men det saknas i östra nedfarten samt i trappan som fungerar som nödutgång. Nödbelysningen är införskaffad de senaste åren.



Figur 3.8. Placering av nödbelysning. Stjärnorna visar var nödbelysning är placerad. Källa: AeroSeum.

3.1.9 Släcksystem

Det finns för närvarande inget fungerande aktivt släcksystem i byggnaden. Det finns ett sprinklersystem som installerades då man byggde hangaren, men detta är ur funktion och det råder stora tveksamheter om systemet skulle gå att använda igen. Det gamla sprinklersystemet täcker hela utställningshallen samt nedfarterna. Då systemet var i drift fanns det möjlighet till manuell skumtillsats.

3.1.10 Systematiskt brandskyddsarbete, SBA

Som en del i det systematiska brandskyddsarbetet använder AeroSeum sig utav så kallade bergvärdar. Detta är personal som har till uppgift att hålla uppsikt över utställningshallen och lotsa besökarna ut vid en eventuell brand. AeroSeum ansvarar själva för utbildningen av dessa men vad som ingår i utbildningen är oklart. Ytterligare information om AeroSeums systematiska brandskyddsarbete saknas.

3.2 Diskussion av befintligt brandskydd

Här diskuteras det befintliga brandskyddets utformning ur brandskyddssynpunkt. Det jämförs även med de råd och regler som ges i Boverkets byggregler 2008.

Avsnitt 5:31 Allmänt i BBR säger:

”Byggnader ska utformas så att tillfredsställande utrymning kan ske vid brand. Risken för personer att skadas av nedfallande byggnadsdelar eller genom fall eller trängsel, samt risken för personer att bli instängda i nischer eller återvändsgångar ska särskilt beaktas.” (Boverket, 2008)

Lagen (2003:778) om skydd mot olyckor 2 kap. 2 § säger:

”Ägare eller nyttjanderättshavare till byggnader eller andra anläggningar skall i skälig omfattning hålla utrustning för släckning av brand och för livräddning vid brand eller annan olycka och i övrigt vidta de åtgärder som behövs för att förebygga brand och för att hindra eller begränsa skador till följd av brand.”

3.2.1 Allmänt

Aeroseum är en stor och unik byggnad och klassificeras som brandteknisk klass 1 på grund av den stora risken för personskador. Detta beror på byggnadens stora volym, att det kan finnas sig många människor i byggnaden och att besökarna inte förväntas ha god lokalkännedom. En del avsnitt och allmänna råd i BBR går att tillämpa på byggnaden, exempelvis gällande dörrar i utrymningsväg, utrymningsskyltar och nödbelysning. Andra, till exempel gångavstånd till utrymningsväg, går däremot inte att tillämpa och kräver en analytisk dimensionering.

Avsnitt 5:241 Samlingslokal i BBR säger:

”Med samlingslokal avses varje lokal eller grupp av lokaler inom en brandcell där ett större antal personer med mindre god lokalkännedom kan uppehålla sig.” (Boverket, 2008)

Aeroseum kan enligt definitionen i avsnitt 5:241 anses vara en samlingslokal.

3.2.2 Bergvärdar

I avsnitt 5:31 Allmänt i BBR finns det ett allmänt råd som säger:

”Utrymningssäkerheten bör anpassas till den valda utrymningsstrategin, verksamheten och antalet personer i byggnaden, samt till de byggnadstekniska och organisatoriska brandskyddsåtgärderna, t.ex. i form av utbildad personal.” (Boverket, 2008)

Systemet med bergvärdar som ansvarar för att vägleda besökarna vid en nödsituation är speciellt för Aeroseum. Då verksamheten var stängd och det inte fanns några bergvärdar närvarande under platsbesöket är det svårt att utvärdera deras prestation och effektivitet vid en

nödsituation. Aeroseum ansvarar själva för att ge bergvärdarna en säkerhetsutbildning, vad som ingår i denna är oklart, vilket medför ytterligare svårigheter vid bedömningen. I normala fall då det är få besökare i lokalen är det endast tre bergvärdar i tjänst. Lokalen är väldigt stor och besökarna får gå omkring fritt vilket gör att bergvärdarna har ett stort ansvar.

3.2.3 Brandceller

Då större delen av hangaren är en och samma brandcell är risken för brandgasspridning stor. Förutom larmcentralen, verkstaden och korridoren har brandgaser möjlighet att spridas i hela utrymmet. Att anmärka på är att brandcellsgränsen mellan korridoren bakom verkstaden och verkstadens övervåning inte är intakt då dörren står öppen. Framförallt är detta värt att beakta då mycket brännbart materiel är lagrat i en del av skeppen. Denna materiel kan utveckla stora mängder brandgaser som kan spridas obehindrat över en stor yta och försvåra utrymning avsevärt. Jalousiporten som finns mellan utställningshallen och östra nedfarten är inte brandklassad men är tänkt att fungera som en rökavskiljare vid brand.

För att behålla brandcellerna intakta bör dörrarna vara försedda med dörrstängare, vilket det inte är i dagsläget.

3.2.4 Utrymningsvägar

I avsnitt 5:311 *Tillgång till utrymningsväg* i BBR står det:

”Bostäder och lokaler, utöver de som avses i avsnitt 5:313, där personer vistas mer än tillfälligt ska ha minst två av varandra oberoende utrymningsvägar.” (Boverket, 2008)

Ett allmänt råd som hör till avsnitt 5:371 *Samlingslokal* i BBR är att samlingslokaler bör ha minst tre utrymningsvägar om de är avsedda för fler än 600 personer och minst fyra om de är avsedda för fler än 1000 personer. Aeroseum har för närvarande tre utrymningsvägar. Dessa diskuteras vidare längre ner.

Avsnitt 5:331 *Gångavstånd till utrymningsväg* i BBR säger:

”Gångavståndet inom en brandcell till närmaste utrymningsväg ska inte vara längre än att brandcellen kan utrymmas innan kritiska förhållanden uppstår.” (Boverket, 2008)

Det allmänna rådet som följer lyder:

”Längsta gångavstånd kan fastställas med utgångspunkt från den verksamhet som ska bedrivas i byggnaden. Gångavståndet bör normalt inte överstiga 30 meter, om utrymning kan ske i två riktningar.” (Boverket, 2008)

Gångavståndet till närmaste utrymningsväg kommer överallt överskrida 30 meter i Aeroseum. Eftersom Aeroseum är uppbyggt med många och långa tunnlar är detta svårt att undvika. Exempelvis är den verkliga längden från skepp 4 till jalousiporten vid östra nedfarten mer än 80 meter och nedfarterna är vardera över 100 meter långa. Detta medför att ett beräknat gångavstånd skulle överstiga detta.

I avsnitt 5:341 *Passagemått i utrymningsväg* i BBR står det:

”Utrymningsvägar ska utformas med sådan rymlighet och framkomlighet att de kan betjäna det antal personer de är avsedda för.” (Boverket, 2008)

I avsnitt 5:342 Dörr i utrymningsväg i BBR står det:

”Dörrar till eller i en utrymningsväg ska vara utåtgående i utrymningsriktningen och lätt identifierbara som utgångar. Andra dörrtyper är tillåtna om de ger likvärdig säkerhet vid utrymning som utåtgående slagdörrar. Dörrar till eller i en utrymningsväg ska vara lätt öppningsbara.” (Boverket, 2008)



Figur 3.9. Utrymningsplan för Aerozeum.

Figur 3.8 visar utrymningsplanen för Aerozeum. Anmärkningsvärt är att vid västra och östra ingången passerar vägen till utrymningsväg genom ett litet rum intill ingången. Detta rum används normalt endast av personal för att öppna och stänga betongportarna. Rummet är litet och det kan förekomma svårigheter med att ta sig ut via det. Under platsbesöket framgick det att i dagens utrymningsplan ska besökarna inte använda det lilla rummet utan utrymma direkt genom de stora portarna. En annan sak att anmärka på i figur 3.9 är att det inte framgår att det är en trappa vid den tredje utrymningsvägen. Trappan är lång och smal och svår använda för exempelvis rörelsehindrade människor.

Västra och östra nedfarten är breda och rymliga med bra framkomlighet. Från utställningshallen till östra nedfarten finns det en port med fyra dörrar, alla utåtgående och utrustade med panikreglar. Mellan utställningshallen och den västra nedfarten finns det endast ett skynke som avskiljare. Detta skynke är inte helt fördraget vilket gör att besökare utan problem kan passera förbi. I slutet av båda nedfarterna finns det utgångar ut till det fria. Dörrarna i östra ingången är ungefär 0,8 meter breda, öppnas utåt och är utrustade med panikreglar. I västra nedfarten däremot saknas sådana dörrar. Där har personalen istället ansvar att se till att de stora betongdörrarna alltid är delvis öppna då Aerozeum är öppet för allmänheten. Öppningen brukar normalt vara ungefär 2 meter.

Den östra ingången uppfyller kraven i BBR gällande dörr i utrymningsväg men det råder tveksamheter om den västra ingången gör detta. Ifall personalen glömmer att öppna porten blir det avsevärt svårare för besökarna att ta sig ut från denna utrymningsväg.

Utrymningstrappan är smal, lång och placerad i en mörk miljö. Öppningen fungerar som enda tilluftsöppning vilket ger ett dragigt och kallt klimat. Det kan vara svårt att orientera sig till den om man inte känner till lokalerna väl. Det finns utrymningsskyltar som leder till trappan men dessa bedöms vara otydliga. Vägen dit upplevs som krånglig eftersom man ska passera ett flertal dörrar som besökarna normalt inte går igenom utan personal. Det bedöms inte troligt att besökare utrymmer via trappan om inte en bergvärd visar vägen. Det råder dessutom tveksamheter om dörrarna i trappgången uppfyller kraven i BBR gällande säkerhet och lättillgänglighet. Rörelsehindrade bedöms inte kunna utrymma via utrymningstrappan.

På grund av detta anses inte trappan uppfylla kraven i BBR och därför anses det tveksamt om trappan idag kan användas som utrymningsväg. Tekniskt ansvarig för Aerozeum påpekar att trappan är en nödutrymningsväg som i normala fall inte används för att utrymma.

3.2.5 Brandgasventilation

Aerozeum har en väldigt stor volym vilket normalt försvårar brandgasventileringen. Den höga luftomsättningen underlättar och påskyndar dock ventileringen av brandgaser. På grund av den stora volymen är risken att en brand i utställningshallen blir ventilationskontrollerad låg, därför anses den höga luftomsättningen inte medföra några nackdelar. För närvarande finns det två rökluckor, en vid vardera ingången, för att kunna vädra ut brandgaser som ansamlats i nedfarterna. Då lokalen är belägen under mark och har ett skal samt berg mellan lokalen och fria luften kan det förekomma svårigheter med ytterligare brandgasventilering i byggnaden.

3.2.6 Detektorer

I korridoren bakom verkstaden används värmedetektorer. Dessa ska enligt SBF 110:6 finnas i sådan omfattning att den övervakade ytan för varje detektor inte överstiger 30 m², samt att ingen del av taket är på ett större horisontellt avstånd än 5 meter från detektorn (Svenska Brandskyddsföreningen, 2001). På grund av ofullständiga ritningar är det inte känt hur värmedetektorerna är placerade i korridoren.

Det råder oklarheter angående vilken typ av detektorer som används i övriga Aerozeum. Vid platsbesöket konstaterades att det inte är flamdetektorer som används, utan att det främst är någon typ av rökdetektorer. Rekommendationen är att en rökdetektors övervakningsyta inte

får överstiga 100 m² och att ingen del av taket är på ett större horisontellt avstånd än 10 meter från rökdetektorn (Svenska Brandskyddsföreningen, 2001). Detta uppfylls inte i Aerozeum. Enligt ritningar med detektorplacering är avståndet mellan rökdetektorerna upp till 27 meter, och ytan en detektor täcker överstiger 400 m².

Observera att SBF 110:6 endast ger rekommendationer och inga krav finns att följa dessa. Däremot innebär självklart ett längre avstånd än detektorn är anpassad för en längre detektionstid. Detta leder till att en brand hinner växa sig större innan den upptäcks, och personerna i lokalen får alltså mindre tid att agera innan kritiska förhållanden uppstår.

Observera att SBF är en standard och därmed ett tillvägagångssätt, andra lösningar får användas under förutsättning att de håller minst samma nivå som den i SBF. Ett längre avstånd än detektorn är anpassad för innebär en längre detektionstid. Detta leder till att en brand hinner växa sig större innan den upptäcks, och personerna i lokalen får alltså mindre tid att agera innan kritiska förhållanden uppstår.

3.2.7 Utrymningslarm och larmcentral

Avsnitt 5:3541 *Automatiskt brandlarm* i BBR säger:

"I byggnader eller i delar av byggnader där krav på tidig upptäckt av brand ställs ska automatiskt brandlarm installeras. Detektering ska, där så är möjligt, ske med hjälp av rökdetektorer. Systemet ska ge signal till bemannad plats då personer finns i byggnaden." (Boverket, 2008)

Aerozeum är att betrakta som en byggnad där brand måste upptäckas tidigt. Aerozeum har ett automatiskt utrymningslarm med ringklockor. Då det finns besökare i lokalen finns det alltid minst tre bergvärdar, varav en har ansvaret att gå till larmcentralen och se efter var tillbudet varit. Detektorerna är adresserbara vilket innebär att larmcentralen talar om i vilken sektion larmet har utlösts. Detta är fördelaktigt på grund av att branden tidigt kan lokaliseras och därför kan en manuell släckinsats påbörjas tidigt. Det är även en fördel ur utrymningssynpunkt då det blir lättare att välja den lämpligaste utrymningsvägen.

Brandlarmet är inte direktkopplat till räddningstjänsten. Detta innebär att personalen vid Aerozeum måste larma räddningstjänsten vid brand, vilket såklart innebär en förlängd tid till dess att räddningstjänsten kan vara på plats. En fördel skulle kunna vara att det minskar risken för larm utan brandtillbud, så kallat falsklarm, vilket kan vara kostsamt. Utrymningslarmet testades inte under platsbesöket men antas fungera tillfredsställande.

3.2.8 Handbrandsläckare och brandposter

Vid platsbesöket var samtliga av handbrandsläckarna och brandposterna godkända. Hur ofta Fortifikationsverket utför kontrollerna framgick dock inte. Det finns gott om handbrandsläckare lättåtkomliga och även brandposterna täcker stora delar av utställningshallen.

3.2.9 Utrymningsskyltar och nödbelysning

Avsnitt 5:351 *Vägledande markering* i BBR säger:

”Vägledande markeringar för utrymning ska finnas om berörda personer förväntas ha mindre god lokalkännedom, såsom hotell, vårdanläggning (utom förskola och liknande) och samlingslokaler. Kravet gäller även lokaler inom vilka det är svårt att orientera sig eller som saknar dagsljusinsläpp. Vägledande markeringar ska finnas i sådan omfattning och vara så placerade att utrymning inte hindras av svårigheter att orientera sig i byggnaden. Skyltar ska placeras i anslutning till utgångsdörrar till och i utrymningsvägar. Skyltar ska utgöras av belysta eller genomlysta gröna skivor med tydliga, vita symboler.” (Boverket, 2008)

Det allmänna rådet som följer lyder:

”Skyltar bör ha sådan storlek och luminans att de syns tydligt och ha vägledande markeringar.” (Boverket, 2008)

Det kan förekomma svårigheter med att orientera sig i Aerozeum på grund av att lokalen är utformad med många tunnlar och skepp som ser likadana ut. Lokalen saknar dagsljusinsläpp och de flesta av besökarna förväntas ha mindre god lokalkännedom. Samtliga utrymningsskyltar i Aerozeum är efterlysende, inte genomlysta eller belysta. Belysta och genomlysta skyltar är ofta lättare att upptäcka och syns bättre både på längre håll och genom rök än efterlysende, och rekommenderas därför (Frantzich, 2001). Skyltarna täcker dessutom inte hela lokalen vilket kan medföra svårigheter att hitta utrymningsvägar vid en nödsituation.

Avsnitt 5:353 Nödbelysning i BBR säger:

”Nödbelysning ska möjliggöra utrymning på ett säkert och effektivt sätt även vid strömavbrott. Nödbelysning ska finnas i utrymningsvägarna i byggnader som innehåller hotell, vårdanläggning (utom förskola och liknande) eller samlingslokal.” (Boverket, 2008)

Det allmänna rådet som följer lyder:

”Skyltar med vägledande markeringar bör alltid vara belysta eller genomlysta även vid ett eventuellt strömavbrott.” (Boverket, 2008)

Avsnitt 5:3712 Nödbelysning m.m. i BBR gäller för samlingslokaler och säger:

”Samlingslokaler ska vara försedda med allmänbelysning och nödbelysning. Trappsteg i samlingslokal ska förses med nödbelysning. Omedelbart utanför utgångar till det fria ska nödbelysning anordnas. Den belysning som behövs i samlingslokaler vid utrymning ska kunna tändas från en plats i lokalen. Utvändiga utrymningsvägar från samlingslokaler ska i hela sin längd vara belysta och försedda med nödbelysning.” (Boverket, 2008)

Nödbelysningen som finns i Aerozeum provades endast på två ställen under platsbesöket, men då den är relativt ny, antas det att den nödbelysning som finns fungerar. Det finns reservkraftaggregat som startar automatiskt vid ett strömavbrott för att säkerställa att nödbelysningen alltid har strömförsörjning, aggregaten har kapacitet att försörja anläggningen med ström i flera dagar. Det finns nödbelysning i västra nedfarten, men den anses inte vara tillräckligt täckande för att garantera säker utrymning här. Nödbelysning saknas i både östra nedfarten och trappan. Täckningen anses därför inte tillräcklig. Väl upplysta utrymningsvägar

och vägar till utrymningsvägar underlättar utrymningen avsevärt vid en nödsituation. Lokalen var försedd med efterlysande linjer på golvet som visar vägen till närmaste utrymningsväg. Dessa fick provas under platsbesöket. En nackdel var att när det förekom flera personer på en lång rad doldes linjerna av personerna framför och det var ibland svårt att se linjerna. Dessutom är det inte säkert att besökarna i lokalen är medvetna om linjerna och vågar följa dem då de kan tolkas som en kvarleva från den gamla hangaren. Därför bedöms det att de efterlysande linjerna fungerar som ett bra komplement till övrig utrustning men att det går inte att förlita sig på dem.

3.2.10 Släcksystem

Det gamla sprinklersystemet som finns monterat i byggnaden har inte varit i bruk sedan hangaren användes av militären. Det anses osannolikt att systemet skulle gå att använda idag utan en omfattande renovering. Ett sprinklersystem kan begränsa och i bästa fall släcka en brand.

4 Teori

Här presenteras teorin bakom de beräkningsmodeller som används.

4.1 Utrymningsdimensionering

Vid brandteknisk projektering kan brandskyddet utredas genom förenklad eller analytisk dimensionering. Vid förenklad dimensionering ska de krav och allmänna råd som finns i BBR följas. Ifall avsteg från dessa görs ska det utföras en analytisk dimensionering. Det innebär att brandskyddet dimensioneras på ett annat sätt än vad som står i BBR, så länge brandskyddets funktion är av samma nivå. Följande stycke är hämtat ur BBR avsnitt 5:11:

”Brandskyddet får utformas på annat sätt än vad som anges i detta avsnitt, om det i särskild utredning visas att byggnadens totala brandskydd därigenom inte blir sämre än om samtliga aktuella krav i avsnittet uppfyllts.” (Boverket, 2008)

Detta kan visas genom att beräkna skillnaden mellan tiden till kritiska förhållanden och tiden för utrymning. Utrymningen anses vara tillfredställande om den totala utrymningstiden är kortare än tiden till kritiska förhållanden.

4.1.1 Kritiska förhållanden

Avsnitt 5:361 Kritiska förhållande vid utrymning i BBR säger:

”Vid dimensionering av utrymningssäkerheten får förhållandena i byggnaden inte bli sådana att gränsvärdena för kritiska förhållande överskrider under den tid som behövs för utrymning.” (Boverket, 2008)

Dessa förhållanden definieras enligt fem kriterier; temperatur, sikt, brandgaslagrets höjd, strålning och toxicitet. När gränsvärdet för någon av dessa parametrar har nåtts, råder kritiska förhållanden. Undantaget är dock brandgaslagrets höjd. Om gränsvärdet för brandgaslagrets höjd nåtts, men inte gränsvärdena för sikt, toxicitet och temperatur, kan det vara acceptabelt för en säker utrymning (Boverket, 2008). Nedan presenteras allmänna råd gällande gränsvärden för olika parametrar från BBR.

Brandförlopp och tid till kritiska förhållanden kan simuleras med hjälp av datorprogram eller beräknas med handberäkningar. Denna rapport kommer använda datorprogrammet FDS, se bilaga B, för att visa på kritiska förhållanden.

Temperatur

Personer får inte utsättas för temperaturer över 80 °C vid utrymning (Boverket, 2008).

Sikt

Sikten får inte understiga 5 meter i kända miljöer och 10 meter i okända miljöer. Till kända miljöer hör till exempel bostäder och kontor (Boverket, 2008). Eftersom en stor del av personerna som vistas i Aerozeum är besökare och antas ha liten lokalkännedom anses Aerozeum vara en okänd miljö.

Brandgaslagrets höjd

Brandgaslagret får inte sjunka lägre än höjden som bestäms i ekvation 4.1, där H är rumshöjden (Boverket, 2008).

$$\text{Gränsvärde} = 1,6 \text{ m} + 0,1 * H \quad \text{Ekvation 4.1}$$

Strålning

Personer får inte utsättas för en strålningsintensitet högre än $2,5 \text{ kW/m}^2$ under en längre tid. Under en kortare tid får strålningsintensiteten maximalt uppgå till 10 kW/m^2 . Dessutom får den strålningsenergi personerna utsätts för inte vara högre än 60 kJ/m^2 . Dessa värden gäller utöver grundstrålningen 1 kW/m^2 . (Boverket, 2008)

Toxicitet

Under utrymning får inte koncentrationerna av giftiga gaser bli för höga och syrehalten får inte bli för låg. Koldioxidhalten får inte överstiga 5 procent och kolmonoxidhalten får inte överstiga 0,2 procent. Syrehalten får inte sjunka under 15 procent. Ofta sammanfaller kriteriet för toxicitet med kriteriet för brandgaslagrets höjd. (Brandteknik, 2005)

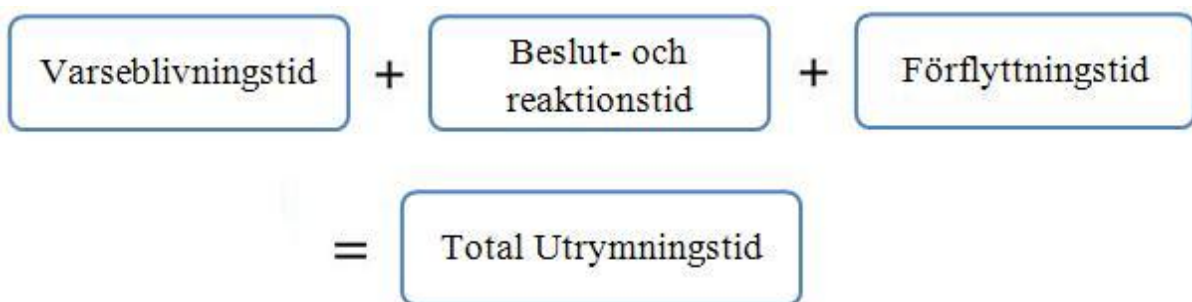
Ett alternativt synsätt är att om sikten är längre än 10 meter så är kriteriet för toxicitet inte nått.¹

4.1.2 Tid för utrymning

Tiden det tar för en person att utrymma beror av flera faktorer. Dessa är i huvudsak egenskaper hos personen som utrymmer, byggnadens utformning samt utrymningsmiljön. Vad gäller byggnaden är en av de mest avgörande faktorerna själva längden på utrymningssträckan, men också framkomligheten och hur lätt det är att orientera sig. Utrymningsmiljön påverkar utrymningstiden på olika sätt, två exempel som förlänger den är nedsatt sikt och höga temperaturer.

Människors beteende vid brand varierar stort beroende på personliga egenskaper, till exempel kön och ålder. Det är därför svårt att kartlägga hur en grupp människor utrymmer en byggnad vid en nödsituation. Vissa är initiativtagande och påbörjar genast utrymning eller släckinsats, medan andra är passiva och följer andras handlingar. Agerandet vid en brand skiljer sig mellan män och kvinnor. Till exempel visar en amerikansk studie att vid en brand i hemmet försöker män ofta släcka branden, medan kvinnor oftare försöker samla familjemedlemmarna och tillkalla räddningstjänst (SFPE, 2002). Alla dessa faktorer gör att utrymningstiden kan variera mycket. Vad gäller människors utrymningstid gäller generellt följande princip:

¹ Professor David Purser, Hartford Environmental Research, föreläsning 2011-04-14



Figur 4.1. Beräkning av total utrymningstid.

Namnen på de tre olika faserna varierar i olika källor, men dess innebörd är oftast liknande.

Samtliga tider förutom varseblivningstiden är mycket beroende på den enskilda personen och har därför en stor naturlig spridning för en population. Detta kommer visas genom simuleringar i @risk. Detta program beskrivs i bilaga B.

Varseblivningstid

Varseblivningstid är tiden från att branden startar tills dess att en person upptäcker att något är fel, till exempel genom att personen ser branden eller hör larmet.

I Aeroseum är ett automatiskt utrymningslarm är kopplat till detektorerna vilket leder till att varseblivningstiden i princip är den samma som aktiveringstiden för en detektor.

Aktiveringstiden för detektorerna beräknas med FDS och DETACT-QS i de två brandscenarier som undersöks, se kapitel 6 och 7.

Besluts- och reaktionstid

Efter varseblivningstiden tar besluts- och reaktionstiden vid. Den täcker alla handlingar som innebär att personen först reagerar på situationen, sedan fattar ett beslut om åtgärd, och till sist förbereder sig för denna åtgärd. Besluts- och reaktionstiden innefattar alltså den tid som passerar innan en person målmedvetet har börjat röra sig mot en utrymningsväg (Frantzich, 2001).

Tiden påverkas mycket utav huruvida personen ser branden. Med avseende till Aeroseums stora volym är det osannolikt att en stor del av personerna som vistas där ser en eventuell brand. Enligt *Tid till utrymning vid brand* skriven av Frantzich (2001) finns resultat av utrymningsövningar där besluts- och reaktionstider har uppmätts. I tabell 4.1 nedan visas ett urval av dessa tider:

Tabell 4.1. Besluts- och reaktionstider för olika lokaler och utrymningslarm (Frantzich, 2001).

Lokal och typ av utrymningslarm	Besluts- och reaktionstid [minut:sekund]
Varuhus, ringklocka	3:30
Varuhus, enkelt talat meddelande	2:00
Varuhus, informativt talat meddelande	1:00
Nattklubb, ringklocka	5:00
Nattklubb, talat meddelande	2:45

Aeroseums utrymningslarm består av ringklockor. Försöket från varuhus med ringklocka är sannolikt det som överensstämmer bäst med Aeroseum.

Vid en uppskattning av besluts- och reaktionstiden för besökarna bör faktorerna nedan beaktas. Ordning ska inte ses som en rangordning.

1. Besökarna bär sannolikt alla sina ägodelar med sig, såsom ytterjackor och handväskor.
2. Besökarna rör sig antagligen i grupp tillsammans med dem de anlände till lokalen med.
3. Besökarna kan vara upptagna med någon aktivitet, till exempel en simulator.
4. Besökare kan vistas i cafeteria och vara i färd med ett köp eller en måltid.
5. I framtiden vill Aeroseum kunna anordna större fester och evenemang med alkoholservering.

Punkt 1 innebär att besluts- och reaktionstiden minskar, då de allra flesta besökare antagligen inte har något behov att gå någonstans för att hämta kvarlämnade ägodelar. Punkt 2 innebär också att tiden minskar, eftersom besökare inte behöver ägna tid åt att leta upp sin familj eller sina vänner. Det är vanligt att personer vill utrymma tillsammans med dem de har en social anknytning till (Frantzich, 2001). Både punkt 3 och 4 innebär att besluts- och reaktionstiden ökar. Människor har svårt att abrupt lämna en icke avslutad aktivitet, till exempel en måltid. Det kan krävas mycket för personer att snabbt avsluta en påbörjad aktivitet och istället börja utrymma. Punkt 5 innebär att besluts- reaktionstiden ökar då alkohol ger nedsatt reaktionsförmåga. Tabell 4.2 är hämtad ur *Tid för utrymning vid brand* och är ett försök gjort på en nattklubb.

Tabell 4.2. Besluts- och reaktionstider för nattklubb och liknande (Frantzich, 2001).

Typ av larm	Person som avses	Median [minut:sekund]
Manuell ringklocka	Personal	1:30
Manuell ringklocka	Gäst	5:00
DJs meddelande	Personal	1:30
DJs meddelande	Gäst	3:00
Förinspelat meddelande	Personal	1:00
Förinspelat meddelande	Gäst	2:45

En bra lösning för att minska besluts- och reaktionstiden är en väl tränad och utbildad personal. Personal som på ett genomtänkt vis uppmanar besökare att utrymma omgående kan sannolikt minska besluts- och reaktionstiden markant. Viktigt att ta i beaktande är dock att personalen själva har en besluts- och reaktionstid.

Förflyttningstid

Den sista tidsperioden, förflyttningstid, är den tid det tar för en person att utrymma. Tiden mäts från det att personen börjar röra sig mot en utrymningsväg tills dess att personen kan anses ha utrymt. Oftast innebär detta att personen har tagit sig ut i det fria, eller in i en annan brandcell som anses säker.

Allmänt gäller att de faktorer som sannolikt har störst inverkan på gånghastigheten är personens fysiska status, samt hans eller hennes kännedom om lokalen. Rörelsehindrade rör sig långsammare än friska personer. Vid god lokalkännedom rör sig personer snabbare och effektivare på grund av att de har lättare att orientera sig och tvekar inte lika mycket över vilken väg som är lämplig. Dessa faktorer påverkar gånghastigheten samt hur lång förflyttningstiden blir. En annan faktor som påverkar är längden på utrymningsvägen samt utformandet av denna.

Aeroseum planerar att bygga världens första flygsimulator för rullstolsburna. Detta kan antas locka större sällskap med personer med nedsatt rörelseförmåga. Förflyttningstiden är längre för rullstolsburna och detta bör tas i beaktande då det kan komma att vistas många rullstolsburna i byggnaden vid samma tillfälle.

Det finns flera program och handberäkningsmodeller för att beräkna förflyttningstiden och i denna rapport används programmet Simulex. Teori och begränsningar för Simulex beskrivs i bilaga B.

4.1.3 Utrymningsresultat

Vid bedömning huruvida utrymning kan ske på ett tillfredande sätt används Excels tilläggsprogram @risk. Programmet bygger på fördelningar av olika parametrar, se bilaga B. Värdena slumpas i en simulering och ett representativt värde fås fram.

Utrymningen anses vara tillfredställande om den totala utrymningstiden är kortare än tiden till kritiska förhållanden.

För simulering av total utrymningstid sätts fördelningar på besluts- och reaktionstid samt förflyttningstid. De enskilda tiderna adderas till en total utrymningstid och en simulering med 1000 iterationer görs. Programmet slumpar värden ut de olika fördelningarna och ett diagram över troliga utrymningstider tillhandahålls. Genom att veta tid till kritiska förhållanden kan en bedömning göras hur många procent som hinner ut innan kritiska förhållanden uppstår.

5 Riskidentifiering

Här identifieras och utvärderas brandrisken i objektet.

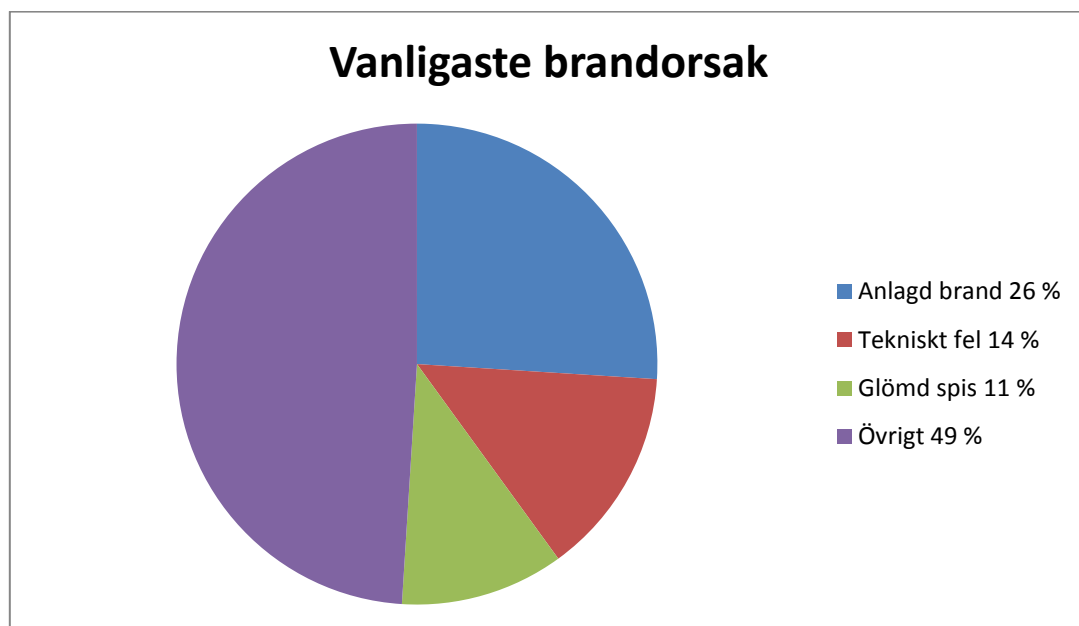
Syftet med en riskidentifiering är att få en bild över de mest framträdande brandtekniska riskerna i lokalen. Målet är att identifiera de värsta troliga scenarierna för att sedan utifrån dessa utvärdera brandskyddet. Antalet möjliga brandscenarier begränsas nästan bara av fantasin och därför genomförs en grovanalys. Denna innehåller ett flertal scenarier där de som antas innebära högst risk identifieras och övriga sällas bort eller anses vara representerade i högriskscenarierna. Det är viktigt att de valda brandscenarierna representerar även de scenarier som inte undersöks (Staffansson, 2010).

5.1 Tidigare incidenter

Aeroseum har sedan det började användas som museum inte haft några brandtillbud, utan endast fellarm. Ingen statistik kan alltså hämtas därifrån.

5.2 Statistik

Det är svårt att hitta relevant statistik för brandorsaker gällande Aeroseum som är en allmän byggnad med museiverksamhet men som också är ett bergrum utformat som en flyghangar. Som referens för möjliga scenarier används statistik från Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap för brand i allmän byggnad. De vanligaste brandorsakerna för en allmän byggnad visas i figur 5.1.



Figur 5.1. Diagram över de vanligaste brandorsakerna i allmänna byggnader. Exempel på övriga brandorsaker är tänd ljus, fyrverkerier och rökning. (Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap)

5.3 Kvalitativ beskrivning av tänkbara brandscenarier

Nedan beskrivs ett urval av tänkbara brandscenarier, numrerade från 1 till 9. För varje scenario görs en bedömning av brändernas sannolikhet och konsekvens kvalitativt. För sannolikheten sker bedömningen på en femgradig skala mellan mycket låg och mycket hög. Konsekvenserna graderas från mycket liten till mycket stor. Dessa värderingar är

uppskattningar för att ge en ungefärlig bild av möjliga brandscenarier. För ritning och position av brandscenarier se figur 5.2.

5.3.1 Scenario 1 – Brand i förråd i skepp 5

I förrådet i skepp 5 förvaras en mycket stor mängd materiel. En stor del av denna materiel utgörs av diverse reservdelar till flygplan och helikoptrar och kan till stor del anses vara obrännbara. Delarna förvaras i stora lådor av trä som står i ett hyllsystem. I delar av förrådet förvaras även mattor och träpallar i staplar. En brand skulle kunna uppstå exempelvis på grund av elfel eller att någon anlägger den. En brand skulle troligen snabbt växa och få en stor effektutveckling. Sannolikheten att en brand uppstår bedöms som **måttlig**. Då förrådet är helt öppet ut mot resten av utställningsytan kommer röken kunna sprida sig obehindrat. Skepp 5 är placerat i nära anslutning till båda tunnlarna som leder upp till marknivå och risk finns således att dessa utrymningsvägar snabbt blir blockerade av brandgaser. Konsekvensen bedöms därför som **mycket hög**.

5.3.2 Scenario 2 – Brand i korridoren bakom verkstaden

I korridoren förvaras för närvarande staplade stolar, träskivor, skåp och diverse datorutrustning. Korridoren är öppen för allmänheten då den utgör en av vägarna till toaletterna. Anlagd brand anses vara den troligaste orsaken till en brand. Korridoren utgör en egen brandcell, men åtminstone under öppettider är dörren till trappan som leder upp till toaletterna (i övre kommandocentralen) öppen. Vid en brand skulle således rök kunna sprida sig till övre kommandocentralen. En brand i korridoren skulle blockera nödutrymningstrappan. Branden skulle även kunna vara dold en längre tid och ha gott om tid till tillväxt. Konsekvensen bedöms som **stor** och sannolikheten som **måttlig**.

5.3.3 Scenario 3 – Brand i plan vid ingång (blockerar den naturliga utgången)

I den östra nedfarten står många fordon uppställda; bilar, släp, helikoptrar och flygplan. Gemensamt för samtliga fordon är att de innehåller brännbart material, och då avses framförallt interiören i dem, det vill säga hytter och cockpitar. Det finns inte många rimliga brandorsaker för dessa fordon, men däremot skulle de kunna vara mål för anlagd brand. Trots att anlagd brand statistiskt är den vanligaste brandorsaken bedöms sannolikheten för detta vara **låg** eftersom fordonen står öppet och mycket folk rör sig där. Den östra nedfarten fungerar som ingång för besökarna. En brand i plan kommer dock inte orsaka kritiska förhållanden i resten av byggnaden på grund av den avskiljande jalousiporten som alltid är stängd under besökstid. Brandgaserna kan alltså bara spridas uppåt mot ingången, och eftersom personer i ingången enkelt kan undkomma brandgaserna (antingen genom att gå igenom nedre eller övre porten) anses konsekvensen vara **måttlig**.

5.3.4 Scenario 4 – Brand i lagringsrum för brandfarliga varor

Lagringsrummet för brandfarliga varor är lokaliserat i samma brandcell som verkstaden. I rummet förvaras diverse oljor, lösningsmedel och rengöringsmedel. Besökare har tillträde till utrymmet utanför lagringsrummet då en trappa som leder upp till toaletterna finns där. Dörren till lagringsrummet är dock låst. En brand kan tänkas uppstå genom självantändning i en oljeindränkt trasa. Då dörren alltid är stängd bedöms risken för spridning vara liten och

effektutvecklingen skulle troligen vara låg. Konsekvensen bedöms som **liten** och sannolikheten som **låg**.

5.3.5 Scenario 5 – Brand i reservaggregat

En brand kan tänkas uppstå i ett reservaggregat. Detta kan ske på grund av ett elfel eller haveri. Om en brand skulle uppstå finns det en risk att det blir en hög effektutveckling på grund av den stora mängd diesel som finns förvarad. Sannolikheten att en brand i ett reservaggregat uppstår bedöms som **måttlig**. Då aggregaten är placerade i en separat brandcell där annat brännbart materiel inte finns, kommer risken för spridning vara låg. Då endast personal har tillträde till denna brandcell är risken att någon person i brandcellen skadas minimal. Konsekvensen bedöms därför som **liten**.

5.3.6 Scenario 6 – Brand i värmefläktar

Det finns flera värmefläktar placerade i anläggningen. Ett tekniskt fel i en värmefläkt kan leda till överhettning. Sannolikheten för detta bedöms vara **låg**. Värmefläktarna innehåller ingen betydande mängd brännbara delar, men det är tänkbart att brännbara föremål placerade nära en värmefläkt antänds vid en överhettning. Värmefläktarna är placerade på många olika platser, men istället för att undersöka varje enskild plats används värmefläktarna istället som en eventuell brandorsak för de brandscenarier som anses allvarliga. En överhettning i en fristående värmefläkt skulle inte leda till någon större rökutveckling och konsekvensen bedöms därför som **liten**.

5.3.7 Scenario 7 – Brand i lilla förrådet

I det lilla förrådet som finns i korridoren bakom verkstaden finns en mycket stor mängd materiel. Större delen av detta är brännbart och utgörs bland annat av kläder och elektronik. Besökare har tillträde till korridoren, men det förutsätts att förrådet är låst för att hindra besökare att komma in där. Även om korridoren ligger avsidet i anläggningen är det troligt att den används av besökare då den utgör en av vägarna till toaletterna. Förrådet och korridoren utgör en egen brandcell. Dörren in till förrådet är i plåt och gastät. Dörren hålls normalt låst och spridning av brandgaser ut i korridoren bedöms därför vara begränsad. Bränsle finns i tillräcklig mängd för att underhålla en brand med hög effektutveckling, tvivel finns dock om huruvida syretillgången är tillräcklig. Konsekvensen bedöms som **liten**. En brand skulle kunna uppstå på grund av elfel. Sannolikheten för detta bedöms som **låg**.

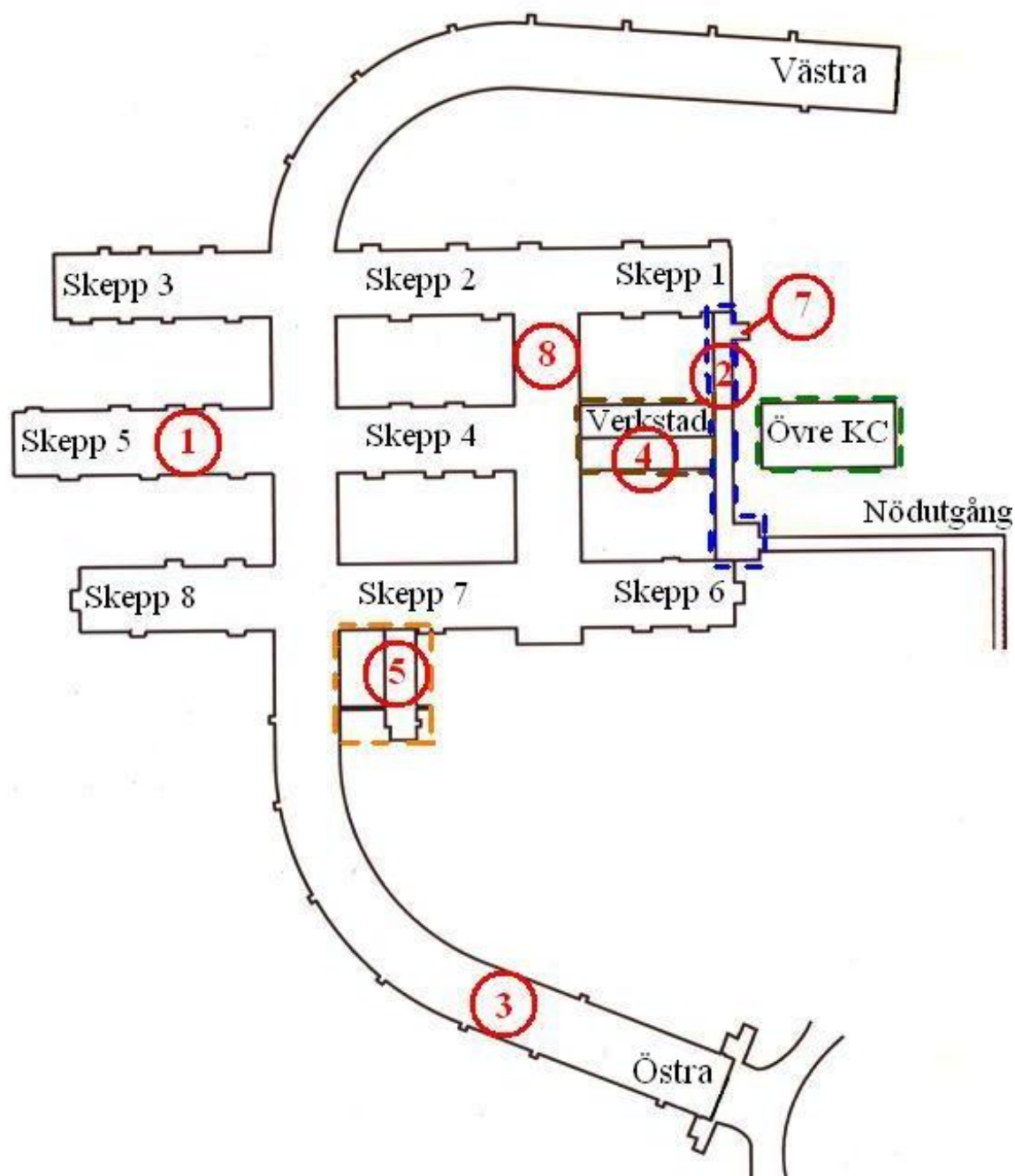
5.3.8 Scenario 8 – Brand i café

I caféet finns en stor mängd bord och stolar samt att golvet täcks av en heltäckningsmatta. En brand skulle kunna uppstå i en av köksmaskinerna, till exempel om spisen glöms på. Om en brand uppstår skulle rökspridning kunna ske obehindrat genom utställningshallen eftersom caféet är lokaliserat mellan två skepp. Konsekvensen bedöms som **hög**, och sannolikheten för en brand i caféet anses vara **måttlig**.

5.3.9 Scenario 9 – Antändning av bil eller annat fordon

För att transportera nya flygplan och övrig materiel används bilar eller andra fordon, och en möjlig källa till brand vore ett av dessa fordon. Till exempel skulle ett eventuellt läckage från fordonets bränsletank kunna antändas. Vanligtvis är dock inte museet öppet för besökare vid en förflyttning, och om det bara är behörig personal på plats minskar risken för

utrymningssvårigheter. Möjligheten för personalen att själva släcka branden är också stor eftersom branden kommer upptäckas tidigt. Sannolikheten anses som **mycket låg** och konsekvensen anses vara **mycket liten**.



Figur 5.2. Översiktsskild av Aero-seum med möjliga brandscenarier markerade. Scenario 6 och 9 kan uppkomma i stort sett överallt på nedre plan och finns därför inte med i figuren.

5.4 Grovanalys

De olika brandscenarierna presenteras nedan i en riskmatris, se figur 5.3. Scenarier i den röda delen har både hög sannolikhet och stor konsekvens medan scenarier i den gula delen har både låg sannolikhet och liten konsekvens. I den orangea delen är de scenarier med en sannolikhet och konsekvens mellan dessa nivåer. Det är främst scenarier i de röda och orangea delarna som är intressanta att utvärdera.

		KONSEKVENNS				
		Mycket liten	Liten	Måttlig	Stor	Mycket stor
SANNOLIKHET	Mycket låg	9				
	Låg		4, 6, 7	3		
	Måttlig		5		2, 8	1
	Hög					
	Mycket hög					

Figur 5.3. Riskmatris med möjliga brandscenarier. Sannolikhet och konsekvens har uppskattats kvalitativt för varje scenario.

De brandscenarier som undersöks närmare är scenario 1 (brand i förråd i skepp 5) och 2 (brand i korridoren bakom verkstad). Brandscenario 1 anses ha hög sannolikhet och stor konsekvens, och det är även dimensionerande för alla scenarier i utställningshallen. Med detta menas att många olika bränder kan uppstå i ungefär samma område och ha påverkan på samma ytor, men att utav dessa så är scenario 1 det värsta troliga scenariot. På grund av lokalens utformning blir det liknande brandförlopp och konsekvenser oberoende av vilket skepp branden uppstår i. Om ett brandscenario kan representera flera andra scenarier så kan resultatet för det värsta scenariot vara representativt för samtliga (Staffansson, 2010).

Scenario 8 är ett annat scenario med hög sannolikhet och stor konsekvens, men det är i många avseenden väldigt likt scenario 1. Även om personer kan befinna sig i caféet när en brand uppstår så kan de antagligen snabbt förflytta sig bort från brandens direkta närhet. Då personer kan antas vistas i caféet kommer denna brand att upptäckas snabbt. En brand enligt

scenario 1 är i en dold del av lokalen där inga besökare har tillträde, därför kommer det troligen ta längre tid att upptäcka denna brand. Då en brand enligt scenario 1 antagligen når en högre effektutveckling och dessutom kan blockera utgångarna anses scenario 1 dimensionerande för brandskyddet i utställningshallen. Därför används scenario 1 som brandscenario istället för att titta på många olika bränder som antagligen skulle ge liknande, men inte lika allvarliga, konsekvenser.

Scenario 2 är på samma vis dimensionerande för brandskyddet i den bakre korridoren och representerar alla bränder som kan uppkomma i den. Scenario 2 blir därför det andra brandscenariot som undersöks.

Scenario 3, brand i plan vid ingång, medför inte så stora konsekvenser och kommer därför inte att undersökas närmare.

Scenario 4, 5 och 7 behandlas inte då dessa uppstår i utrymmen som inte är tillgängliga för besökare och är egna brandceller.

Det ska nämnas att vid uppskattandet av dessa värden måste en specifik sannolikhet kopplas till en specifik konsekvens. Även om det skulle finnas ett utrymme där en brand är sannolik, så kanske bara den sannolikheten gäller små bränder. I samma utrymme kan det finnas potential för en stor brand, men sannolikheten för att detta sker är låg. I denna riskanalys har arbetet genomförts på detta vis och den redovisade sannolikheten är kopplad till en specifik konsekvens.

6 Brandscenario 1 – Brand i förråd i skepp

Detta kapitel behandlar ett brandscenario där en brand uppstår i förrådet i skepp 5.

6.1 Beskrivning

Skepp 5 är en del av den stora brandcellen som täcker in alla skepp och nedfarterna till anläggningen. En stor del av skepp 5 används för närvarande som förråd, där det finns mycket materiel och bråte. Där förvaras bland annat träpallar, staplar med mattor och trälårar fyllda med sladdar och annat, se figur 6.1 och 6.2. Det finns även flygplan och ett par simulatorer som ska byggas om och renoveras innan de ställs ut i anläggningen. Ungefär 35 meter från öppningen finns en skåpsvägg i metall som avskärmar större delen av förrådet, se figur 6.5. Denna går inte ända upp i tak, se figur 6.2. Endast personal har tillträde till förrådet, dock är det enda som avgränsar förrådet mot resten av utställningshallen ett skynke som endast delvis täcker öppningen till skeppet, se figur 6.5. I taket finns rökdetektorer. Det finns inget aktivt släcksystem i förrådet, dock finns manuell släckutrustning såsom handbrandsläckare.



Figur 6.1. Del av förråd i skepp 5. Staplar av mattor, pallar och trälårar med sladdar.



Figur 6.2. Del av förråd i skepp 5. Höga staplar med trälårar och pallar.

Enligt Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap är anlagda bränder en av de vanligaste brandorsakerna i allmänna byggnader. Det bedöms därför finnas en risk att någon utomstående medvetet startar en brand i förrådet. En annan vanlig antändningskälla är tekniska fel, exempelvis överhettade lysrör eller skador på elektrisk utrustning. Förrådet innehåller mycket brännbart materiel, vilket gör att en brand skulle sprida sig snabbt.

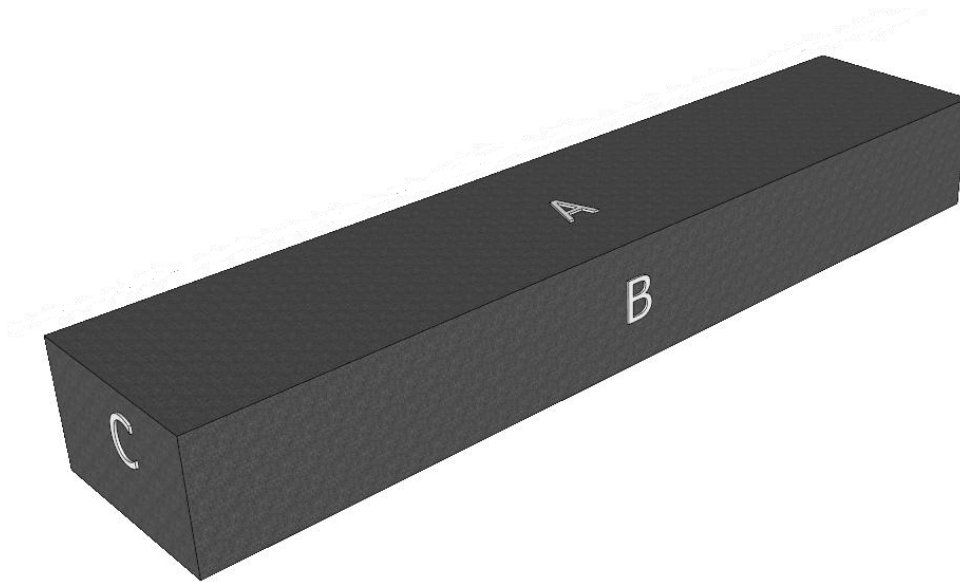
6.2 Brandförlopp

Branden antas uppstå i en hög av mattor, gjorda av polypropen, och ett antal trälårar. Det är material som brinner med en hög effektutveckling och med hög tillväxthastighet. Även om detektorerna aktiverar finns det en risk att branden når en hög effektutveckling så fort att den inte är möjlig att släcka manuellt när personalen når branden. Brandgaserna kommer att sprida sig ut genom öppningen till angränsande skepp.

6.3 Effektutveckling

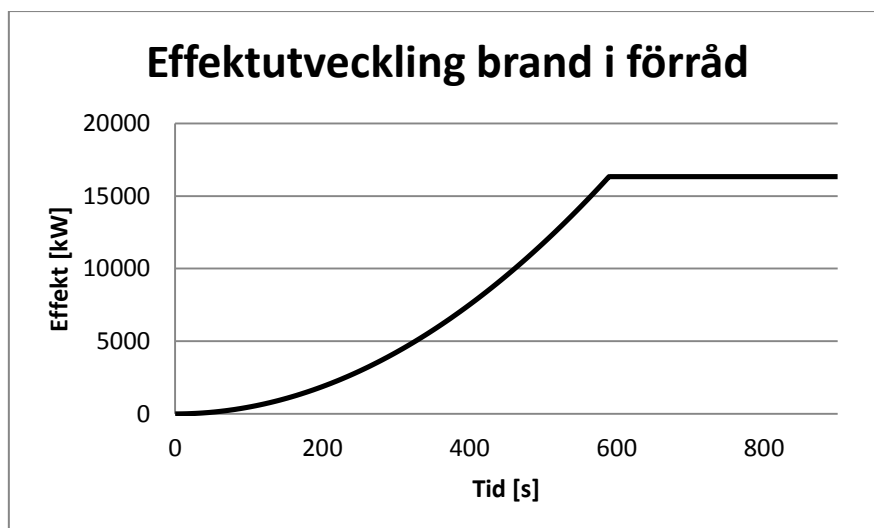
Förrådet i skepp 5 har hög brandbelastning. Mycket olika materiel finns lagrat och en approximation av effektutvecklingen har gjorts. Beräkningarna är koncentrerade till de golvmattor och träpallar som ligger lagrade inne i förrådet. Mattorna som består av polypropen kommer vid en brand att smälta och bilda en pölbrand. Svårigheterna med att beräkna effektutvecklingen från en sådan pölbrand är att det inte går att säga hur mycket av den materiel som står runtomkring som kommer involveras och hur stor pölen kommer bli. I samråd med professor Patrick van Hees vid Brandteknik Lunds Tekniska Högskola

approximeras branden till ett rätblock där effektutvecklingarna för rektangelns olika sidor (A, B, 2·C) summeras, se figur 6.3. Mattorna är placerade med långsidan intill skåp av metall och det är osannolikt att det kommer brinna på den sidan. Enligt beräkning i bilaga C blir mattornas bidrag till effektutvecklingen 4 400 kW.



Figur 6.3. Branden i mattorna approximerad till ett rätblock.

Som framgår i figur 6.2 finns ett antal trälårar i direkt anslutning till mattorna. En brand i mattorna kommer troligtvis leda till att även dessa trälårar börjar brinna och således tas dessa med i brandens effektutveckling. Enligt beräkning i bilaga C blir trälårnas bidrag till effektutvecklingen 12 000 kW. Den totala effektutvecklingen blir då 16 400 kW. Effektutvecklingen illustreras i figur 6.4.



Figur 6.4 Den totala effektutvecklingen i förrådsbranden. Detta är effektkurvan som användes i FDS-simuleringen.

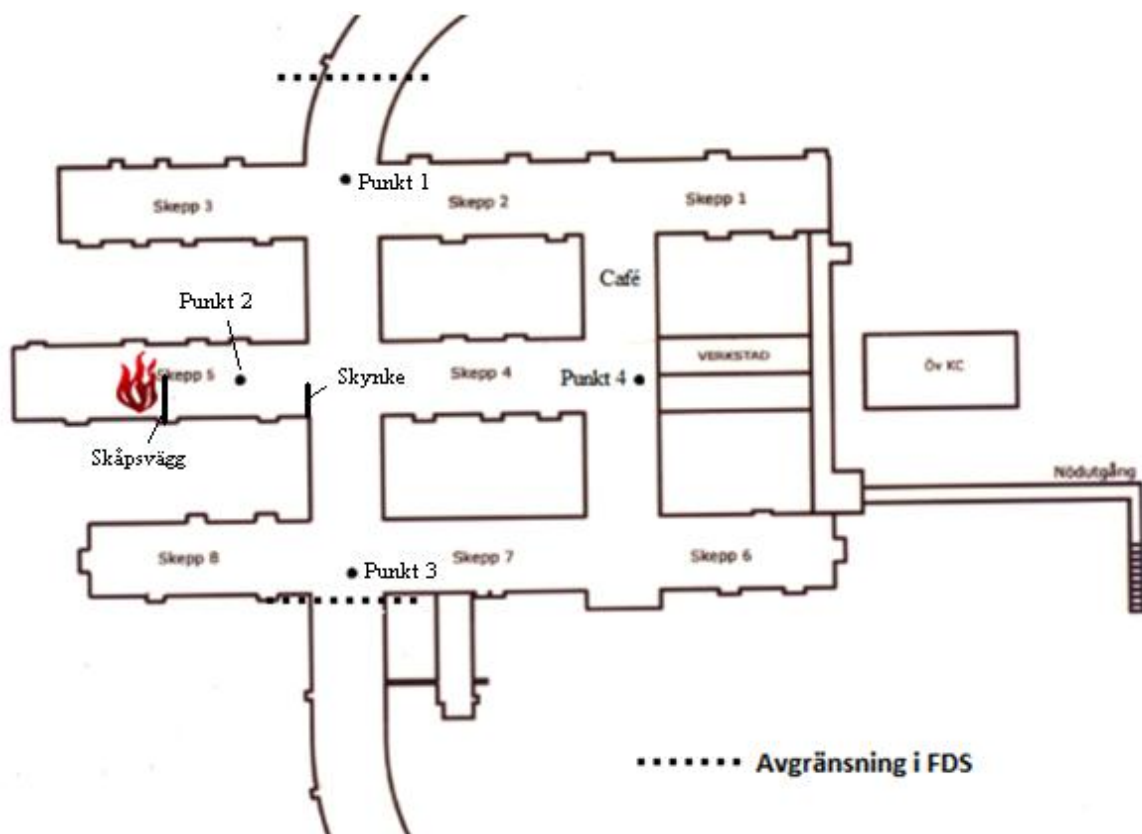
Tillväxtfasen är ansatt till en αt^2 -kurva, se bilaga A för bakomliggande teori. Den ansatta tillväxthastigheten är *fast* ($0,047 \text{ kW/s}^2$). Detta är gjort utifrån värden från *Enclosure Fire Dynamics* och är satt för en brand i träpallar, vilket bör stämma bra överens med den del av

bränslet som utgörs av trälårar. Detta bör även vara rimligt för den del av bränslet som utgörs av mattor. Den del av bränslet som utgörs av mattor kommer i verkligheten att smälta och skapa en pölbrand. I *Enclosure Fire Dynamics* framgår att tillväxthastigheten för olika typer av pölbränder är antingen *fast* eller *ultrafast*. Användandet av tillväxthastigheten *fast* är således rimligt även här, framförallt då mattorna utgör cirka en tredjedel av den totala effektutvecklingen.

Denna tillväxthastighet och effektutveckling används då brandscenariot simuleras i FDS. För beskrivning av denna simulering se bilaga G.

6.4 Tid till kritiska förhållanden

Kritiska förhållanden förklaras närmare i avsnitt 4.1. Kritiska förhållanden råder när ett av de gränsvärden som anges för temperatur, sikt, brandgaslagrets höjd, strålning och toxicitet nås, med vissa undantag för brandgaslagrets höjd. De mätpunkter som används i ett flertal tabeller och figurer illustreras i figur 6.5 nedan och simuleringen i FDS med antaganden beskrivs mer utförligt i bilaga G.

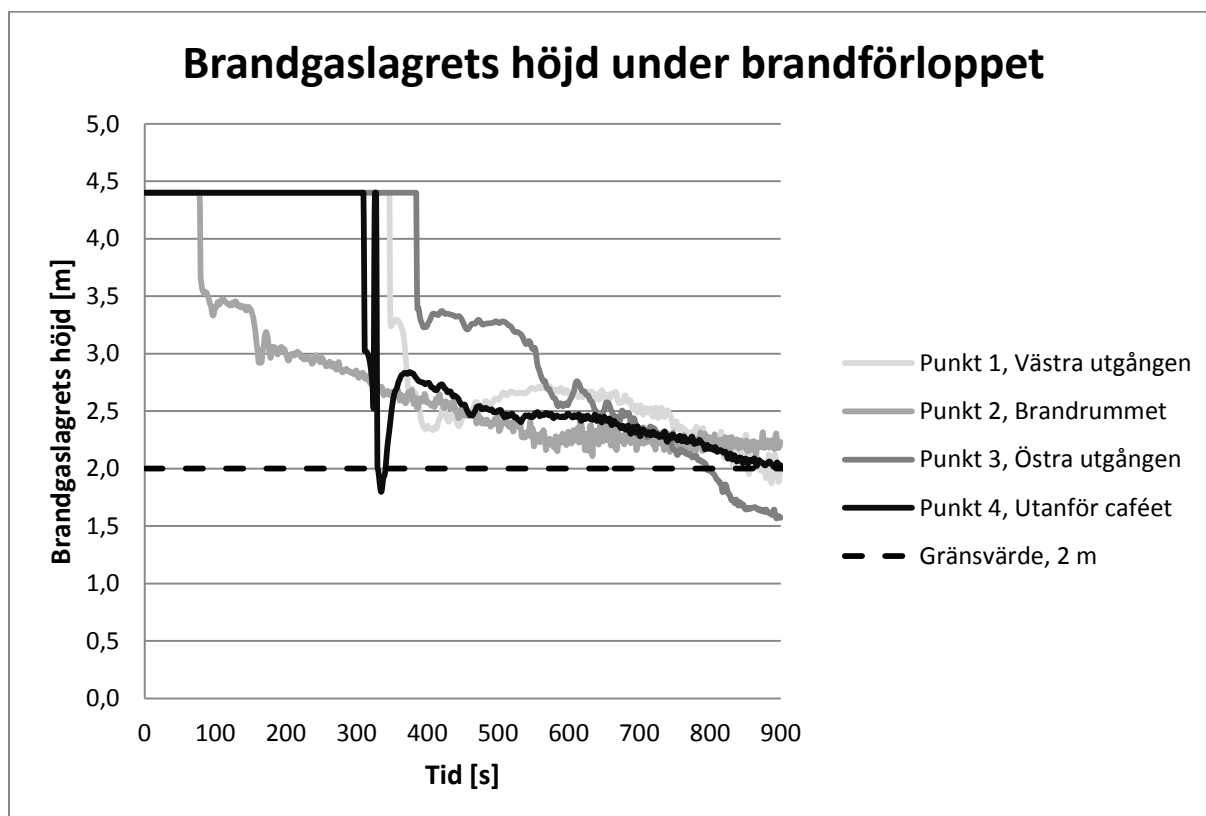


Figur 6.5. Illustration över mätpunkternas position i utställningshallen samt brandens placering. Även skynket som delvis täcker öppningen till skepp 5 samt skåpsväggen illustreras i figuren.

6.4.1 Brandgaslagrets höjd

Gränsvärdet för brandgaslagrets höjd beräknas med ekvation 4.1. Aeroseum har ett välvt innertak, och vid beräkningarna har ett medelvärde på 4,4 meter använts. I bilaga G beskrivs denna approximation mer ingående.

$$\text{Gränsvärde} = 1,6 \text{ m} + 0,1 * 4,4 \text{ m} = 2,04 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$$



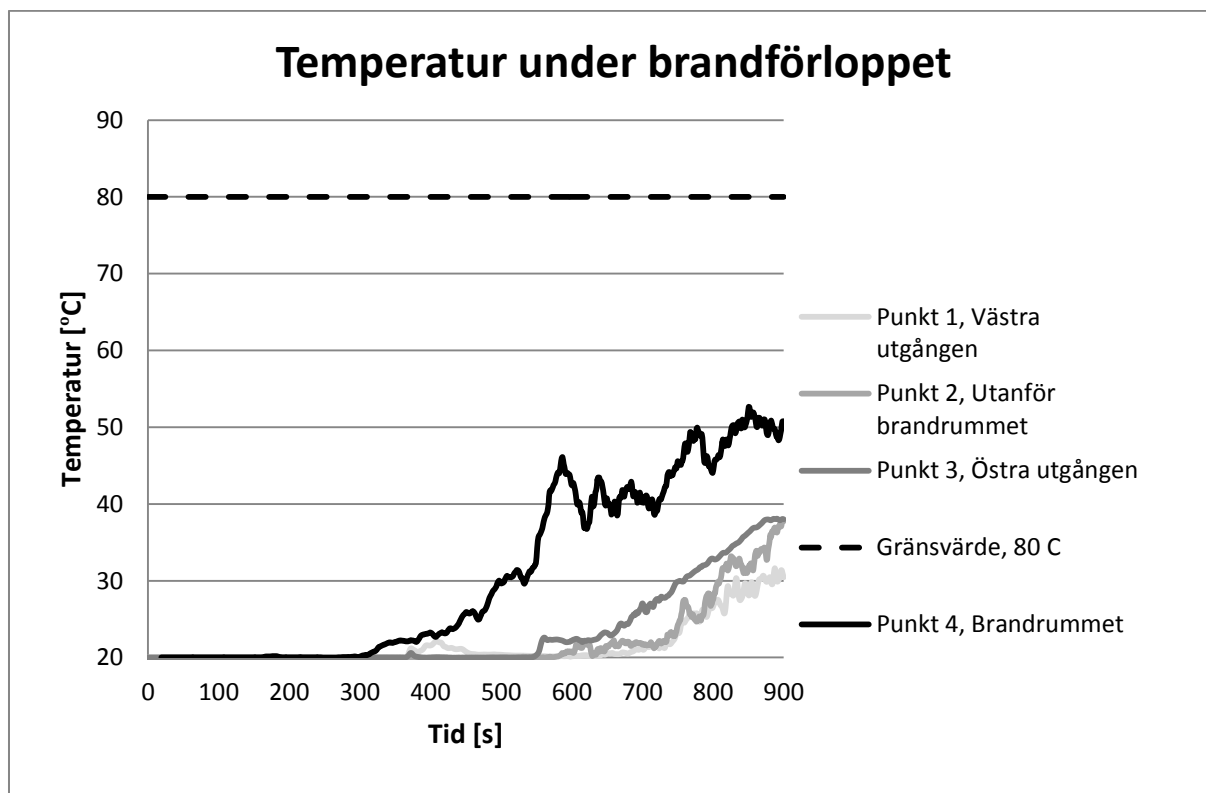
Figur 6.6. Brandgaslagrets höjd vid olika platser i lokalen, under brandförloppet.

Figur 6.6 visar att det är först vid punkt 4 utanför caféet som brandgaslagret först passerar 2 meters höjd, och det sker efter cirka 5,5 minuter. Här bör dock tas i beaktande att det bara är kritiska förhållanden under cirka tio sekunder, därefter stabiliserar sig brandgaslagret på en höjd över två meter en längre tid. Anledningen till att brandgaserna sjunker lågt ned under en kort tid är på grund av att en ceiling jet träffar väggen varvid brandgaserna trycks nedåt nära väggen där mätpunkten är placerad.

Bortsett från denna ceiling jet-effekt är det inte förrän efter mer än tretton minuter som brandgaslagrets når 2 meters höjd, och det sker vid östra utgången vid punkt 3. Överlag sprids gaserna ut relativt jämnt i hela utställningshallen och vid de punkter där gaserna träffar väggarna trycks de neråt och det är där som brandgaslagerhöjden blir kritisk först. Under dessa tretton minuter hinner 152 kg polypropen förbrännas, under förutsättning att bränslet enbart består av polypropen, se bilaga C.

6.4.2 Temperatur

Gränsvärdet för kritisk temperatur är 80 °C. I figur 6.7 nedan visas den uppmätta temperaturen vid olika punkter under simuleringen. Denna temperatur är uppmätt 1,8 meter över golvet. Detta motsvarar vad en medellång person utsätts för.



Figur 6.7. Brandgasernas temperatur vid olika platser i lokalen, under brandförloppet.

Som figuren visar överstiger inte temperaturen 80 °C i någon utav mätpunkterna. Anledningen till att inte ens mätpunkten i brandrummet överstiger gränsvärdet är på grund utav att den är fränskild brandkällan med en rad utav plåtskåp.

6.4.3 Strålning

Enligt handberäkningar i bilaga C, som bygger på teorin i bilaga A, blir strålningen från branden mot personer som passerar i öppningen till skepp 5 aldrig kritisk. Då effektutvecklingen är maximal blir strålningen i öppningen 0,7 kW/m². Detta är under förutsättning att branden är placerad på inre sidan av skåpsväggen. Om branden istället skulle inträffa på den sidan av skåpen som är mot öppningen in till skeppet kommer strålningen att bli kritisk. Beräkning i bilaga C visar att strålningen mot öppningen då skulle bli 5 kW/m².

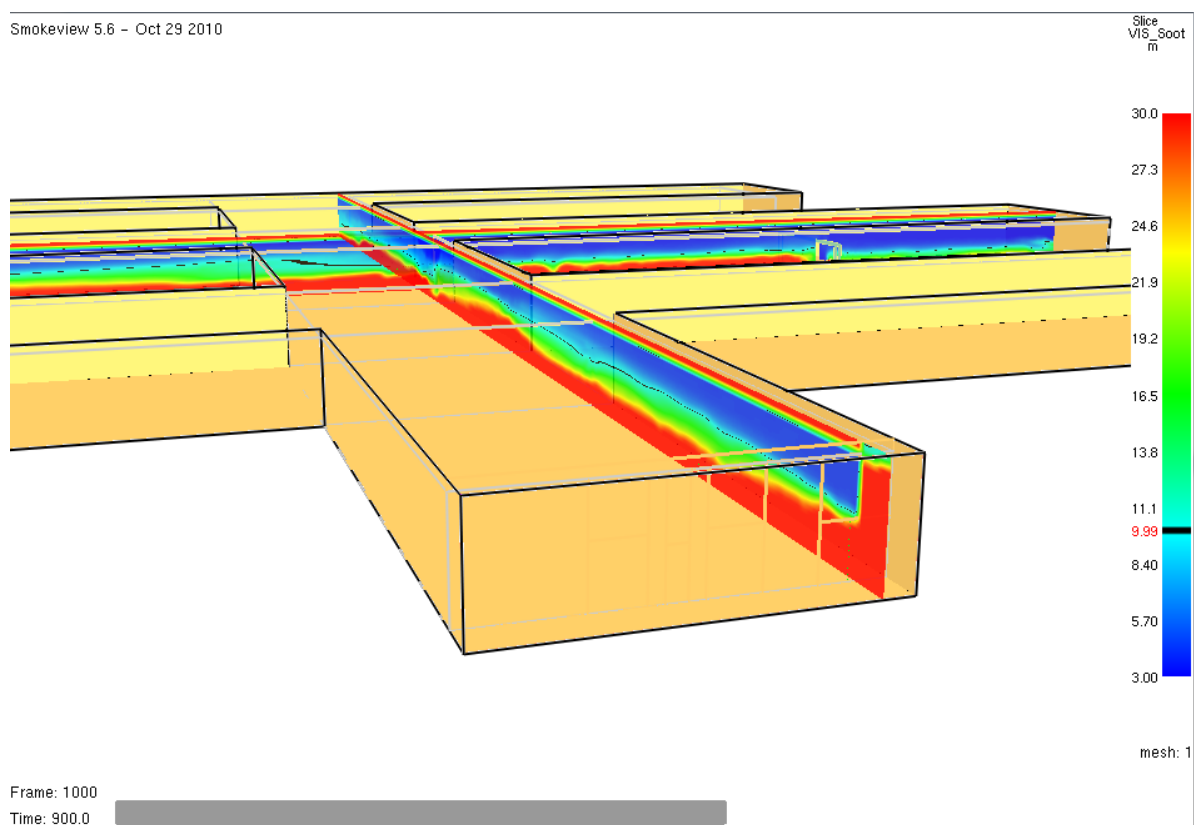
Strålningen från brandgaslagret blir enligt handberäkningar, se bilaga C, som mest 2,8 kW/m² i korsningen utanför skepp 5. Detta är något över den strålning som personer maximalt får utsättas för en längre tid. Detta anses inte vara ett problem då detta inträffar först vid cirka åtta minuter, samt att det är sannolikt att personer endast snabbt kommer att passera denna plats och inte uppehålla sig där.

I resten av utställningshallen blir strålningen från brandgaslagret som mest 1,1 kW/m², vilket inte är kritiskt.

Dessa beräkningar har genomförts genom att använda brandgaslagrets temperatur. I större delen av utställningshallen blir denna cirka 100 °C. I korsningen utanför skepp 5 blir brandgaslagrets temperatur högre, cirka 200 °C.

6.4.4 Sikt

Resultat från simulering i FDS ger att sikten i utställningshallen aldrig blir kritisk där människor vistas, se figur 6.8. Figuren visar sikten i olika tvärsnitt i lokalen, olika färger motsvarar olika siktsträckor.



Figur 6.8. Sikten i lokalen vid tiden 900 sekunder. Som framgår i figuren blir sikten kritisk vid cirka 2/3 av lokalens höjd, vilket motsvarar cirka 3 meters. Detta kommer alltså inte att påverka eventuella personer i lokalen. Figuren visar vyn från den västra nedfarten.

6.4.5 Toxicitet

Det är komplicerat att göra uppskattningar av halten av giftiga ämnen. Detta då det är svårt att veta exakt vilka ämnen det är som deltar i förbränningen i verkligheten. Reaktionen är även förenklad och det är därför endast möjligt att beräkna ett fåtal förbränningsprodukter. Enligt *Brandskyddshandboken* (Brandteknik, 2005) sammanfaller kriterierna för toxicitet med kriteriet för brandgaslagrets höjd. Därför har ingen separat kontroll av toxicitetsnivåer genomförts.

6.4.6 Sammanfattning av kritiska förhållanden

På grund av lokalens mycket stora volym nås endast kritiska förhållande för brandgaslagrets höjd. Detta sker vid tretton minuter.

6.5 Tid till utrymning

Många olika utrymningsscenarier kan tänkas uppstå. Den totala tiden till utrymning fås genom att addera varseblivningstiden och besluts- och reaktionstiden med förflyttningstiden, se avsnitt 4.1.2. Hur tiderna tagits fram presenteras i avsnitten nedan. Tiden till utrymning blev cirka tio minuter.

6.5.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden är 18 sekunder, vilket är aktiveringstiden för rökdetektorn som aktiverar först. Den fås från simuleringen i FDS, där rökdetektorer placerats ut på samma platser som i verkligheten.

6.5.2 Beslut- och reaktionstid

Beslut- och reaktionstiden är hämtad ur *Tid för utrymning vid brand* (Frantzich, 2001). Tiden är individuell och varierar, därför användes en normalfördelning i @risk med ett medelvärde på 210 sekunder och en standardavvikelse på 15 sekunder.

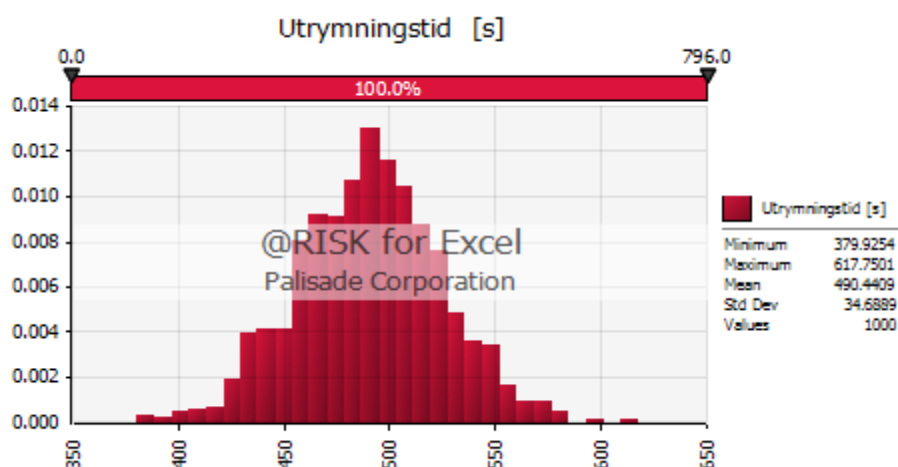
6.5.3 Förflyttningstid

Förflyttningstiden har simulerats i programmet Simulex. Indata till programmet, förenklingar och antaganden presenteras i bilaga D.

För detta scenario har förflyttningstiden simulerats till 260 s. Då har 600 personer varit jämnt fördelade i lokalen och sju personer av dessa har varit placerade på plan 2 i verkstaden. 109 personer använde västra nedfarten för att ta sig till en utrymningsväg och resterande använde sig av östra nedfarten. Detta på grund av att alla kom in genom östra nedfarten och därför är det troligt att majoriteten även går ut där.

6.6 Utrymningsresultat

Simuleringarna i @risk visar att alla hinner ut innan kritiska förhållanden uppstår, se figur 6.9. Detta är under förutsättning att besökarna hittar ut och går rätt väg direkt, vilket kräver tydligt markerade utrymningsvägar.



Figur 6.9. Andel simulerade utrymningstider som är kortare än tid till kritiska förhållanden.

Om östra nedfarten blir blockerad och därmed den naturliga utgången otillgänglig, dit det är troligt att huvuddelen av besökarna främst skulle söka sig till vid en utrymningssituation, skulle detta förändra förflyttningssmönstret och därmed tiden. I Simulex har förflyttningstiden för 600 personer (jämnt fördelade) tagits fram då östra nedfarten är blockerad och besökarna tvingas använda den västra. Detta ökar förflyttningstiden till lite under tretton minuter, men den totala utrymningstiden understiger fortfarande tiden till kritiska förhållanden.

6.7 Verifiering

Det finns ett flertal olika metoder att verifiera resultaten som fås från FDS. Dessa metoder presenteras nedan.

6.7.1 Handberäkning

På grund av lokalens mycket stora öppna volym och dimensioner är majoriteten av de handberäkningsmodeller som finns tillgängliga inte giltiga. Det har således inte varit möjligt att genomföra några större kontroller mot handberäkningar.

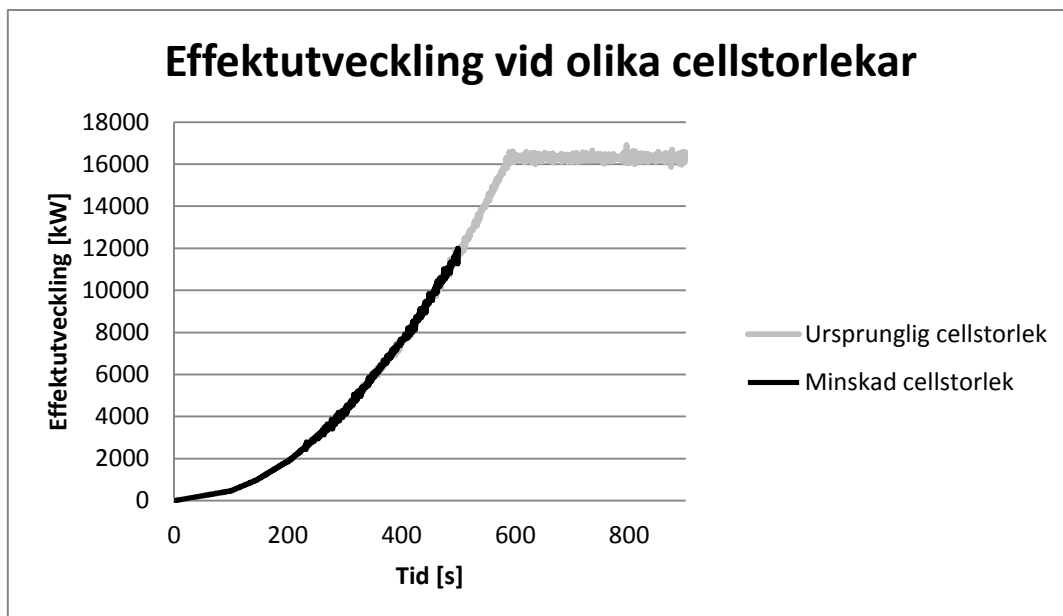
Enligt beräkning i bilaga C är luften som finns tillgänglig i lokalen när den är helt stängd, tillräcklig för att hålla branden på maximal effektutveckling i 43 minuter. Detta gäller under förutsättning att gaserna är fullständigt omblandade. Branden är alltså bränslekontrollerad och detta stämmer överens med resultaten från simulering i FDS. Detta är bra då FDS fungerar dåligt för en brand som är ventilationskontrollerad. Detta syns tydligt i figur 6.10 nedan som visar brandens effektutveckling under hela simuleringen.

6.7.2 CFAST

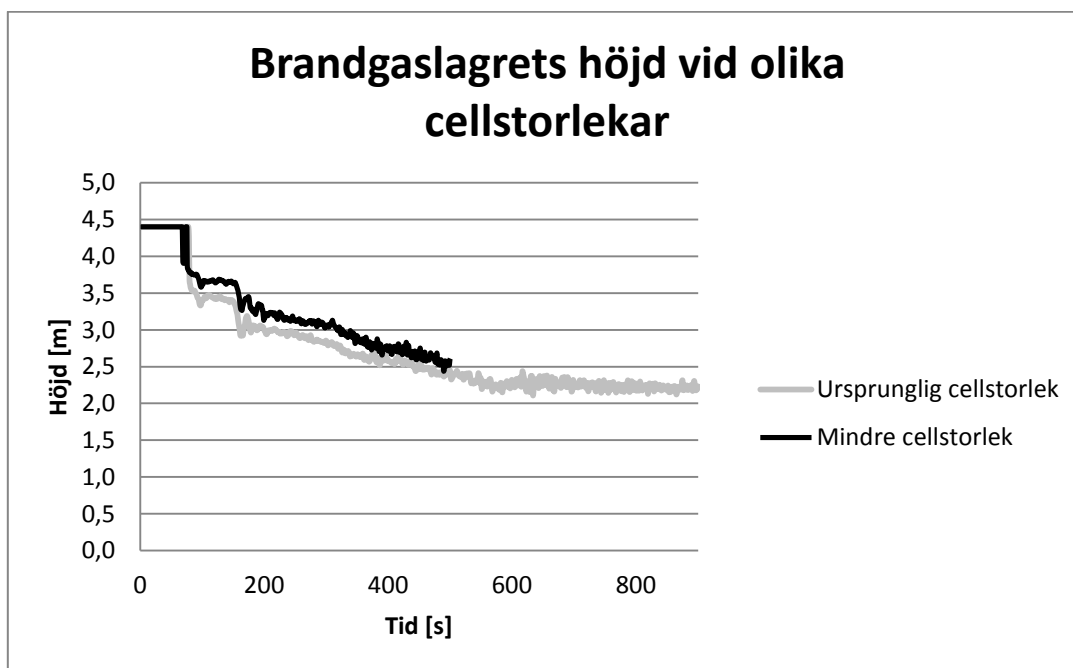
CFAST, som är en vanlig tvåzons-modell, används inte för att verifiera resultaten från FDS, eftersom det inte är lämpligt i denna typ av lokal. Utställningshallen är för stor för att det ska vara lämpligt att använda en tvåzonsmodell, och programmet skulle därför inte ge några tillförlitliga värden. CFAST och dess begränsningar förklaras närmare i bilaga B.

6.7.3 FDS

För att verifiera resultaten från simuleringen i FDS genomfördes ytterligare en simulering där cellstorleken minskats. Detta för att kontrollera om simuleringen är oberoende av cellstorleken. Endast i skepp 5 där branden äger rum har cellstorleken ändrats. I den ursprungliga simuleringen var skepp 5 uppbyggt med kubiska celler med sidan 20 centimeter. I den simuleringen med mindre cellstorlek minskas cellstorleken till 10 centimeter i skepp 5. I figur 6.10 redovisas effektutvecklingen för båda simuleringarna. Av denna framgår det att effektutvecklingarna näst intill identiska i båda simuleringarna. I figur 6.11 redovisas brandgaslagrets höjd för båda simuleringarna. Det framgår att resultatet är väldigt lika för båda simuleringarna. Dessa resultat innebär att en minskad cellstorlek endast påverkar marginellt och resultaten från den ursprungliga simuleringen är bra. Simuleringen med minskad cellstorlek simulerades endast i cirka åtta minuter. Detta anses inte vara något problem då det inte är troligt att resultaten ändras senare i simuleringen.



Figur 6.10. Visar effektutvecklingen från FDS med olika cellstorlekar.



Figur 6.11. Visar brandgaslagrets höjd i brandrummet (punkt 2) vid olika cellstorlekar.

6.7.4 DETACT-QS

För att verifiera aktiveringstiderna för rökdetektorerna från FDS används DETACT-QS. För att beräkna aktiveringstiden i DETACT-QS antas en temperaturökning som krävs för aktivering. Då det är oklart vilken temperaturökning som krävs utförs beräkningar för tre olika värden. Resultatet visas nedan i tabell 6.1, beräkningarna redovisas i bilaga E.

Tabell 6.1. Aktiveringstiden för olika aktiveringstemperaturer.

Aktiveringstemperatur [°C]	Aktiveringstid [s]
33	55
29	42
25	28

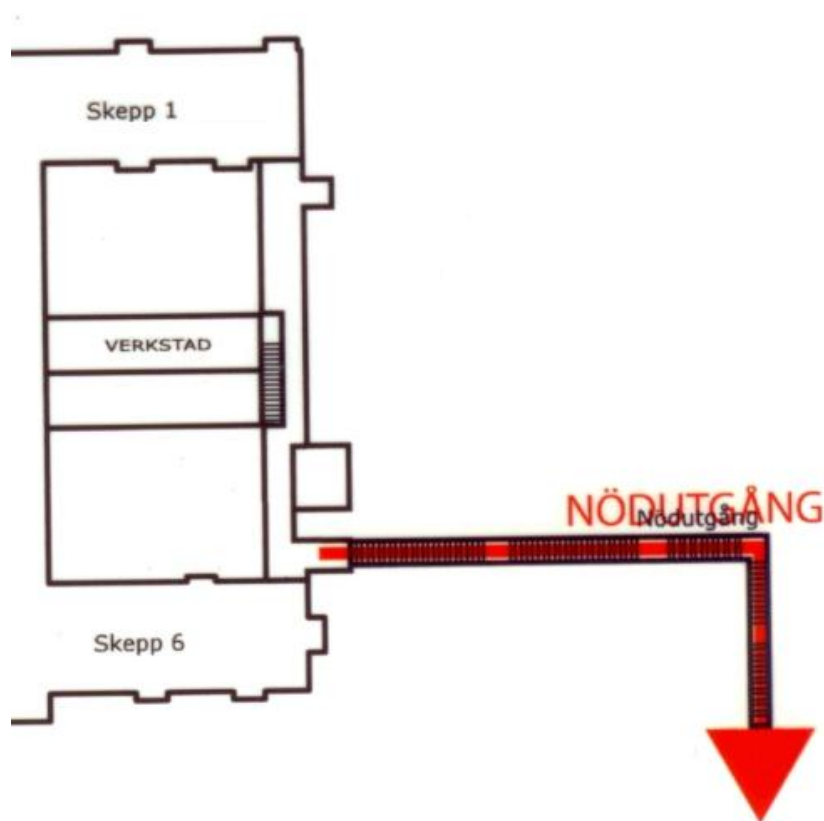
Aktiveringstiden från FDS är 18 sekunder. Tabell 6.1 visar att tiderna från de olika programmen skiljer sig, FDS ger en märkbart kortare aktiveringstid. I DETACT-QS sker uppvärmningen av detektorn endast av brandgaserna som flödar i taket, och bortser från eventuella brandgaser som samlas i rummet. Aktiveringstiden kommer därför att vara kortare i verkligheten än vad programmet föreslår vilket tyder på att aktiveringstiden från FDS kan stämma. Oavsett om aktiveringstiden i verkligheten skulle vara närmare en minuthar besökarna cirka 4,5 minuter på sig att ta sig ut innan kritiska förhållanden uppstår enligt det realistiska fallet.

7 Brandscenario 2 – Brand i korridor bakom verkstad

Detta kapitel behandlar ett brandscenario där en brand uppstår i korridoren bakom verkstaden.

7.1 Beskrivning

I korridoren finns mycket möbler, datorutrustning och annan materiel staplad längs sidorna. Detta innebär en hög brandbelastning med möjlighet till snabb tillväxt. I korridoren på plan 2 finns värmedetektorer som aktiverar vid en temperatur på 60 °C. I korridoren på nedre plan bakom verkstaden finns värmedetektorer, men det är oklart exakt var dessa är placerade. Korridoren bakom verkstaden och verkstaden är egna brandceller, men under öppettider är dörren till trappan som leder upp till övervåningen av verkstaden öppen. Denna dörr saknar dörrstängare och således är brandcellerna inte intakta. Det är troligt att en del besökare befinner sig där eftersom det är där toaletten är lokaliserad. En brand i korridoren skulle innebära att nödutrymningstrappan blir blockerad, se figur 7.1.



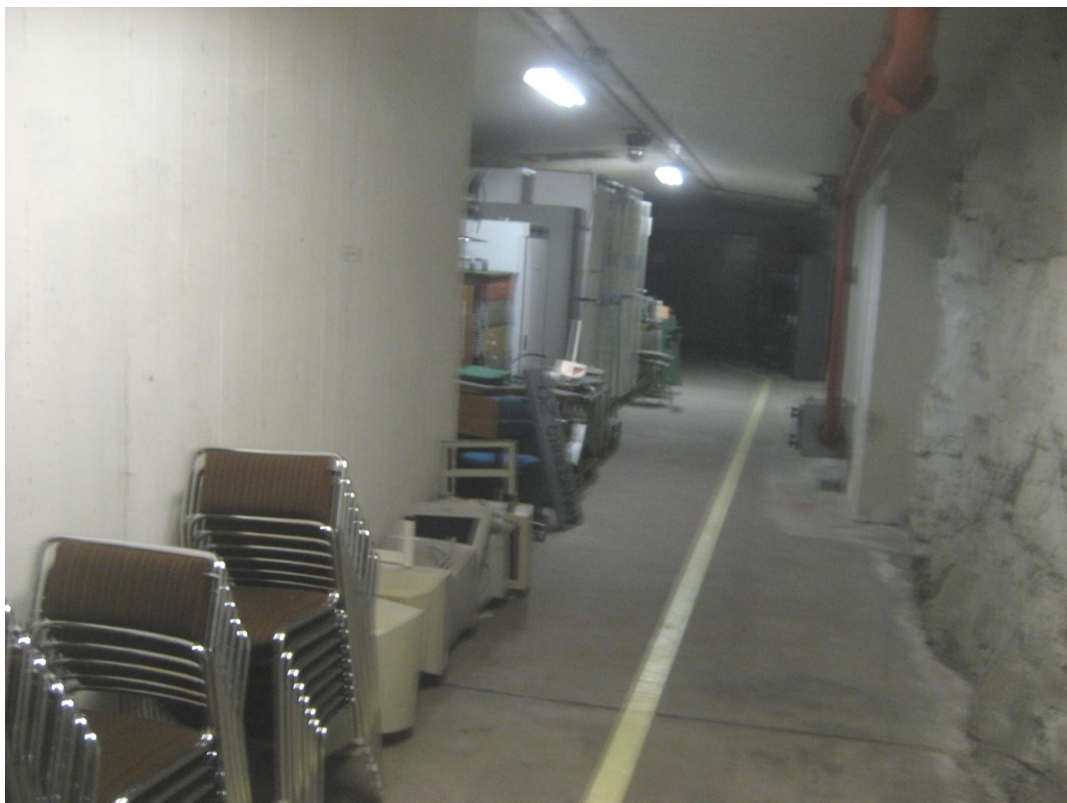
Figur 7.1. Ritning över korridoren bakom verkstaden samt utrymningstrappan. Källa: Aeroseum.

7.2 Brandförlopp

Den troligaste brandorsaken är en anlagd brand, andra brandorsaker kan vara ett överhettat lysrör som antänds eller något annat elektriskt fel. Då brännbart materiel är staplat hela vägen längs ena långsidan har en brand stor möjlighet att spridas snabbt i båda riktningar från antändningspunkten. Figur 7.1, figur 7.2 och Figur 7.33 visar korridoren i öst- och västlig riktning.



Figur 7.1. Korridorens östra ände.



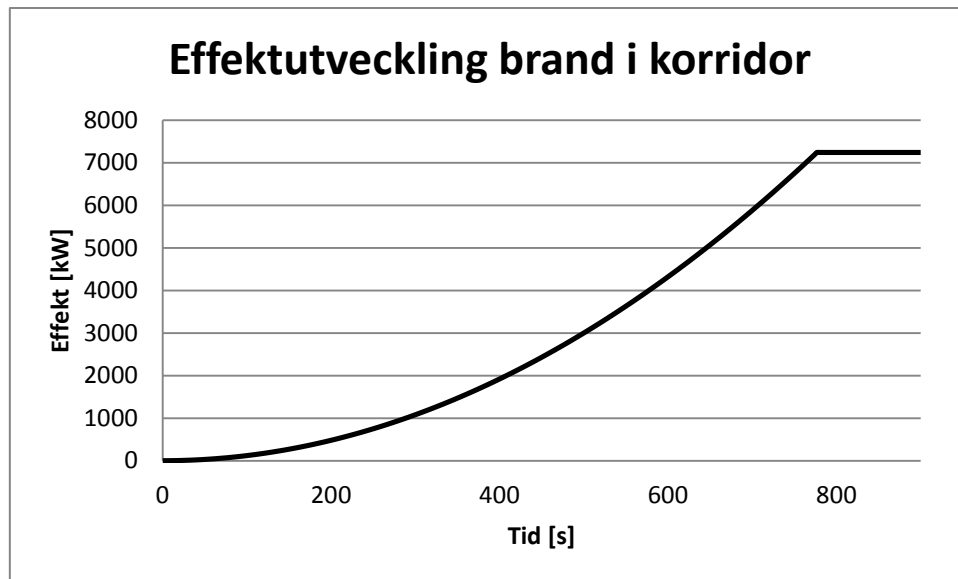
Figur 7.2. Korridorens västra ände.



Figur 7.3. Korridorens västra ände, västra dörren.

7.3 Effektutveckling

I korridoren bakom verkstaden finns stolar staplade längs väggen och i ena änden av korridoren finns kontorsmateriel så som skrivbord och datorskärmar. Vid beräkning av effektutvecklingen är kontorsmaterielet approximerat till ett litet kontor och maxeffekten för de och de staplade stolarna är hämtat ut Initial Fires (Särdqvist, 1993). Den maximala effekten beräknas i bilaga D. Dörrarna från korridoren till övre planet står öppna och det gör även de som leder från övre planet ner igen på andra sidan. Detta är den enda vägen som luft kan strömma till branden och det är därför troligt att branden kommer att bli ventilationskontrollerad. Den maximala effektutvecklingen är 7,2 MW. Tillväxtfasen antas ske enligt en αt^2 -kurva, se bilaga A för bakomliggande teori. Effektutvecklingen illustreras i figur 7.4. Brandscenariot simuleras i FDS, där effektutvecklingen ansätts enligt figur 7.4. För beskrivning av denna simulering se bilaga G.

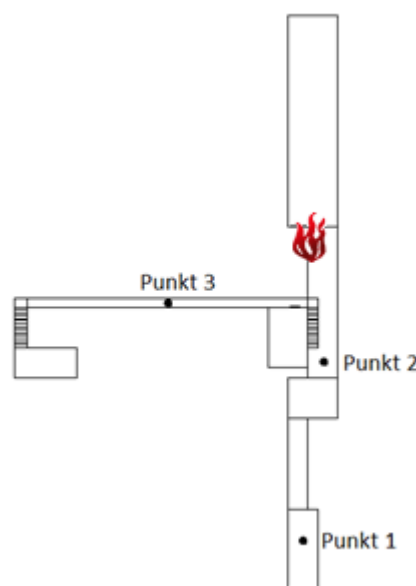


Figur 7.4. Den totala effektutvecklingen för branden i korridoren. Detta är effektkurvan som användes i FDS-simuleringen.

α -värde har ansatts till $0,012 \text{ kW/s}^2$. Ur *Enclosure Fire Dynamics* (Karlsson & Quintiere, 2000) framgår att tillväxthastigheter för bränder i liknande objekt (exempelvis stolar) är strax under eller strax över medium (vilken är det α -värde som används). Därför anses att den ansatta tillväxthastigheten är rimlig och att det inte är troligt att den skulle kunna vara markant större.

7.4 Tid till kritiska förhållanden

Kritiska förhållanden förklaras närmare i avsnitt 4.1.1 *Kritiska förhållanden*. Kritiska förhållanden råder när ett av de gränsvärden som anges för temperatur, sikt, brandgaslagrets höjd, strålning och toxicitet nås, med vissa undantag för brandgaslagrets höjd. De mätpunkter som används i ett flertal tabeller och figurer illustreras i figur 7.5 nedan.



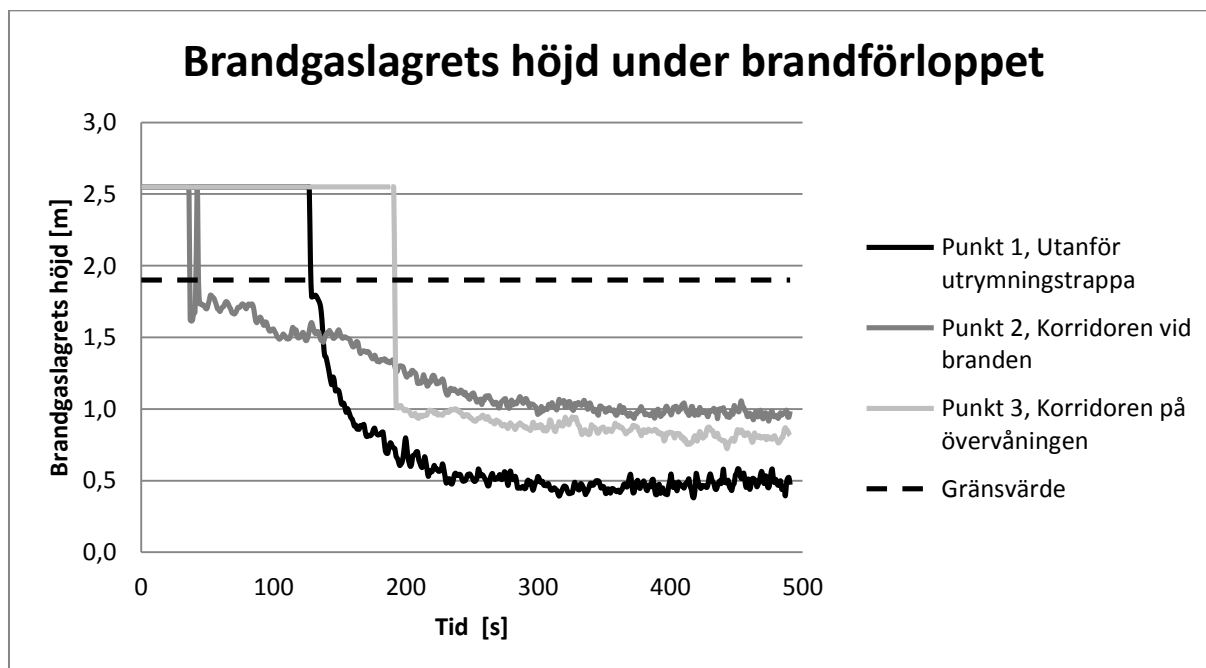
Figur 7.5. Illustration över mätpunkternas position i korridoren samt brandens placering.

7.4.1 Brandgaslagrets höjd

Gränsvärdet för brandgaslagrets höjd beräknas med ekvation 4.1. Korridoren har en takhöjd på cirka 2,5 meter.

$$\text{Gränsvärde} = 1,6 \text{ m} + 0,1 * 2,5 \text{ m} = 1,85 \text{ m} \approx 1,9 \text{ m}$$

I figur 7.6 illustreras brandgaslagrets höjd i tre olika punkter i korridoren. Dessa mätdata är tagna från simuleringen i FDS. I tabell 7.1 redovisas tiden till dess att brandgaslagrets höjd blir kritisk. Mätdata visas endast fram till den tidpunkt då branden blir ventilationskontrollerad.



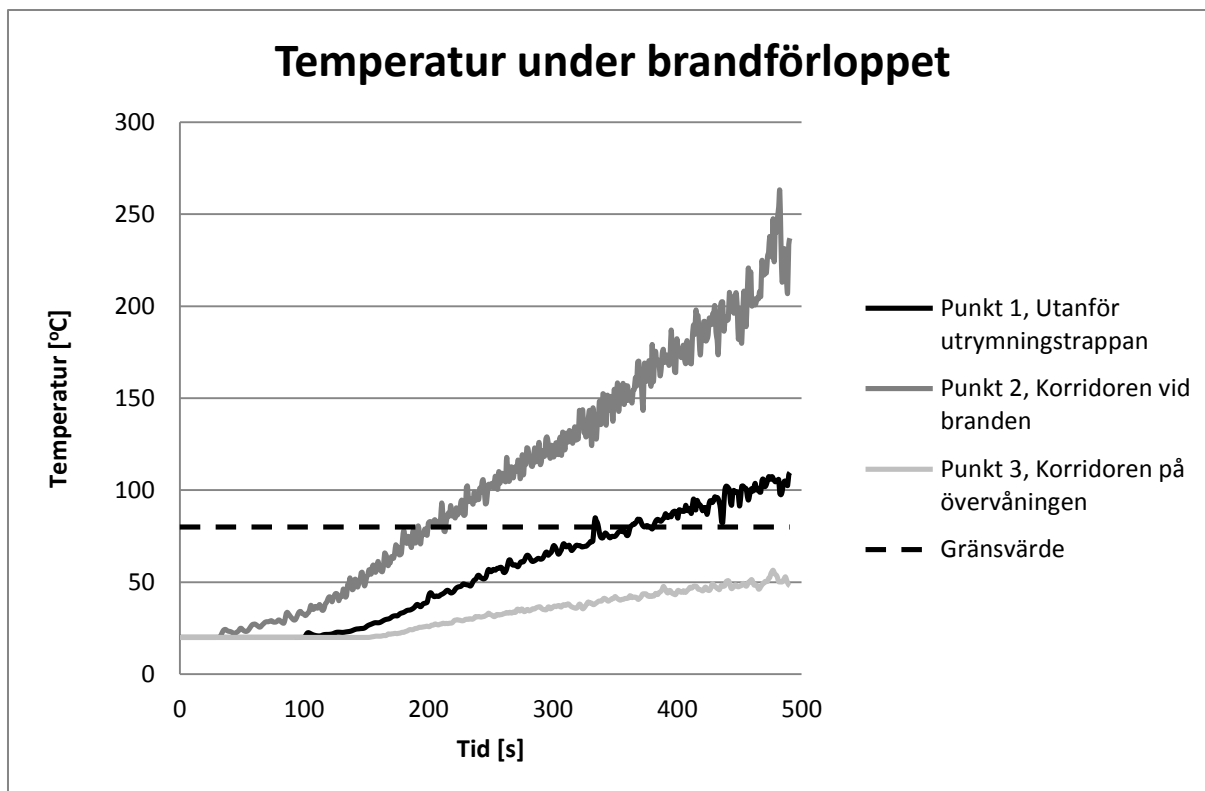
Figur 7.6. Brandgaslagrets höjd vid olika platser i lokalen, under brandförloppet.

Tabell 7.1. Tid till kritisk höjd på brandgaslaget.

Plats	Tid [s]
Punkt 1. Utanför utrymningstrappan	129
Punkt 2. Korridoren vid branden	37
Punkt 3. Korridoren på övervåningen	192

7.4.2 Temperatur

Gränsvärdet för kritisk temperatur är 80 °C. I figur 7.7 visas den uppmätta temperaturen vid olika punkter under simuleringen. Tiden till dess att denna kritiska temperatur nås redovisas i tabell 7.2. Denna temperatur är uppmätt vid höjden 1,8 meter över golvet. Mätdata visas endast fram till den tidpunkt då branden blir ventilationskontrollerad, detta för att FDS fungerar dåligt för ventilationskontrollerade bränder och ger icke tillförlitliga resultat.



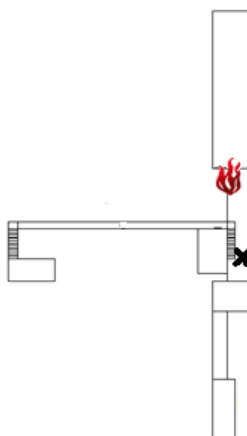
Figur 7.7. Brandgasernas temperatur vid olika platser i lokalen, under brandförloppet.

Tabell 7.2. Tid till kritisk temperatur, 80°C. *= denna tid är osäker då den inträffar då branden blivit ventilationskontrollerad.

Plats	Tid [s]
Punkt 1. Utanför utrymningstrappan	363
Punkt 2. Korridoren vid branden	192
Punkt 3. Korridoren på övervåningen	653*

7.4.3 Strålning

En person kan först se branden när han befinner sig i korridoren i höjd med dörren upp till ovanvåningen. Därför beräknas strålningen mot denna plats, nio meter bort, se bilaga D samt bilaga A för teori. Denna blir 0,9 kW/m² och är således inte kritisk, se figur 7.8. Det är även intressant att se hur stor strålningen är mot den dörr som leder in direkt till branden från skepp 2, utifall någon person skulle öppna denna dörr någon gång under brandförloppet. Då avståndet från branden till denna dörr är längre än nio meter kommer strålningen inte heller här att vara kritisk. Dessa beräkningar är konservativa då de är gjorda för brandens teoretiska maxeffekt, 7,2 MW. Denna nås aldrig då branden blir ventilationskontrollerad och således kommer strålningen att vara lägre.



Figur 7.8. Korridoren med brandens placering. En person som befinner sig vid krysset utsätts för $0,9 \text{ kW/m}^2$. Brandens placering beror på att det var på denna plats som valt bränsle var placerat vid objektsbesöket.

Tiden då strålningen från brandgaslagret blir kritisk utläses från simuleringen i FDS. Enligt handberäkning i bilaga D blir strålningen kritisk då brandgaslagret har en temperatur på 185°C . Detta motsvarar $2,5 \text{ kW/m}^2$ vilket är den högsta strålning som en person får utsättas för en längre tid, se kapitel 4. Tid till denna brandgastemperatur avläses ur simuleringen i FDS och redovisas i tabell 7.3. Vid dessa tidpunkter har brandgaslagrets höjd redan blivit kritiskt.

Tabell 7.3. Tid till kritisk strålning från brandgaslagret. *= denna tid är osäker då den inträffar då branden blivit ventilationskontrollerad.

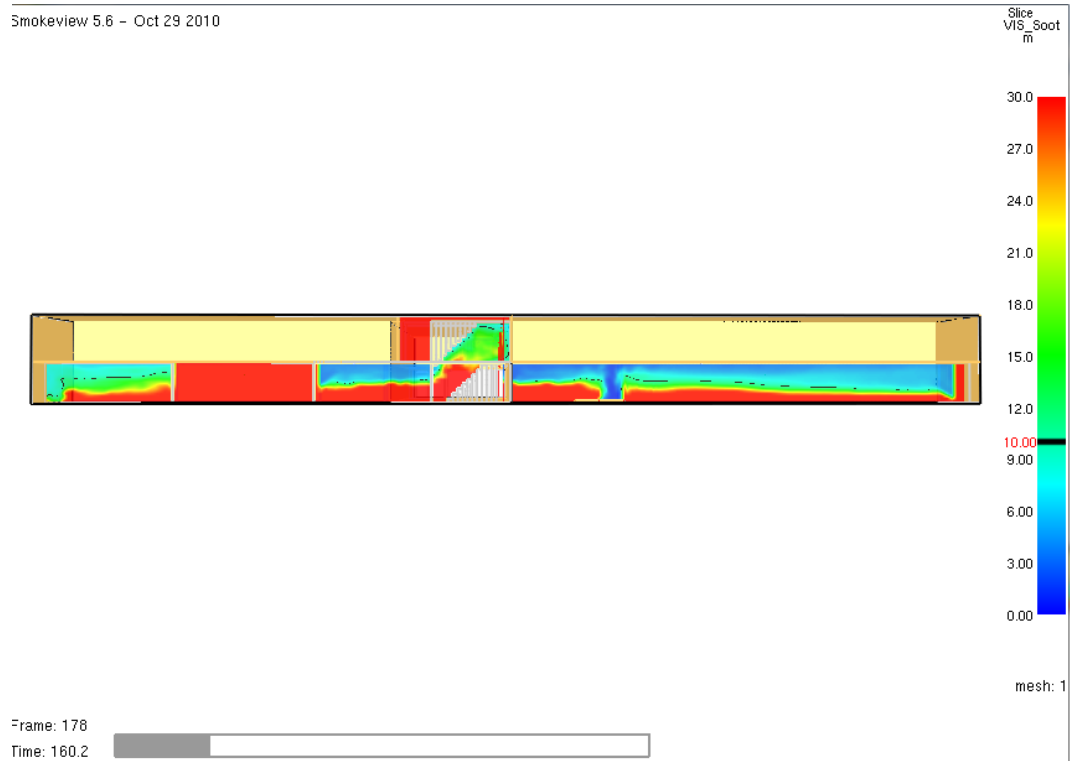
Plats	Tid [s]
Punkt 1. Utanför utrymningstrappan	Inträffar inte
Punkt 2. Korridoren vid branden	ca 420
Punkt 3. Korridoren på övervåningen	ca 660*

7.4.4 Sikt

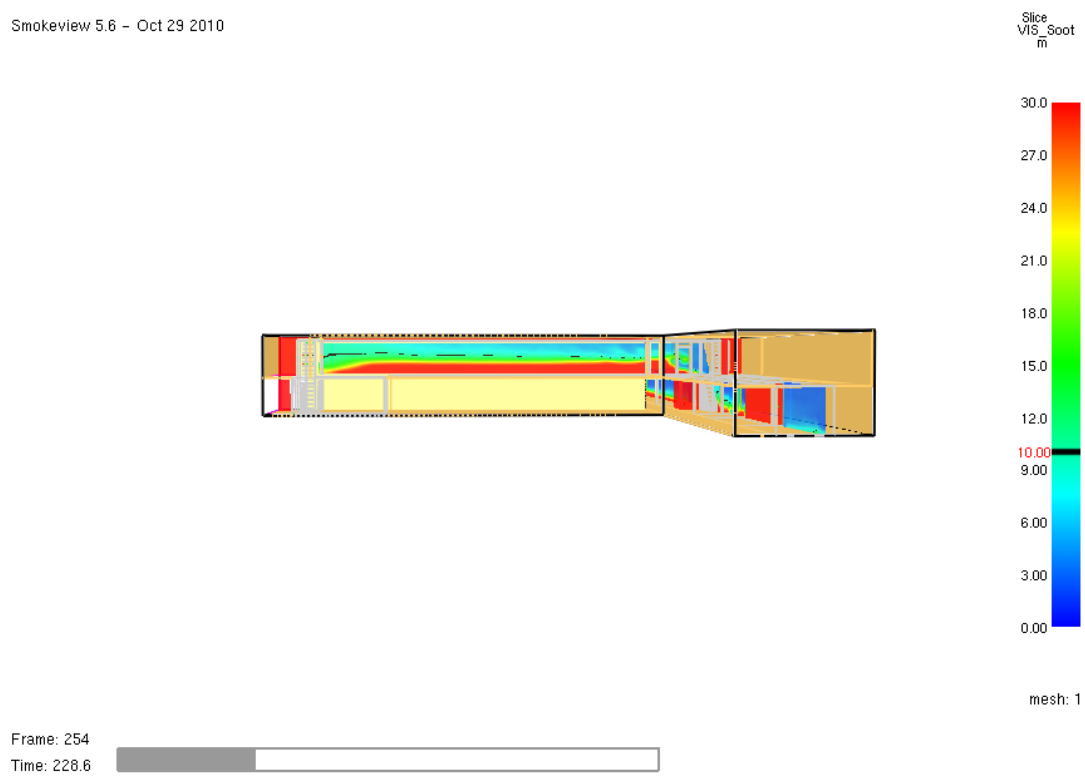
Enligt kapitel 4 blir sikten kritisk då den är mindre än 10 meter. För att bestämma när detta sker används simuleringen i FDS. Tiden till kritisk sikt redovisas i tabell 7.4. Figur 7.9 och 7.10 illustrerar tidpunkten för nedre respektive övre plan då sikten blir kritisk. Figurerna illustrerar sikten vid olika höjder, olika färger motsvarar olika lång siktsträcka.

Tabell 7.4. Tid till kritisk sikt.

Plats	Tid [s]
Korridoren, nedre plan	cirka 160
Korridoren, övre plan	cirka 230



Figur 7.9. Figuren visar den tidpunkt då sikten är kritisk på nedre plan.



Figur 7.10. Figuren illustrerar den tidpunkt då sikten är kritisk på övre plan.

7.4.5 Toxicitet

Det är komplicerat att göra uppskattningar av halten av giftiga ämnen. Detta då det är svårt att veta exakt vilka ämnen det är som deltar i förbränningen i verkligheten. Enligt Purser² sammanfaller kriterierna för toxicitet med kritisk sikt. Därför har ingen separat kontroll av toxicitetsnivåer genomförts.

7.4.6 Sammanfattning av kritiska förhållanden

I tabell 7.5 sammanfattas tiden till att nå de olika kritiska förhållandena. Den tid som används som tid till kritiska förhållanden är tiden till sikten blir kritisk. . Brandgaslagrets höjd blir kritisk tidigare men detta kan bortses från om ingen annan parameter är kritisk vid den tiden (Brandteknik, 2005).

Tabell 7.5. Sammanfattning av tiden att nå kritiska förhållanden. *= denna tid är osäker då den inträffar då branden blivit ventilationskontrollerad.

Plats	Brandgaslagrets höjd	Tid [s]		
		Temperatur	Strålning	Sikt
Punkt 1. Utanför utrymningstrappan	129	363	-	ca 160
Punkt 2. Korridoren vid branden	37	192	ca 420	ca 160
Punkt 3. Korridoren på övervåningen	192	653*	ca 660*	ca 230

7.5 Tid till utrymning

Den totala tiden till utrymning fås genom att addera varseblivningstiden och beslut- och reaktionstiden med förflyttningstiden. Hur tiderna tagits fram presenteras i avsnitten nedan. För att ta hänsyn till att tiderna inte är exakta utan kan variera har de, med hjälp av fördelningar i programmet @risk, simulerats och representativa tider har fått fram. Från Simulex blev tiden till utrymning från korridoren och plan 2 blev 108 respektive 493 sekunder för detta scenario.

7.5.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden i korridoren är uppskattad till 10 sekunder. Detta på grund av att personer som befinner sig i korridoren med stor sannolikhet kommer att se branden eller röken.

Varseblivningstiden på plan 2 är densamma som detektorernas aktiveringstid då branden inte är synlig för personer som befinner där. Aktiveringstiden för värmedetektorerna är 187 sekunder och fås ur DETACT-QS. Denna beräkning redovisas i bilaga E. I simuleringarna i FDS har rökdetektorer använts och aktiveringstiden för dessa blev 23 sekunder. I vidare beräkningar har aktiveringstiden för värmedetektorerna använts.

7.5.2 Besluts- och reaktionstid

Besluts- och reaktionstiden anges som ett intervall mellan 45 och 75 sekunder och en medeltid på 60 sekunder för personer som ser branden (Frantzich, 2001) och triangelfördelning har använts i simuleringen.

²Professor David Purser, Hartford Environmental Research, föreläsning 2011-04-14

På plan 2 används en normalfördelning av besluts- och reaktionstiden med ett medelvärde på 210 sekunder och en standardavvikelse på 15 sekunder. Tiden gäller för personer som inte ser branden och där utrymningslarmet består av ringklockor (Frantzich, 2001).

7.5.3 Förflyttningstid

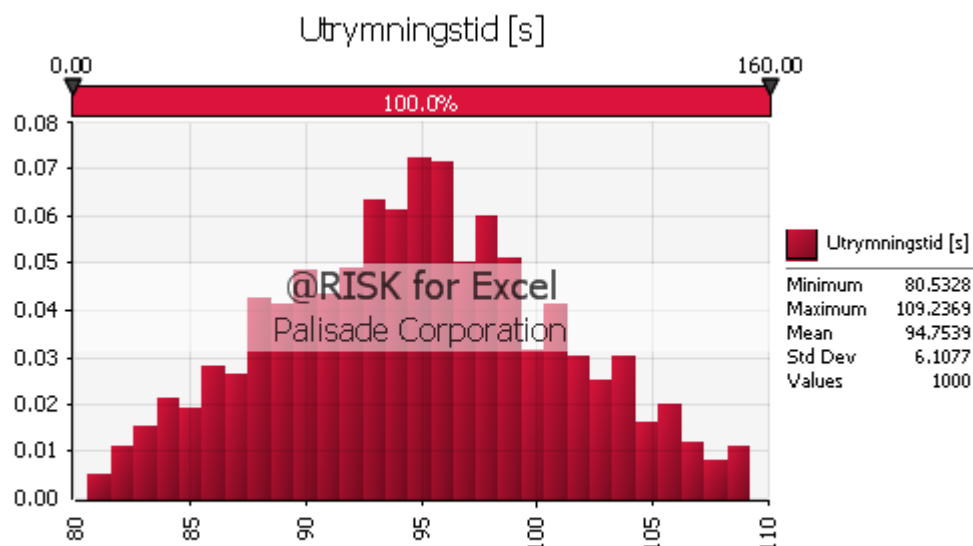
Förflyttningstiden har simulerats i programmet Simulex. Indata till programmet, förenklingar och antaganden presenteras i bilaga F. Nödutrymningstrappan anses vara otillgänglig då branden blockerar så de personer som befinner sig i korridoren och på plan 2 utrymmer genom nedfarterna. Förflyttningstiden i korridoren och på plan 2 är den tid det tar för personerna att utrymma till en annan brandcell.

I korridoren blev förflyttningstiden simulerad till 25 sekunder då fyra personer vistades där.

På plan 2 simulerades tiden till 52 sekunder då sju personer befann sig där.

7.6 Utrymningsresultat

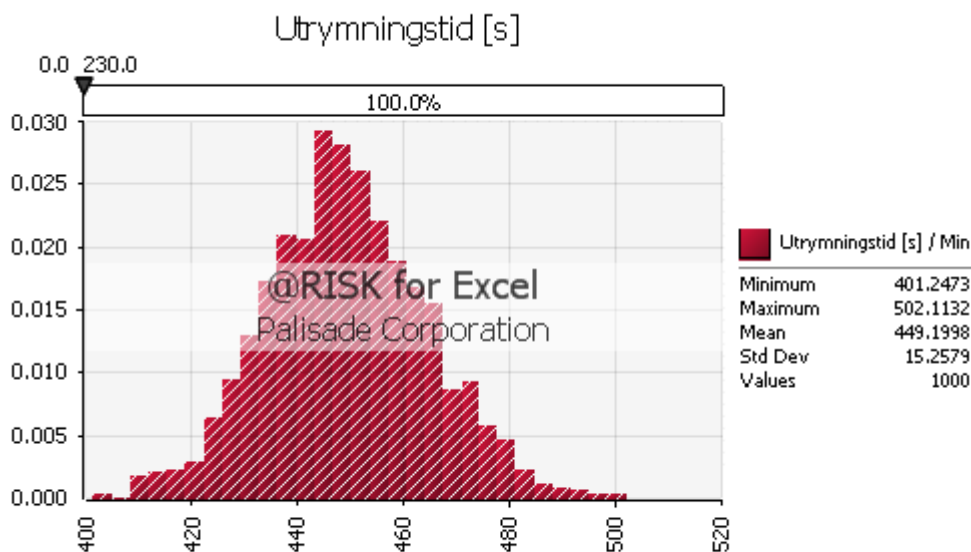
För att alla personer ska hinna utrymma krävs att utrymningstiden är kortare än tiden till kritiska förhållanden. I korridoren uppfylls detta då kritiska förhållanden uppstår efter nästan tre minuter medan utrymningstiden nästan är två minuter, se figur 7.11. Diagrammet visar att den snabbaste utrymningstiden är lite mer än en minut medan det tar nästan två minuter i de sämsta fallen. Oavsett om den snabbaste tiden använts som referenstid hade antalet som hinna utrymma varit 100 procent. Staplarna i diagrammet visar de olika simulerade utrymningstiderna och här ses tydligt att 100 procent av de simulerade tiderna är kortare än tiden till kritiska förhållanden som nästan tre minuter.



Figur 7.11. Simulerade utrymningstider som är kortare än tid till kritiska förhållanden i korridoren.

För plan 2 är utrymningstiden cirka åtta minuter och kritiska förhållanden uppstår efter cirka fyra minuter, se figur 7.12. Staplarna i diagrammet visar de simulerade utrymningstiderna. De kortaste utrymningstiderna är lite under sju minuter medan de längsta är mer än åtta minuter.

Det syns här tydligt att samtliga simulerade utrymningstider är längre än tiden till kritiska förhållanden på cirka fyra minuter.



Figur 7.12. Simulerade utrymningstider som är längre än tid till kritiska förhållanden på plan 2.

7.7 Verifiering

Det finns ett flertal olika metoder att verifiera resultaten som fås från FDS. Dessa metoder presenteras nedan.

7.7.1 Handberäkningar

På grund av korridorrens komplicerade geometri och stora volym är majoriteten av tillgängliga handberäkningsmodeller inte giltiga. Det har således inte varit möjligt att genomföra några större kontroller mot handberäkningar.

Handberäkningar i bilaga B ger att branden i korridoren blir ventilationskontrollerad vid 3,6 MW, under förutsättning att lokalen är stängd. Detta stämmer relativt väl överens med simuleringen i FDS. I figur 7.13 nedan framgår att branden blir ventilationskontrollerad vid 3 MW.

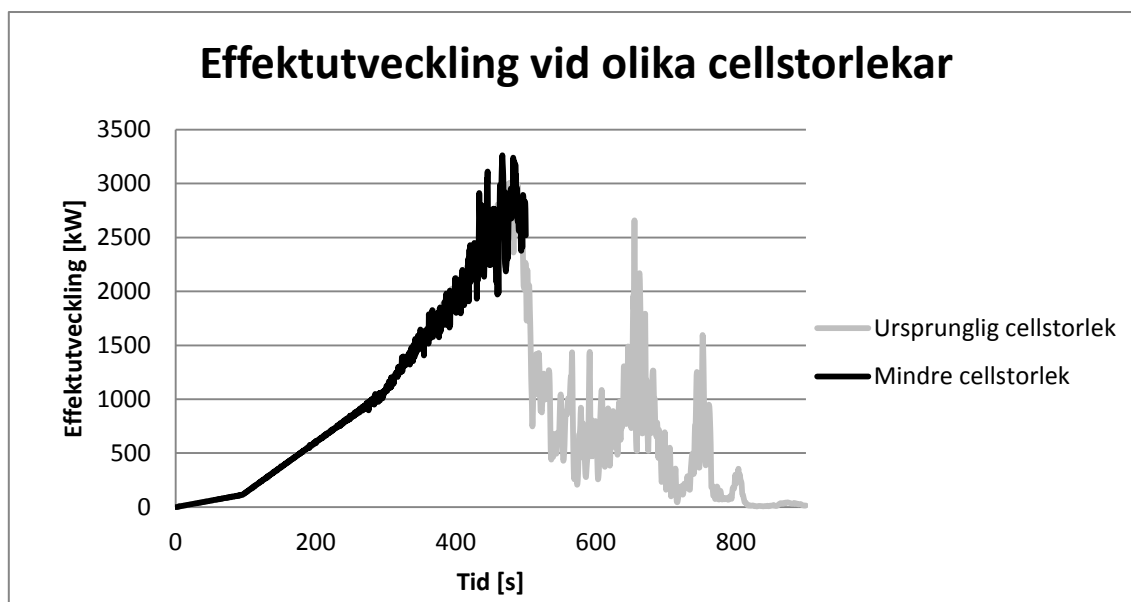
7.7.2 CFAST

CFAST, som är en vanlig tvåzonsmodell, används inte för att verifiera resultaten från FDS eftersom det inte är lämpligt i denna typ av lokal. Programmet är inte lämpligt att använda i lokaler där skillnaderna mellan längd, bredd och höjd är för stora, vilket de är i korridoren. CFAST och dess begränsningar förklaras närmare i bilaga B.

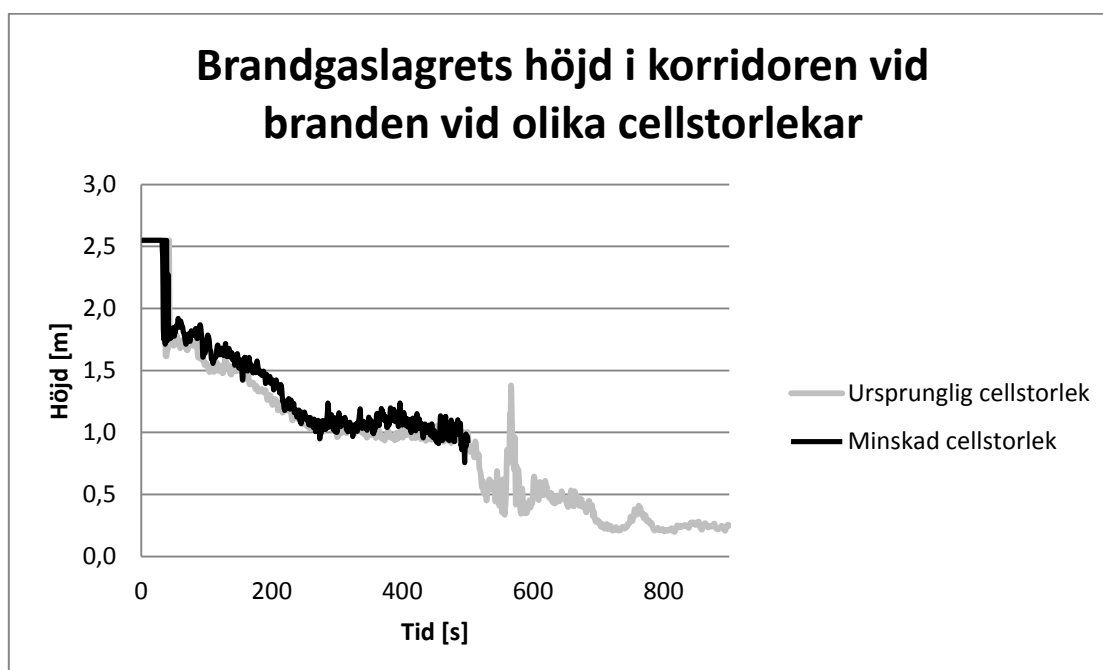
7.7.3 FDS

För att verifiera resultaten från simuleringen i FDS genomfördes ytterligare en simulering där cellstorleken minskats. Detta för att kontrollera om simuleringen är oberoende av cellstorleken. I den ursprungliga simuleringen byggdes hela geometrin upp med kubiska celler med sidan 15 cm. I den simuleringen med mindre cellstorlek minskas cellstorleken till 7,5 cm

i nedre våningen där branden är. I figur 7.13 redovisas effektutvecklingen för båda simuleringar. Av denna framgår det att effektutvecklingarna är näst intill identiska i bägge simuleringar. I figur 7.14 redovisas brandgaslagrets höjd för båda simuleringar, skillnaden mellan simuleringarna är mycket liten. Då det framgår ur resultaten att skillnaderna mellan simuleringarna är mycket små innebär det att simuleringarna är celloberoende. Simuleringen med minskad cellstorlek kördes endast i åtta minuter. Detta anses inte vara något problem då det inte är troligt att resultaten ändras senare i simuleringen.



Figur 7.13. Illustrerar effektutvecklingen för simuleringarna med olika cellstorlekar.



Figur 7.14. Brandgaslagrets höjd för simuleringarna med olika cellstorlekar.

7.7.4 DETACT-QS

För att verifiera aktiveringstiderna för rökdetektorerna från FDS används DETACT-QS. För att beräkna aktiveringstiden i DETACT-QS antas en temperaturökning som krävs för aktivering. Då det är oklart vilken temperaturökning som krävs utförs beräkningar för tre olika värden.

I själva verket finns det värmedetektorer i korridoren som aktiverar vid temperaturen 60 °C. Även beräkningar för detta har utförts i DETACT-QS. Resultatet visas nedan i tabell 7.6 och beräkningarna redovisas i bilaga E.

Tabell 7.6. Aktiveringstid för olika aktiveringstemperaturer. De tre översta värdena är för rökdetektorer medan det sista värdet är för en värmedetektor.

Aktiveringstemperatur [°C]	Aktiveringstid [s]
33	82
29	57
25	41
60	187

Aktiveringstiden från FDS är 23 sekunder. Tabell 7.6 visar att aktiveringstiden från FDS är betydligt kortare än aktiveringstiden från DETACT-QS. I DETACT-QS sker uppvärmningen av detektorn endast av brandgaserna som flödar i taket och bortser från att brandgaser ansamlas i rummet och fortsätter påverka uppvärmningen. Aktiveringstiden kommer därför att vara kortare i verkligheten än vad programmet föreslår vilket tyder på att aktiveringstiden från FDS kan stämma. Viktigt att anmärka är att aktiveringstiden för värmedektorn är betydligt längre, mer än tre minuter.

För simuleringarna i korridoren antas en varselblivningstid på 10 sekunder på grund av att personer som befinner sig i korridoren med stor sannolikhet kommer att se branden. Trots den korta tiden hinner personerna inte ut innan kritiska förhållanden uppstår. Detta medför att utrymningsresultaten inte ändras något ifall varselblivningstiden ökar.

Utrymningstiden för personer som befinner sig på plan 2 blir längre än tiden till kritiska förhållanden vare sig varselblivningstiden är cirka en halv minut (från FDS) eller cirka tre minuter (från DETACT-QS). Detta betyder att utrymningsresultatet blir det samma för detta brandscenario och att personerna inte hinner ut i något av fallen.

8 Känslighetsanalys

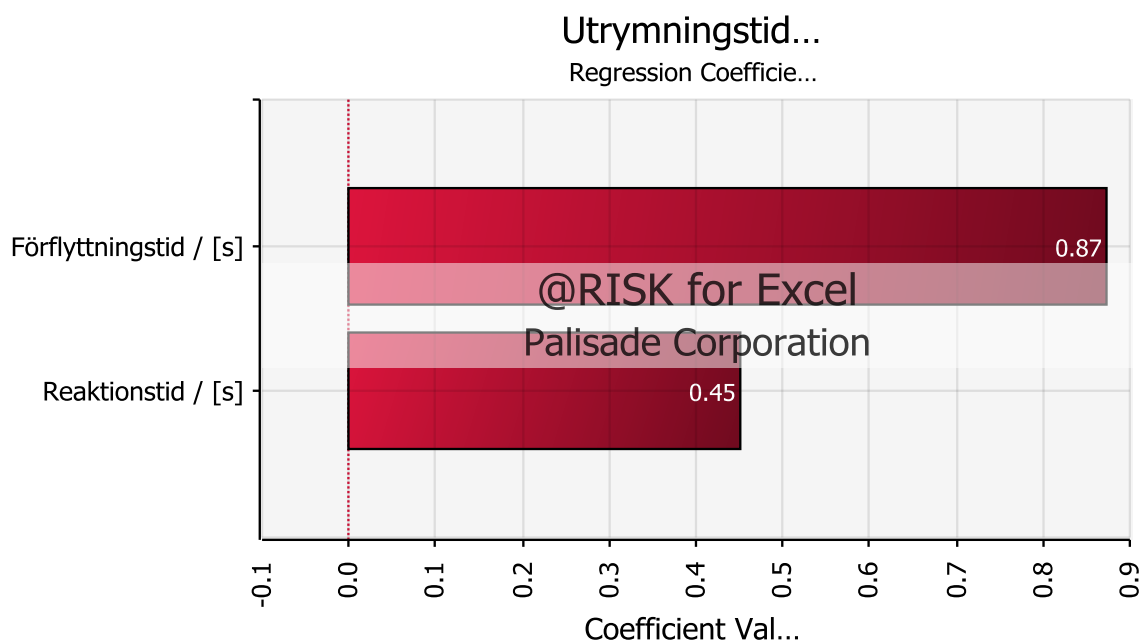
I detta kapitel presenteras de osäkerheter som finns i beräkningar och datormodeller, samt en analys av den påverkan dessa har på resultatet.

8.1 Utrymning

En känslighetsanalys har genomförts av tiden till utrymning. Variabler som har undersökts är:

- Besluts- och reaktionstid
- Förflyttningstid

Av dessa två är den sistnämnda den som är längst, och alltså har störst inverkan på den totala utrymningstiden, se figur 8.1. Där har känslighetsanalys från brandscenario 1 använts.



Figur 8.1. Känslighetsanalys över utrymningstiden som visar att förflyttningstiden har störst betydelse för den totala utrymningstiden.

Av förflyttningstiden, som tagits fram genom simuleringar i programmet Simulex, genomfördes en vidare känslighetsanalys för att undersöka vilka variabler som har stor inverkan på denna. De variabler som undersöktes var:

- Antal personer som utrymmer
- Persontyp
- Tillgängliga utrymningsvägar
- Placering av personerna

Känslighetsanalysen visade att antalet personer spelade en mindre roll på utrymningstiden, se tabell 8.1. Detta beror på de långa avstånden besökarna behöver gå innan de når utgångarna. Däremot visade den att persontypen, se tabell 8.4, och därmed gånghastigheten, var av stor vikt. Placering av personerna i lokalen och i förhållande till varandra spelade också roll, se tabell 8.2.

Tabell 8.1. Förflyttningstidens variation beroende på antalet personer.

Antal personer	Förflyttningstid [min:s]
100	2:40
600	2:54
1200	3:14

Tabell 8.2. Hur personernas placering påverkar förflyttningstid. Simulering med 600 personer.

Placering	Förflyttningstid [min:s]
Jämnt fördelade	2:46
Konsert	4:03
Långbord	2:34

Vilka utrymningsvägar som fanns tillgängliga gav olika resultat, se tabell 8.3. Känslighetsanalysen presenteras i sin helhet i bilaga F.

Tabell 8.3. Förflyttningstiden beror på vilka utrymningsvägar som finns tillgängliga. Simulering med 600 personer.

Tillgängliga utrymningsvägar	Förflyttningstid [min:s]
Endast Östra	2:46
Endast Västra	4:53

Tabell 8.4. Vilken persontyp som används påverkar förflyttningstiden. Simulering med 600 personer.

Persontyp	Gånghastighet [m/s]	Förflyttningstid [min:s]
Vuxna män	1,35 ($\pm 0,2$)	2:31
Äldre	0,8 ($\pm 0,37$)	6:09

8.2 Brandscenarierna

Resultatet som fås från simuleringarna är tiden till kritiska förhållanden. Här genomförs en känslighetsanalys i form av en diskussion kring olika variablers inverkan på denna tid. De variabler som undersöks är följande:

- Effektutveckling
- Sotproduktion
- Tillväxthastighet

8.2.1 Brandscenario 1 – Brand i förråd i skepp 5

Nedan presenteras känslighetsanalysen som genomförts på brandscenario 1.

Resultatet för detta scenario är att tiden till kritiska förhållanden är förhållandevis lång, och överstiger tiden för utrymning.

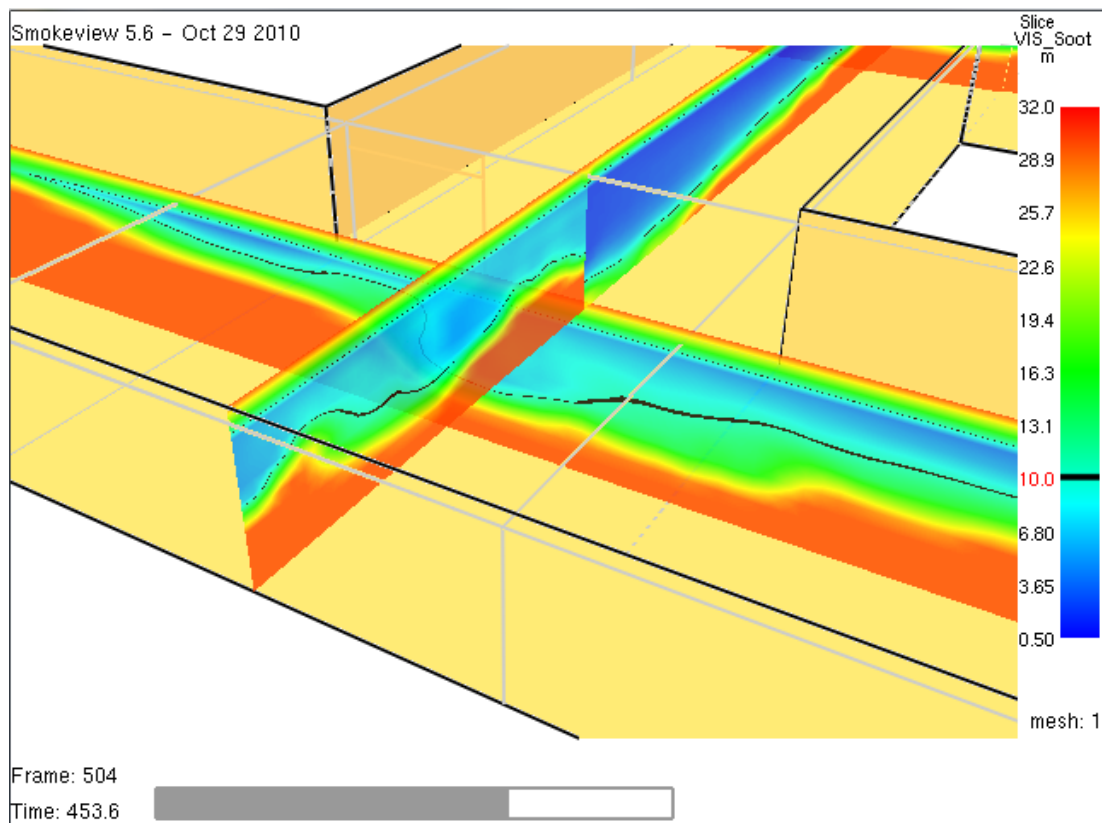
En osäkerhet i detta brandscenario är att Aeroseums ventilation inte har beaktats. Detta har inte genomförts då underlag för ventilationen saknas. Det är tänkbart att ventilationen hade ökat omblandningen av brandgaser och gett något annorlunda förhållanden i lokalen.

8.2.1.1 Effektutveckling

Effektutvecklingen som används är 16,3 MW. En högre effektutveckling innebär att tiden till kritiska förhållanden minskar, om inte kritiska förhållanden inträffar innan maximal effektutveckling nås. Effektutvecklingskurvan, se avsnitt 6.3, visar att det tar cirka 10 minuter innan effektutvecklingen når 16,3 MW. Det har visats att den längsta tiden det tar att helt utrymma anläggningen understiger detta. Då en ökad effektutveckling inte påverkar tillväxthastigheten kommer personerna hinna ut före den högre effektutvecklingen påverkar brandförloppet. Att minska effektutvecklingen skulle öka tiden till kritiska förhållanden. Resultaten är således konservativa med effektutvecklingen 16,3 MW. Det anses inte vara rimligt att en brand i Aeroseum kan ha en högre effektutveckling.

8.2.1.2 Produktion av sot

För att kontrollera hur stor påverkan en ökad sotproduktion skulle ha på tiden till kritiska förhållanden har en extra simulering gjorts där sotproduktionen ökats med 50 procent (från 0,0590 g/g till 0,0885 g/g). Resultatet från denna simulering visar att kritisk sikt uppnås på någon plats för första gången vid cirka 450 sekunder (detta sker i caféet). Detta visas i figur 8.2. Då kritisk sikt inte nåddes under de 900 sekunder som den ursprungliga simuleringen varade har således värdet på sotproduktionen en stor inverkan på resultaten och bör därför väljas noggrant. I den ursprungliga simuleringen har detta värde ansatts till värdet för polypropen. Detta anses vara konservativt då större delen av effektutvecklingen utgörs av trä, som har en lägre sotproduktion än polypropen (DiNenno, 2002). Att ansätta hela bränslemängden till polypropen kommer således att ge en högre sotproduktion än i verkligheten.



Figur 8.2. Illustration över siktförhållandena i caféet då sikten blir kritisk. Figurerna illustrerar sikten vid olika höjder, olika färger motsvarar olika lång siktsträcka.

8.2.1.3 Tillväxthastighet

Ett α -värde på $0,047 \text{ kW/s}^2$ (benämns *fast*) har använts som tillväxthastighet. En tillväxthastighet som är *ultra fast* med värdet $0,19 \text{ kW/s}^2$ innebär att den maximala effektutvecklingen nås tidigare.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad \text{Ekvation 8.1}$$

$$\rightarrow t = \sqrt{\frac{16300 \text{ kW}}{0,19 \text{ kW/s}^2}} = 293 \text{ s}$$

En *ultrafast* tillväxt hade inneburit att den maximala effektutvecklingen på 16,4 MW hade upp nåtts efter 293 sekunder, se ekvation 8.1, jämfört med 591 sekunder för en *fast* tillväxt. Det är ungefär 300 sekunder snabbare. Det anses inte troligt att en snabbare tillväxthastighet skulle ge stora skillnader i tiden till kritiska förhållanden, detta argumenteras för nedan.

Den första parameter som blir kritisk vid en *fast* tillväxthastighet är brandgaslagrets höjd. Detta inträffar efter 800 sekunder. Eftersom en *ultrafast* tillväxthastighet når maximal effektutveckling efter 300 sekunder skulle brandgaslagrets höjd kunna bli kritisk efter 500 sekunder, det vill säga 300 sekunder tidigare.

Brandgaslagrets höjd är dock en parameter som kan bortses från om inte någon av de andra parametrarna är kritiska. För simuleringen med *fast* tillväxt blir ingen av annan parameter kritisk under den tid simuleringen sker, 900 sekunder. Sikten är då kritisk (understiger 10

meter) på 3 meter över golvet och temperaturen är långt under kritiska värden, se figur 6.7. Toxiciteten kan jämföras med sikten och är därmed inte heller kritisk efter 900 sekunder. Således är ingen annan parameter än brandgaslagrets höjd kritisk efter 900 sekunder. Det är därför inte troligt att en brand med en *ultrafast* tillväxthastighet skulle ge stora skillnader i tiden till kritiska förhållanden jämfört med en brand med en *fast* tillväxthastighet.

Tillväxthastigheten är vald utifrån värden från *Enclosure Fire Dynamics* (2000) och är satt för en brand i träpallar (*fast*), vilket bör stämma bra överens med den del av bränslet som utgörs av trälårar. Detta anses även vara rimligt för den del av bränslet som utgörs av mattor. Den del av bränslet som utgörs av mattor kommer i verkligheten att smälta och skapa en pölbrand. I *Enclosure Fire Dynamics* (2000) framgår att tillväxthastigheten för olika typer av pölbränder är antingen *fast* eller *ultrafast*. Användandet av tillväxthastigheten *fast* är således rimligt även här, framförallt då mattorna utgör cirka en tredjedel av den totala effektutvecklingen. Det är inte rimligt att ansätta en snabbare tillväxthastighet för hela bränslet, detta anses vara för konservativt.

8.2.1.4 Strålningsberäkning

I brandscenario 1 har flamman antagits ha en temperatur på 1200 °C, för motivering av detta antagande se bilaga A. Strålningen blir inte kritisk med denna temperatur då branden är placerad på den inre sidan av skåpen. Om flamtemperaturen antagits vara lägre skulle det således inte heller ge en kritisk strålning.

Om branden skulle vara placerad mellan öppningen till skepp 5 och skåpen blir strålningen kritisk då flamtemperaturen är 1200 °C. Även om flamtemperaturen antas vara lägre, 800 °C, blir strålningen kritisk, se beräkning nedan:

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

Med synfaktorn som beräknas i bilaga C blir då strålningen mot öppningen:

$$\dot{q}'' = \phi_{tot} \cdot \dot{q}''_{flamma} = 0,4672 \cdot 75 \text{ kW/m}^2 = 35 \text{ kW/m}^2$$

Vilken flamtemperatur som antas har således en inverkan på hur mycket strålning som en passerande person utsätts för, dock påverkar det inte huruvida strålningen blir kritisk eller inte.

8.2.2 Brandscenario 2 – Brand i korridor bakom verkstaden

Nedan presenteras känslighetsanalysen som genomförts på brandscenario 2.

8.2.2.1 Effektutveckling

Den maximala effektutvecklingen som används i korridoren är 7,2 MW. Då branden relativt snabbt blir ventilationskontrollerad genomförs en FDS-simulering där ytterligare en dörr till korridoren öppnas. Detta i syfte att undersöka om tiden till kritiska förhållanden påverkas om ventilationen är mycket större och därigenom kan möjliggöra en högre effektutveckling. Denna extra dörr gör att branden blir ventilationskontrollerad vid 4,8 MW. Av tabell 8.5 och tabell 8.6 framgår det att om ytterligare en dörr öppnas, påverkas inte tiden till kritisk brandgaslagerhöjd eller tiden till kritisk temperatur särskilt mycket.

Tabell 8.5. I tabellen redovisas tiderna till kritisk höjd för brandgaslagret för den ursprungliga simuleringen samt för simuleringen med en extra öppen dörr.

Plats	Tid ursprunglig simulering [s]	Tid simulering med öppen dörr [s]
Punkt 1, Utanför utrymningstrappan	129	127
Punkt 2, Korridoren vid branden	37	37
Punkt 3, Korridoren på övervåningen	192	196

Tabell 8.6. I tabellen redovisas tiderna till kritisk temperatur för den ursprungliga simuleringen samt för simuleringen med en extra öppen dörr.

Plats	Tid ursprunglig simulering [s]	Tid simulering med öppen dörr [s]
Punkt 1, Utanför utrymningstrappan	363	376
Punkt 2, Korridoren vid branden	192	201
Punkt 3, Korridoren på övervåningen	653*	639*

8.2.2.2 Tillväxthastighet

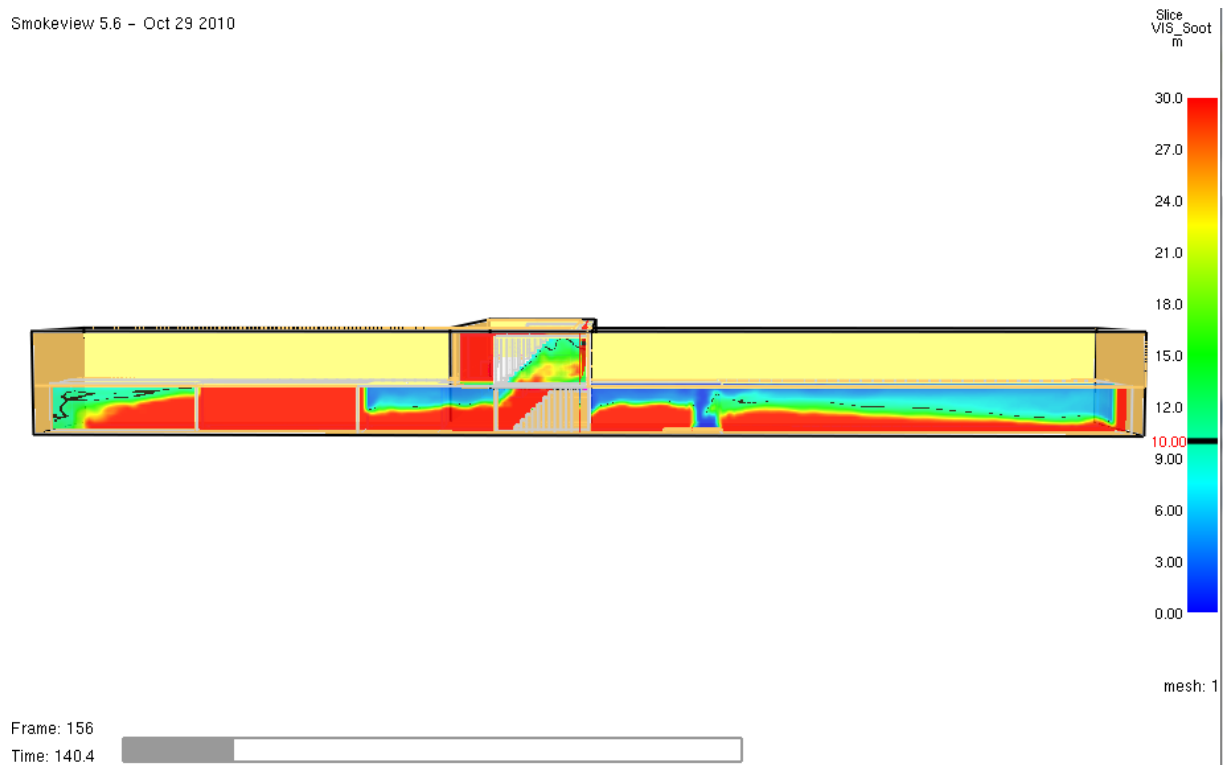
Ett α -värde på $0,012 \text{ kW/s}^2$ (benämns *medium*) har använts. Någon variation av brandens tillväxthastighet har inte genomförts. Ett högre värde på tillväxthastigheten skulle medföra att branden blir ventilationskontrollerad tidigare, samt att tiden till kritiska förhållanden blir kortare. Ur *Enclosure Fire Dynamics* (Karlsson & Quintiere, 2000) framgår att tillväxthastigheter för bränder i liknande objekt (exempelvis stolar) är strax under eller strax över *medium* (vilken är det α -värde som använts). Därför anses att den ansatta tillväxthastigheten är rimlig och att det inte är troligt att den skulle kunna vara markant större.

8.2.2.3 Produktion av sot

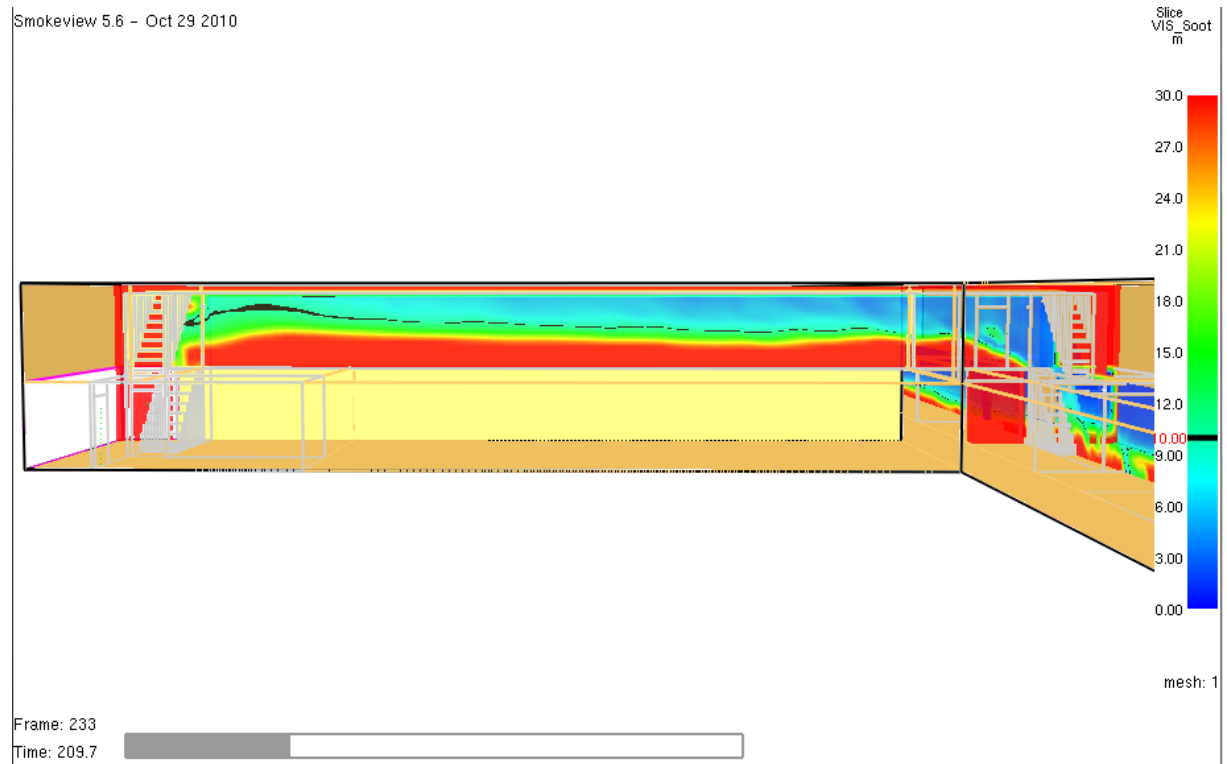
Värde för sotproduktion har ansatts till cellulosa. Detta bör stämma överens relativt väl med verkligheten då större delen av bränslet utgörs av trä. För att kontrollera hur stor påverkan en ökad sotproduktion skulle ha på tiden till kritiska förhållanden har en extra simulering gjorts där sotproduktionen ökats med 50 procent (från $0,0150 \text{ g/g}$ till $0,0225 \text{ g/g}$). Som framgår ur tabell 8.7 är skillnaden liten då sotproduktionen ökas med 50 procent. Figur 8.3 och 8.4 visar den tidpunkt då sikten blir kritisk.

Tabell 8.7. I tabellen redovisas tiderna till kritisk sikt för den ursprungliga simuleringen samt för simuleringen med en extra öppen dörr.

Plats	Tid ursprunglig simulering [s]	Tid simulering med ökad sotproduktion [s]
Korridoren, nedre plan	ca 160	ca 140
Korridoren, övre plan	ca 230	ca 210



Figur 8.3. Figuren illustrerar den tidpunkt då sikten blir kritisk på nedre plan. Figurerna illustrerar sikten vid olika höjder, olika färger motsvarar olika lång siktsträcka.



Figur 8.4. Figuren illustrerar den tidpunkt då sikten blir kritisk på övre plan. Figurerna illustrerar sikten vid olika höjder, olika färger motsvarar olika lång siktsträcka.

8.2.2.4 Strålningsberäkning

I brandscenario 2 har flammen antagits ha en temperatur på 800 °C, för motivering av detta antagande se bilaga A. Med denna flamtemperatur blir strålningen inte kritisk. Beräkningen nedan visar att om flammen istället antas ha temperaturen 1200 °C, kommer strålningen att bli kritisk.

$$\dot{q}''_{flamma} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 = 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1473^4 = 267 \text{ kW/m}^2$$

Med synfaktorn som beräknas i bilaga D blir då strålningen mot den plats där besökare först kan se branden:

$$\dot{q}'' = \phi_{tot} \cdot \dot{q}''_{flamma} = 0,012 \cdot 267 = 3,2 \text{ kW/m}^2$$

I detta brandscenario är det således av vikt att flamtemperaturen väljs noga. Antagandet på 800 °C är rimligt då det är den ungefärliga temperatur som brukar uppstå i flammor i fullt utvecklade rumsbränder. Högre temperaturer uppnås främst i mycket stora flammor. (Karlsson & Quintiere, 2000)

9 Åtgärdsförslag

Simuleringar av brandscenario 1 visar att alla besökare hinner ut innan kritiska förhållanden uppstår. Detta är under förutsättning att besökarna hittar ut och går rätt väg direkt. För att detta ska kunna säkerställas har det diskuterats fram ett par åtgärder gällande utrymningsorientering som presenteras nedan. Brandscenario 2 visade på brister i brandskyddet och därför har åtgärder för detta också tagits fram.

Nedan följer åtgärder som *skall* genomföras för att upprätthålla de krav som krävs för att ha en museiverksamhet i hangaren. Dessa åtgärdsförslag gäller för att kunna ha 600 besökare i lokalen. För högre besökarantal krävs ytterligare utredning.

Förslag ges även på åtgärder som *bör* genomföras för att ytterligare förbättra brandskyddet. Till sist presenteras ytterligare åtgärder som uppmanas av författarna, dessa förslag bedöms inte vara lika högt prioriterade men anses förbättra brandskyddet ytterligare.

I förslagen anges åtgärd, motivering, ett konkret förslag samt vad konsekvensen av detta blir. Åtgärderna presenteras utan inbördes ordning.

9.1 Åtgärder som *skall* genomföras

Dessa åtgärder skall genomföras för att uppnå skäligt brandskydd enligt *lagen om skydd mot olyckor*.

Systematiskt brandskyddsarbete

Åtgärd: Förbättra det systematiska brandskyddsarbetet.

Motivering: Det systematiska brandskyddsarbetet kan alltid förbättras för att rutinerna ska bli bättre vid en brand. Enligt *Lagen om skydd mot olyckor* ska ett fungerande systematiskt brandskyddsarbete finnas.

Förslag:

- Tydliggör vem som bär ansvaret vid en brand
- Se över vilken utbildning som krävs för de personer som ingår i brandskyddsarbetet
- Arbeta fram rutiner för kontroll av detektorer, utrymningslarm och brandposter
- Uppdatera samtligt materiel gällande brandskyddet, till exempel detektorritningar och utrymningsplan
- Inför rutiner för att kunna utrymma samtliga rörelsehindrade då dessa kan ha svårigheter med att själva ta sig upp för nedfarterna

Konsekvens: Brandskyddet och rutiner vid brand förbättras. Information och kunskap om anläggningen och dess brandskydd dokumenteras.

Utrymningstrappan

Åtgärd: Utrymning via utrymningstrappan skall underlättas, för att den skall kunna användas som utrymningsväg.

Motivering: Trappan är inte en bra utrymningsväg. Den är mörk och smal och inger inte ett intryck av att den leder ut till det fria. Den inbjuder inte till att användas och det är inte troligt att den skulle användas om inte en bergvärd leder personer dit. Dock är det med tanke på trappans utformning osannolikt att en bergvärd skulle kunna leda ett större antal personer med olika fysiska förutsättningar uppför trappan. Alla dörrar till eller i utrymningsvägen ska vara utåtgående i utrymningsriktningen. Dessutom ska det i utrymningsvägar finnas nödbelysning. (Boverket, 2008)

Förslag: Installera nödbelysning samt genomlysta skyltar. Gör den mer attraktiv och lättframkomlig.

Konsekvens: Underlättar orienteringen och ökar säkerheten vid utrymning via trappan. Detta leder till kortare förflyttningstid och därmed även kortare total utrymningstid. Trappan är markerad som en utrymningsväg i utrymningsplanen och ska då uppfylla kraven för detta.

Utrymningsplanen

Åtgärd: Uppdatera och förtydliga utrymningsplanen.

Motivering: I dagsläget ser utrymningsplanen ut som att dörren till trappan leder ut i det fria. I själva verket är trappan mycket svårframkomlig, speciellt för rörelsehindrade. Med den nuvarande utformningen av utrymningsplanen finns en risk att rörelsehindrade personer rör sig mot trappan, för att först där upptäcka att de inte kan ta sig ut den vägen. Vid östra och västra porten säger utrymningsplanen att utrymning ska ske genom sidorummet istället för genom porten, vilket också kan vara förvirrande. Enligt lagen om skydd mot olyckor ska ägare eller nyttjanderättshavare i skälig omfattning hålla utrustning för brandskydd, vilket innefattar en tydlig utrymningsplan.

Förslag: Placera antingen symbolen för nödutrymning för rörelsehindrade vid västra och östra porten, eller visa på annat sätt att trappan är olämplig för rörelsehindrade. Rita utrymningsvägen på utrymningsplanen korrekt för västra och östra porten. Se även över antalet utrymningsplaner och placering av dessa.

Konsekvens: Minimerar risken för missförstånd samt risken för att en rörelsehindrad utrymmer mot trappan. Undviker att besökare går fel och riskerar att fastna i lokalen i händelse av brand. Ökar säkerheten vid utrymning.

Korridoren bakom verkstaden

Åtgärd: Minska brandbelastningen i korridoren.

Motivering: Korridoren används delvis som förråd och mycket brännbart materiel förvaras där. Denna materiel innebär en stor brandrisk jämfört med en tom korridor. Eftersom de allra flesta saker placerade där ändå inte fyller någon funktion kan de förflyttas till ett riktigt förråd istället för att stå längs gångarna och utgöra både hinder och brandfara.

Förslag: Ta bort all materiel som förvaras i korridoren. Detta gäller i viss utsträckning även för andra delar av Aerozeum. Materiel och bråte skall inte förvaras i gångar dit besökarna har tillträde.

Konsekvens: Minimerar risken att en allvarlig brand uppstår i korridoren. Korridoren blir enklare och säkrare att utrymma genom.

Utrymningsmärkning

Åtgärd: Följ anvisningarna i Boverkets Byggregler angående utrymningsskyltar och nödbelysning, samt förenkla orientering vid utrymning. Förtydliga var utrymning för rullstolsburna enklast sker.

Motivering: Personer som vistas i Aerozeum anses ha dålig lokalkännedom och då ska vägledande markeringar finnas. Skyltar ska vara belysta eller genomlysta, istället för efterlysande som Aerozeums idag har. Placering av skyltar bör även ses över då avståndet mellan skyltar på vissa ställen är för stort. Vägledande markeringar ska kompletteras med nödbelysning om det inte är uppenbart överflödigt. Aerozeum har i dagsläget inte nödbelysning i östra nedfarten och nödutrymningstrappan. Det finns nödbelysning i västra nedfarten men denna anses inte vara tillräckligt täckande för att garantera säker utrymning här.

Förslag: Installera genomlysta skyltar vid nödutgångar och utrymningsvägar och se till att dessa är handikappanpassade. Se över skyltarnas placering i hela lokalen. Sätta upp tydliga skyltar som visar att rullstolsbundna i första hand bör söka sig till östra nedfarten vid utrymning. Detta på grund av att jalusiporten bidrar till en säkrare miljö i östra nedfarten än i västra. Installera fler nödbelysningsarmaturer så att de täcker alla utrymningsvägar samt vägarna till dessa.

Konsekvens: Underlättar orienteringen och ökar säkerheten vid utrymning. Minskar risken att besökare går fel och därmed risken att någon inte hinner utrymma i lokalen.

Västra porten

Åtgärd: Säkerställa att utrymning alltid kan ske genom västra porten då Aerozeum är öppet.

Motivering: Den västra porten är inte en godkänd utrymningsväg. Ifall personalen skulle glömma att öppna denna port innebär det att utrymningsskyltarna i hangaren pekar mot en stängd port. Det finns en sidoväg bredvid ingången men denna är dåligt markerad samt svårframkomlig och är därför inte heller en lämplig utrymningsväg.

Förslag: Detta kan genomföras på något av följande sätt:

- Installera en kassett likt den placerad i östra ingången. Denna skall innehålla utåtgående, lätt öppningsbara dörrar.
- Göra att någon viktig funktion inte kan startas om inte västra porten har öppnats. Exempelvis koppla så att ljuset inte kan tändas i Aerozeum om inte västra porten är öppen.

Konsekvens: Minimerar risken att personer inte kan utrymma genom västra porten ifall personalen glömmar att öppna betongportarna. Underlättar för personalen som får en arbetsuppgift mindre.

Förråd i skepp 5

Åtgärd: Minska risken att en brand i skepp 5 orsakar en kritisk strålningsnivå mot öppningen till skeppet.

Motivering: Skulle en stor brand inträffa nära öppningen in till skepp 5 kommer strålningen att bli kritisk mot passerande personer och utrymning skulle försvåras.

Förslag: Detta kan lösas på två sätt:

- Avskilja skepp 5 från resten av utställningshallen genom att göra skeppet till en egen brandcell. Detta genom att sätta upp en brandklassad vägg i öppningen till skepp 5.
- Se till att brandbelastningen mellan plåtskåpen och öppningen till skepp 5 är låg genom att minimera den mängd materiel som förvaras där. Detta under förutsättning att plåtskåpen är placerade på avståndet 35 meter från öppningen till skepp 5.

Konsekvens: Minimerar risken att en allvarig brand uppstår på den yttre sidan av plåtskåpen som vetter mot skeppets öppning. Detta minskar risken att strålningsnivån blir kritisk mot förbipasserande.

Magnetuppställare för dörrar

Åtgärd: Samtliga dörrar mellan brandceller bör utrustas med magnetuppställare.

Motivering: I dagsläget är dörrarna till trapporna på andra plan öppna. Detta innebär att brandcellerna inte är intakta. Om magnetuppställda dörrar installeras stänger dessutom dörrarna vid detektoraktivering och brandcellerna kommer att vara intakta vid en brand och dörrarna kan vara uppställda i den dagliga verksamheten.

Förslag: Om Aeroseum önskar ha dörrarna uppställda kan magnetuppställare installeras på samtliga dörrar som leder mellan brandceller, samt koppla dessa till brandlarmssystemet.

Konsekvens: Minskar risken för brand- och brandgasspidning. Detta leder till att tiden till kritiska förhållanden blir längre i de lokaler som är åtskilda från brandrummet.

9.2 Åtgärder som bör genomföras

Detektorer

Åtgärd: Komplettera befintliga detektorer med fler så att hela lokalen täcks.

Motivering: Aeroseum följer inte de rekommendationer som finns för detektorplaceringar, varken för värme- eller rökdetektorerna. Detektorerna är placerade över en större yta än vad som är rekommenderat för en god förmåga att upptäcka brand. Detta leder till en senare detektion av brand, vilket i slutändan innebär att personer har kortare tid för utrymning.

Förslag: Installera fler detektorer. Rekommendationer för detektorplacering behandlas delvis i kapitel 3, i övrigt hänvisas till Svenska Brandskyddsföreningen (2001). Uppdatera även sektionsritningen för detektorer då den är felaktig och inte komplett.

Konsekvens: Minskar risken för en onödigt lång aktiveringstid. Detta leder till att varseblivningstiden och därmed den totala utrymningstiden minskar.

Värmedetektorer i korridoren

Åtgärd: Minska aktiveringstiden för detektorer i korridoren bakom verkstaden.

Motivering: I korridoren bakom verkstaden finns värmedetektorer (som aktiverar vid 60 °C) installerade. Vid en beräkning i DETACT-QS med den effektutveckling som anges i avsnitt 7.3 är aktiveringstiden för en sådan värmedetektor över 180 sekunder, medan en rökdetektor aktiverar strax efter 20 sekunder. Detta är en mycket stor skillnad då en brand hinner växa till sig mycket på tre minuter.

Förslag: Byt ut samtliga värmedetektorer mot rökdetektorer.

Konsekvens: Förkortar aktiveringstiden då rökdetektorer normalt aktiverar tidigare än värmedetektorer. Detta leder till att varseblivningstiden och därmed den totala utrymningstiden minskar.

9.3 Övriga rekommendationer

Följande är åtgärder som uppmanas av författarna.

Jalusiport vid västra nedfarten

Åtgärd: Minska risken för brandgasspridning i västra nedfarten, från utställningshallen.

Motivering: Östra nedfarten skyddas mot brandgasspridning från utställningshallen tack vare jalusiporten i vilken dörrar finns infällda. I dagsläget finns endast ett skynke som knappt hindrar spridningen.

Förslag: Installera en jalusiport i västra nedfarten, liknande den som finns längst ned i östra nedfarten. Undersök även tätheten hos porten (förslagsvis genom att kontakta leverantören) och förbättra denna vid behov.

Konsekvens: Minskar risken för brandgasspridning till västra nedfarten. Underlättar och gör utrymningen för personer säkrare. Tiden till kritiska förhållanden i västra nedfarten ökar.

Utrymningsvägar

Åtgärd: Tydliggöra utrymningsvägarna genom att göra de mer attraktiva och lättförståeliga.

Motivering: I dagsläget är skyltarna på vissa platser vilseledande vilket kan leda till att utrymningstiden förlängs på grund av att besökare väljer fel väg.

Förslag: Kontrollera skyltarnas placering och mot vilken utrymningsväg de avser leda besökarna.

Konsekvens: Underlättar orienteringen samt ökar säkerheten vid utrymning. Detta leder till att förflyttningstiden och därmed den totala utrymningstiden minskar. Undviker att besökare går fel och riskerar att fastna i lokalen.

Korridoren bakom verkstaden

Åtgärd: Gör korridoren bakom verkstaden till en utrymningsväg.

Motivering: När övriga föreslagna åtgärdsförslag genomförts kommer korridoren bakom verkstaden att uppfylla kraven för utrymningsvägar.

Förslag: Ta bort den materiel som förvaras i korridoren, installera dörrstängare, byt ut värmedetektorerna mot rökdetektorer samt kontrollera utrymningsmärkning.

Konsekvens: Underlättar utrymningen via korridoren. Ökar personsäkerheten för människor i korridoren och verkstaden i händelse av brand.

Talat utrymningsmeddelande

Åtgärd: Minska beslut- och reaktionstiden.

Motivering: Ett talat utrymningsmeddelande kan i många fall minska beslut- och reaktionstiden, och framförallt i Aerozeum där möjligheterna till ett talat utrymningslarm redan finns (via högtalare) och där personer dessutom kan vara utspridda över stora ytor och således vara långt ifrån närmaste personal så är ett talat utrymningslarm mycket lämpligt.

Förslag: Byt ut utrymningslarmet mot ett automatiskt talat utrymningsmeddelande.

Konsekvens: Det är mycket sannolikt att beslut- och reaktionstiden minskar, och personer får därmed mer tid på sig att utrymma. Dessutom kommer ett meddelande minska förvirringen om personer får mer information, och arbetsbördan för bergvärdarna lättas, så att de istället kan koncentrera sig på att få ut folk.

Det gamla sprinklersystemet

Åtgärd: Utred möjligheten att renovera det gamla sprinklersystemet.

Motivering: Det finns ett gammalt sprinklersystem som en gång i tiden har fungerat. Det borde inte innebära några större kostnader att utföra en inledande undersökning för att se ifall det finns hopp om att kunna återställa funktionen hos sprinklersystemet. Det är en stor möjlig förbättring av brandskyddet till en potentiellt låg kostnad.

Förslag: Gör en mindre undersökning för att se ifall sprinklersystemet fungerar eller vad som krävs för att få det i funktion.

Konsekvens: Brandskyddet kan förbättras avsevärt.

9.4 Sammanfattning av åtgärdsförslag

I detta avsnitt sammanfattas de åtgärdsförslag som föreslås. Samtliga förslag är till för att öka personsäkerheten och förenkla utrymningen i händelse av brand.

9.4.1 Åtgärder som *skall* genomföras

- Förbättra det systematiska brandskyddsarbetet.
- Gör utrymningstrappan mer lättframkomlig och attraktiv så att utrymning via denna förenklas.
- Förtydliga utrymningsplanen vad gäller trappans framkomlighet samt västra och östra utgången.
- Ta bort allt materiel som förvaras i korridoren bakom verkstaden. Detta gäller i viss utsträckning även för andra delar av Aerozeum. Materiel och bråte skall inte förvaras i gångar dit besökarna har tillträde.
- Installera genomlysta skyltar vid nödutgångar och utrymningsvägar, samt installera mer nödbelysning så att den täcker både utrymningsvägarna och vägen till dessa. Se över var skyltarna bör placeras.
- Installera en kassett i västra porten likt den placerad i östra ingången. Denna skall innehålla utåtgående, lätt öppningsbara dörrar.
- Minska risken att en brand i skepp 5 orsakar en kritisk strålningsnivå mot öppningen till skeppet.
- Installera magnetuppställare på samtliga dörrar som leder mellan brandceller och koppla eventuellt dessa till brandlarmssystemet.

9.4.2 Åtgärder som *bör* genomföras

- Komplettera befintliga detektorer med fler så att hela lokalen täcks.
- Byt ut värmedetektorerna i korridoren mot rökdetektorer.

9.4.3 Övriga rekommendationer

- Installera en jalsiport i västra nedfarten.
- Gör utrymningsvägarna mer attraktiva och vägledningarna till dessa mer lättförståeliga.
- Gör korridoren bakom verkstaden till en utrymningsväg.
- Byt ut utrymningslarmet mot ett automatiskt talat utrymningslarm.
- Utred möjligheten att renovera det gamla sprinklersystemet.

10 Slutsats och diskussion

I detta kapitel diskuteras osäkerheter i de metoder som använts och även resultaten dessa metoder har gett.

Författarna anser att om föreslagna *skall*-åtgärder genomförs kommer brandskyddet vara fullgott för att tillåta att 600 personer vistas i Aeroseum.

Det är framförallt två typer av osäkerheter som förekommer i rapporten. Dessa är *naturliga variationer* och *kunskapsosäkerheter*.

Naturliga variationer är osäkerheter som beror på egenskaper hos det undersökta objektet, till exempel de utrymmande personerna i det här fallet. Det går inte att förutsäga hur personer kommer agera eller vilka utrymningsvägar de väljer, och detta måste man ta hänsyn till.

Kunskapsosäkerheter är en faktor som går att reducera genom att tillgodogöra sig mer information. Exempel på dessa kan vara exempelvis vilken ursprunglig rumstemperatur man väljer att anta vid en simulering i FDS.

Båda dessa osäkerheter påverkar självfallet resultatet i rapporten, och en känslighetsanalys genomförs för att utreda vilka osäkerheter som har störst påverkan på resultatet, och hur stor denna variation är.

De viktigaste osäkerheterna sammanfattas nedan:

- Riskbedömningar. Dessa är baserade på författarnas egna bedömningar och har försökt styrkas med statistik.
- Tillväxthastighet. Brändernas tillväxtfas antas följa en at^2 – *kurva*. Dessa är framtagna för bränder med en effektutveckling upp till cirka 1 MW, men används i avsaknad av bättre metoder.
- Aktiveringstid. Värmedetektorernas placering i korridoren är en osäkerhet som har stor inverkan på aktiveringstiden.
- Fördelningar i @risk. Dessa har uppskattats utifrån egna bedömningar.
- Byggnadens geometri. Geometrin har förenklats vid simuleringar i FDS och Simulex.
- Befintligt brandskydd. Uppskattningar har gjorts av detta utifrån platsbesök och dokumentationsmaterial som i vissa avseenden varit bristfälliga.

Samtliga antaganden som har gjorts i denna rapport är realistiska men även konservativa. Antaganden som har gjorts har motiverats löpande i rapporten och diskuteras även längre ner i denna diskussion. Det är viktigt att inte konsekvent vara för konservativ då detta kan leda till överdrivna åtgärder och därmed stora ekonomiska konsekvenser.

Kritiska förhållanden på plan 2 uppstår innan alla hunnit ut. Förflyttningstiden är här simulerad med en slumpartad population. På andra plan finns toaletter och en kommandocentral som är öppen för besökarna att titta på. Det kan alltså befinna sig såväl besökare som personal på andra plan. Den valda populationen är därmed representativ för de personer som kan tänkas befinna sig där. För att förhindra att kritiska förhållanden uppstår

innan alla hunnit ut kan dörren från korridoren till plan 2 hållas stängd. Vill man ändå ha den öppen kan en dörr med magnetuppställning installeras.

Det är viktigt att korridoren bakom verkstaden rensas upp så det inte används som förråd. Detta är en mycket enkel åtgärd som skulle ha en stor påverkan på brandsäkerheten.

Det finns vissa brister i hur Aerozeum idag arbetar med sitt systematiska brandskydd. Enlig *Lagen om skydd mot olyckor* (2003:778 kap 2 §) är alla ägare eller nyttjanderättshavare av en anläggning skyldiga att ha ett skäligt brandskydd för att minska risken att brand uppstår. Att bedriva systematiskt brandskyddarbete minskar dessa risker. Det krävs en tydlighet i vem som bär ansvaret vid brand, hur man ska kontrollera larm och detektorer regelbundet, och även uppdatera material gällande brandskyddet, såsom detektorritningar och utrymningsplan. De är dock medvetna om problemet och har påbörjat åtgärder.

I och med att Aerozeum planerar att bygga världens första flygsimulator som är anpassad för rullstolsburna kan detta medföra att större sällskap med rörelsehindrade personer befinner sig i anläggningen. I simuleringarna har viss hänsyn tagits till rörelsehindrade personer. Fem procent av populationen har ansatts till rörelsehindrade. Vid 600 besökare motsvarar detta 30 personer. Då nedfarterna är långa och sluttar nedåt kan det vara svårt för en rullstolsburen att ta sig upp. I enlighet med åtgärdsförlagen skall Aerozeum ha rutiner för att se till att dessa kan ta sig ut på ett säkert sätt, exempelvis med hjälp av bergvärdarna.

Utrymningstrappan är idag inte så lättanvänd och attraktiv som en utrymningsväg bör vara. Det bästa vore att renovera utrymningstrappan så att den uppfyller kraven på en utrymningsväg och se till att det är skyltat på rätt sätt så att inte rörelsehindrade missleds. Aerozeum har idag tillräckligt många utrymningsvägar för att uppfylla de krav som finns i BBR även om trappan inte klassas som utrymningsväg. Simuleringar i Simulex visar att även om utrymningstrappan inte används så förlängs inte utrymningstiden nämnvärt. Detta är dock inte ett bra argument för att minska antalet utrymningsvägar, självklart bör man utnyttja alla möjligheter till utrymningsvägar, framför allt då lokalen är under mark.

Aerozeum är indelat i fem olika brandceller. En av dessa brandceller är övre delen av verkstaden. Dörrarna i ändarna av korridoren på andra plan står i dagsläget öppna vilket innebär att brandcellsgränserna inte är intakta. För att minska risken för framförallt brandgasspridning till övre delen av verkstaden ska dörrarna hållas stängda. Att utrusta dörrarna med dörrstängare som automatiskt stänger vid larm ger möjlighet att ändå ha dörrarna uppställda.

Vid val av brandscenarier var en av svårigheterna att välja vad som skulle brinna samt i vilken omfattning. Att avgöra vilken tillväxthastighet branden hade, visade sig också vara svårt. De mattor som branden i förrådet innefattar, är approximerade till polypropenmattor och motsvarar en vanlig dörrmatta. Branden har approximerats till ett rätblock men i verkligheten är det möjligt att mattorna smälter och bildar en pölbrand. Detta medför att den antagna brandspridningen och beräknade strålningen är osäkra. Antagandet att samtlig materiel börjar brinna samtidigt är konservativt då det ger en maximal effektutveckling tidigare än i ett verkligt fall då branden sprider sig.

Även storleken på branden var svår att uppskatta. 16 MW är en mycket hög effektutveckling och trots att det finns mycket brännbart i förrådet är det inte troligt att branden kommer få en högre effektutveckling.

Brandgaslagrets temperatur blir cirka 100 °C i större delen av utställningshallen och cirka 200 °C i korsningen utanför skepp 5. Detta är markant varmare än de 18 °C som är den normala temperaturen i Aeroseum. Det är således rimligt att anta att en tvåzonsskiktning uppstår. Det är dock möjligt att ventilationen bidrar till en ökad omblandning av brandgaserna. Ingen hänsyn har dock tagits till ventilationen då underlag för detta saknas

Aktiveringstiden är beräknad dels med DETACT-QS men även i FDS. Då det råder osäkerhet om var i korridoren och utställningshallen detektorerna är placerade kan den verkliga aktiveringstiden skilja sig. DETACT-QS tar inte hänsyn till uppvärmning som sker av att brandgaser samlas i rummet utan räknar endast på de brandgaser som flödar i taket, detta innebär att aktiveringstiden förmodligen skulle vara något kortare i verkligheten.

I strålningsberäkningarna har flamtemperaturen antagits. Känslighetsanalysen visar att denna har stor inverkan på hur stor strålning som besökare riskerar att utsättas för. Därför är det viktigt att den väljs noggrant.

I resultaten från FDS finns det osäkerheter. I båda brandscenarierna har bränsleytans area uppskattas och det antas att allt som brinner står samlat. Antagandet att allt står samlat utgör inget större problem då avstånden mellan olika bränslepaket är mycket korta, vilket framgår av figurer i respektive brandscenario. Vid simuleringar av bränder med stor bränsleyta blir representationen av branden dålig tidigt i brandförloppet. För att motverka detta har bränsleytorna delats upp i flera delar som börjar brinna vid olika tidpunkter. Detta medför även att viss hänsyn till flamspridning har tagits. Totalt blir effektutvecklingen enligt den som ansatts för respektive scenario.

I brandscenario 1 har approximationer gjorts med avseende på geometrin. Taket i utställningshallen är rundat. På grund av svårigheten att bygga upp rundade geometrier i FDS har lokalen byggts upp med ett platt tak. Takhöjden i simuleringen har satts så att volymen för utställningshallen blir rätt, vilket innebär att rökfylldstiden inte borde påverkas nämnvärt. Den totala vägg- och takarean kommer att minska på grund av denna approximation, vilket kommer att minska värmeöverföringen genom väggarna och taket. Då endast de första 15 minuterna av brandförloppet simuleras, anses det att detta inte kommer ha någon större påverkan på resultatet.

Värden på sotproduktionen för respektive brandscenario har ansatts efter det ämne som ansetts vara det som dominerar i respektive brand. Enligt resonemang i känslighetsanalysen är valen rimliga.

Inga koncentrationer av toxiska ämnen har beräknats. I FDS kan dessa koncentrationer simuleras. Detta har inte gjorts på grund av att det endast går att ansätta ett ämne som bränsle, vilket inte stämmer överens med en verklig brand. Dessutom använder FDS en förenklad

reaktion där endast några få förbränningsprodukter beräknas. Således skulle det ge ett felaktigt resultat med avseende på koncentrationer av toxiska ämnen.

11 Litteraturförteckning

- Boverket. (2008). *Regler för byggande, BBR*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket. (2006). *Utrymningsdimensionering*. Karlskrona: Boverket.
- Brandteknik. (2005). *Brandskyddshandboken 3134*. Lund: Lunds tekniska högskola.
- DiNenno, P. J. (2002). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy: National Fire Protection Association.
- Drysdale, D. (1998). *An Introduction To Fire Dynamics, Second Edition*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Fischer, S., Forsén, R., Hertzberg, O., Jacobsson, A., Koch, B., Runn, P., o.a. (1998). *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor, metoder för bedömning av risker*. Försvarets forskningsanstalt.
- Frantzich, H. (2001). *Tid för utrymning vid brand*. Karlstad: Räddningsverket.
- IKEA. *IKEA | MATTOR | DÖRRMATTOR | BORRIS | MATTOR*. Hämtat från IKEA: <http://www.ikea.com/se/sv/catalog/products/80186688> den 13 April 2011
- Jones, W., Peacock, R., Forney, G., & Reneke, P. (2009). *CFAST - Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6), Technical Reference Guide*. National Institute of Standards and Technology.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton: CRC Press.
- Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap. *IDA-portalen*. Hämtat från Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap: <http://ida.msb.se/port61/main/p/a0213?nc=e0e4f73b> den 13 April 2011
- Nilsson, D & Holmstedt, G. (2008). *Kompedium I Aktiva system - Detektion*. Brandteknik LTH.
- NIST. *BFRL: Fire Modeling Programs*. Hämtat från NIST: <http://www.bfml.nist.gov/866/fmabbs.html#DETACTION> den 13 April 2011
- SFPE. (2002). *Engineering Guide to Human Behavior in Fire*. SFPE.
- Socialstyrelsen. (1999). *SOSFS 1999:25*. Stockholm: Socialstyrelsen.
- Staffansson, L. (2010). *Selecting design fires, report 7032*. Lund: Brandteknik.
- Svenska Brandskyddsföreningen. (2001). *SBF 110:6, Regler för automatisk brandlarmanläggning*. Stockholm: Brandförsvarsföreningens Service AB.
- Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. *SP Fire Database*. Hämtat från Sveriges Tekniska Forskningsinstitut: <http://www.sp.se/sv/index/services/firedb/Sidor/firedb.aspx> den 13 April 2011

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

Bilaga A Brandteori

I denna bilaga presenteras några samband och modeller inom brandteori.

A.1 Effektutveckling och tillväxthastighet

Effektutveckling är som namnet lyder ett mått på den effekt en brand utvecklar, och ökar i takt med att branden tillväxer. Ett typiskt brandförlopp ser ut så att branden först tillväxer, och sedan blir effektutvecklingen konstant under en tid då branden vanligen blir syre- eller bränslekontrollerad. Till sist avtar effektutvecklingen i takt med att branden minskar.

Det är den tidiga delen av ett brandförlopp som är mest intressant ur ett utrymningsperspektiv. I denna fas accelererar ofta tillväxten (Karlsson & Quintiere, 2000). Ett approximativt uttryck för effektutvecklingen vid tillväxtfasen är en αt^2 -kurva, det vill säga:

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad \text{Ekvation A.1}$$

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

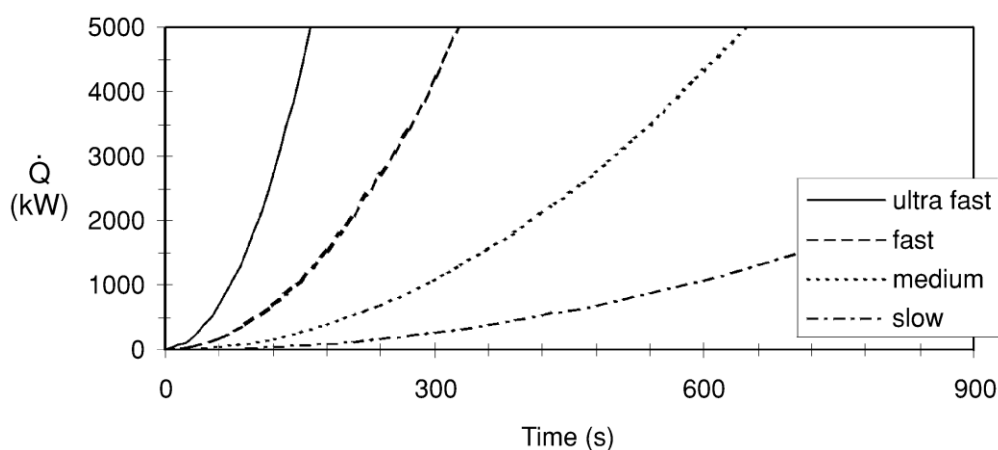
α = tillväxthastighetskonstant [kW/s²]

t = tiden [s]

I tabell A.1 nedan anges värden på olika tillväxthastigheter.

Tabell A.1. Tabell över tillväxthastighet. (Karlsson & Quintiere, 2000)

Tillväxthastighet	α [kW/s ²]	Exempel
Ultra fast	0,19	Staplar av trä eller plast
Fast	0,047	Diesel
Medium	0,012	Träpallar
Slow	0,003	Flamskyddade madrasser



Figur A.1. Tillväxt av effektutveckling $\dot{Q}$ för olika α -värden. (Karlsson & Quintiere, 2000)

Brandens effektutveckling antas följa ekvation A.1 fram till att maximal effektutveckling uppnås, därefter antas konstant effektutveckling till dess att effektutvecklingen börjar avta. Om det uppstår kritiska förhållanden sker detta vanligtvis under tillväxtfasen eller under fasen

med konstant effektutveckling. Därför är avsvlningsfasen inte relevant för denna brandtekniska riskvärdering.

Tabell A.2 nedan redovisar några typexempel på vilken effekt några olika föremål utvecklar vid brand.

Tabell A.2. Exempel på ungefärliga värden för effektutveckling från olika föremål. (Karlsson & Quintiere, 2000)

Föremål	Effektutveckling [kW]
Stearinljus	0,1
Papperskorg	100
Madrass, av bomull/polyester	1000-1500
Dieselpöl, med diameter 1 m ²	2000
Tresitssoffa	3000-4000

A.2 Flamhöjd

Vid beräkningar av flamhöjden används Heskestads flamhöjdskorrelation. Korrelationen ger flammans medelhöjd baserad på brandens effektutveckling. Korrelationen lyder:

$$L_{flamma} = 0,235 \cdot \dot{Q}^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot D \quad \text{Ekvation A.2}$$

L_{flamma} = medelflamhöjden [m]

$\dot{Q}$ = effektutvecklingen i [kW]

D = bränslets diameter [m]

För denna korrelation approximeras bränslearean till en cirkel och en diameter beräknas.

A.3 Strålning från flamman

Utstrålad effekt per kvadratmeter från flamman beräknas med formeln:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad \text{Ekvation A.3}$$

E = utstrålad effekt per kvadratmeter [W/m²]

ε = emissionsfaktor som antas vara 1

σ = Stefan-Boltzmanns konstant = $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

T = flamtemperaturen [K]

För att ge konservativa resultat antas flamman stråla som en svartkropp och därför antas ε vara 1. Medelflamtemperaturen antas vara 1200 °C (1473 K) i brandscenario 1 och 800 °C (1073 K) i brandscenario 2. Anledningen till en högre flamtemperatur i brandscenario 1 beror på att det är en större brand och då är det mer rimligt med en högre flamtemperatur (Karlsson & Quintiere, 2000).

A.3.1 Synfaktor

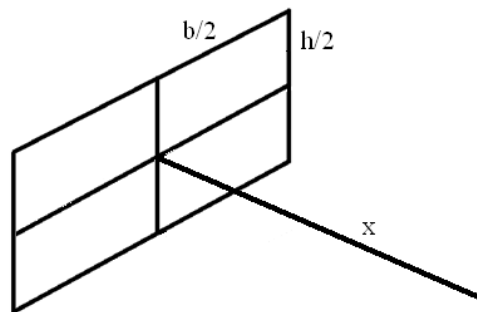
För att beräkna den strålning en person utsätts för vid en given sträcka från flamman används formeln:

$$\dot{q}'' = \phi_{tot} \cdot E \quad \text{Ekvation A.4}$$

ϕ = synfaktor [–]

Synfaktorn beräknas på olika sätt i brandscenario 1 och 2. Detta på grund av att avståndet mellan flamman och personen i brandscenario 1 är så pass långt att metoden som används i brandscenario 2 inte går att använda.

För båda beräkningarna antas flamman ha formen av en rektangel och delas in i fyra lika stora delar, se figur A.2. Den uträknade synfaktorn multipliceras till sist med fyra för att få fram den totala synfaktorn.



Figur A.2. Antagen form på flamman.

b = bredden [m]

h = höjden [m]

x = avstånd mellan flamma och person [m]

$$\phi_{tot} = 4 \cdot \phi_{del}$$

I brandscenario 1 – brand i förråd i skepp 5 – används metoden som beskrivs i *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor, Metoder för bedömning av risker* av Försvarets forskningsanstalt (1998). Den maximala synfaktorn beräknas genom beräkningsgången som beskrivs i avsnittet *Vinkelkoefficient för ett plan*. Metoden går ut på att beräkna ett antal dimensionslösa parametrar och sedan med ekvationer beräkna synfaktorn. Se bilaga C för beräkningar. (Fischer, o.a., 1998)

I brandscenario 2 – brand i korridor – används metoden som beskrivs i *An introduction to fire dynamics* av Dougal Drysdale (1998). Metoden går ut på att räkna ut två dimensionslösa parametrar och genom avläsning i tabell få fram ett värde på synfaktorn. Se bilaga D för beräkningar. Anledningen till att olika metoder för att beräkna synfaktor används beror på att i brandscenario 1 är avståndet från flamman så stort att denna metod inte fungerar.

Bilaga B Teori – Datorprogram

I denna bilaga beskrivs samtliga datorprogram som använts, dess begränsningar och antaganden.

B.1 Simulex

Simulex är ett datorprogram som simulerar utrymning. Programmet använder sig av CAD-ritningar över byggnader, och i ritningen kan man placera ut personer som ska utrymma. Man kan i programmet specificera olika egenskaper hos de utrymmande såsom personens storlek och gånghastighet. Programmet är användbart för att beräkna förflyttningstiden för utrymmande personer i olika byggnader.

B.1.1 Begränsningar och antaganden

Simulex bygger på ren flödesteori, vilket praktiskt innebär att personer kan fastna i hörn och i varandra. Vid användning måste man vara uppmärksam på detta och leta efter denna typ av fel för att sedan korrigera dem på lämpligt vis. Programmet erbjuder en möjlighet att specificera personernas reaktionstid, men då Aero-seum har ett utrymningslarm kommer alla personer i byggnaden varsebli branden samtidigt. Vid en riktig utrymning kommer självklart alla personer att bete sig olika; vissa kommer genast röra sig mot utgångar medan andra kommer dröja flera minuter innan de beslutar sig för utrymning. I denna riskvärdering används Simulex endast till att simulera förflyttningstiden. Denna tid adderas sedan till tid för varseblivning, beslut och reaktion.

B.2 CFAST och tvåzonsmodeller

CFAST står för *Consolidated model of Fire and Smoke Transport* och är ett datorprogram som används för att simulera rökfylldhet och brandgasspridning. CFAST använder en tvåzonsmodell, vilket innebär att rummet dels upp i två kontrollvolym. Den ena kontrollvolymen är det varma, övre brandgaslagret, och den andra är de kallare, rumstempererade gaserna som finns undertill.

B.2.1 Begränsningar och antaganden

Nedan följer några av de viktigaste förenklingar och antaganden som görs vid tvåzonsmodellering:

- Gaserna behandlas som ideala gaser.
- Båda kontrollvolymerna är homogena, det vill säga helt omblandade.
- Blandningen mellan lagren är försumbar.
- Ingen transporttid för brandgaser, varken vertikalt eller horisontellt, utan transporten sker ögonblickligen.
- En enkel byggnadsgeometri.

Rummets geometri är avgörande för giltigheten hos CFAST. Modellen fungerar dåligt i rum där skillnaden mellan längd och bredd är stor, som till exempel i korridorer. Nedan visas rekommenderade storleksförhållanden för längd (L), bredd (B) och höjd (H), inom vilka programmet är giltigt. (Jones, Peacock, Forney, & Reneke, 2009)

$$\frac{L}{B} < 3$$

$$\frac{L}{H} < 3$$

$$\frac{B}{H} > 0,4$$

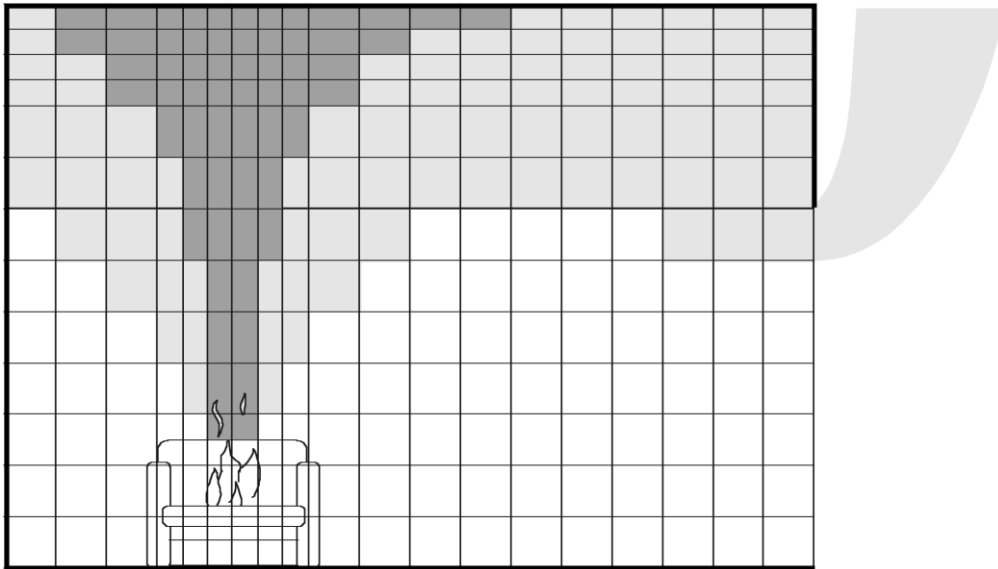
Dessa begränsningar gör att en tvåzonsmodell inte är tillämpbar på objektet.

B.3 FDS

FDS är en förkortning för *Fire Dynamics Simulator* och är ett datorprogram som används för att simulera bränder. FDS är ett CFD-program (förkortning för *Computational Fluid Dynamics*). I programmet delas geometrin upp i ett mycket stort antal celler där varje cell är en egen kontrollvolym. För varje cell löses sedan numeriskt ekvationer för massans, energins, rörelsemängdens och ämnens bevarande. Ett exempel på hur denna cellindelning kan se ut illustreras i figur B.1. För att erhålla så bra resultat från en FDS-simulering som möjligt måste cellerna vara så små som möjligt. Problemet är att ju mindre cellerna blir, desto fler blir de, och simuleringstiden blir längre. Vid simuleringar med stora lokaler och stora effektutvecklingar kan simuleringarna bli mycket krävande i fråga om tid och datorkraft. FDS är bra att använda i lokaler som har komplicerad geometri eller en stor volym. Vid simuleringar till denna rapport har FDS i version 5 använts. Pyrosim är ett program som ger ett grafiskt gränssnitt till FDS, detta har använts i version 2010.

B.3.1 Begränsningar och antaganden

I FDS finns ett antal begränsningar, exempelvis kan cellerna endast ha formen av rätblock. Detta medför att det inte är möjligt att konstruera runda former. Vidare är det viktigt att ha i åtanke att cellstorleken avgör i vilken detaljnivå lokalen kan byggas. Objekt som är mindre än cellstorleken kommer att försvinna. Det är endast möjligt att definiera ett ämne som brinner. Det är således inte möjligt att på ett helt korrekt sätt representera en brand där flera olika ämnen deltar i förbränningen. FDS använder en förenklad reaktion vilket medför att det endast går att beräkna ett fåtal förbränningsprodukter. FDS fungerar bäst för bränder som är bränslekontrollerade. Då branden blir ventilationskontrollerad blir resultaten mer osäkra.



Figur B.1. Illustration över hur en cellindelning av en lokal kan se ut (Karlsson & Quintiere, 2000)

B.4 DETACT-QS

DETECT-QS är en förkortning för *Detector Activation – Quasi Steady* och är ett datorprogram som används för att räkna ut aktiveringstiden för värmedetektorer och sprinklerbulber. Det är även möjligt att uppskatta aktiveringstiden för rökdetektorer. Programmet räknar ut hur lång tid det tar innan ett element värmts upp till en viss temperatur. De indata som behövs är det vertikala och radiella avståndet mellan brandkällan och detektorn, omgivningstemperaturen, effektutvecklingen för branden samt aktiveringstemperaturen och RTI-värdet (*response time index*) för detektorn. DETACT-QS ger förutom tid till aktivering även elementets och brandgasernas temperatur som funktion av tiden.

B.4.1 Begränsningar och antaganden

DETECT-QS antar att uppvärmningen av värmeelementet endast sker av brandgaserna som flödar i taket, och bortser från eventuella brandgaser som ansamlas i rummet. Detta betyder att aktiveringstiden i verkligheten troligen kommer bli kortare än vad programmet föreslår. Eftersom att programmet använder Alpert's korrelation tas ingen hänsyn till gasernas transporttid. (NIST)

Programmet beräknar aktiveringstiden med avseende på en temperaturökning. Detta medför att vid beräkningar för en rökdetektor får man approximera ett RTI-värde och en aktiveringstemperatur. Det värde som vanligtvis används för RTI är $0,5 \text{ (m}\cdot\text{s)}^{1/2}$ och den temperaturökning som normalt används för aktivering är 13°C (Nilsson, D & Holmstedt, G, 2008).

B.5 @risk

@risk är ett makro till Microsoft Office Excel. Försöken har simulerats genom en Monte Carlo-simulering med 1000 iterationer. I @risk programmeras det in olika fördelningar för alla nödvändiga parametrar samt ekvationer för det som vill beräknas. Programmet utför sedan upprepade beräkningar och slumpar värden från de angivna fördelningarna för att få

fram en sannolikhetsfördelning med bland annat medelvärde, max- och minvärde samt standardavvikelse. I @risk kan det dessutom göras en känslighetsanalys som visar hur de olika parametrarna påverkar resultatet.

B.5.1 Begränsningar och antaganden

Många av de fördelningar och värden som programmeras i @risk bygger på ingenjörsmässiga antaganden vilket i sig kan leda till subjektiva bedömningar och osäkerheter.

Bilaga C Beräkningar för brand i förråd

I denna bilaga presenteras antaganden och beräkningar för branden i förrådet i skepp 5.

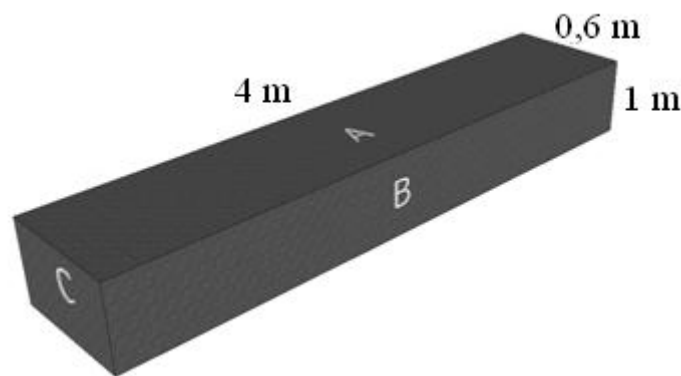
C.1 Effektutveckling

För branden i förrådet i skepp 5 antas det att högar med mattor samt träpallar brinner. Den totala maxeffekten antas som summan av de enskilda effektutvecklingarna.

C.1.1 Mattor

Mattorna ligger staplade i högar bredvid varandra. Enligt samråd med professor Patrick van Hees vid Lunds Tekniska Högskola antas mattorna ha formen av ett rätblock, se figur C.1. Material och storlek på mattorna har uppskattats med hjälp av liknande matta ur IKEAs sortiment. Mattorna i förrådet antas vara av polypropen (IKEA).

En dörrmatta har måtten $0,4 \cdot 0,6$ m (b·l) (IKEA). Efter uppskattning antas rätblocket ha storleken av 10 matbredder och 1 meter i höjd. Längden antas vara samma som för en dörrmatta. Måtten illustreras i figur C.1 nedan:



Figur C.1. Mattorna i förrådet approximerade till ett rätblock. Måtten som används i beräkningar illustreras i figuren.

I förrådet är mattorna placerade intill skåp av metall och är osannolikt att det kommer att brinna på den sidan. Därför antas det att sidorna A, B samt båda C brinner och deras enskilda effektutvecklingar summeras till en total effektutveckling. Arean beräknas för varje del:

$$Area A = 4 \cdot 0,6 = 2,4 \text{ m}^2$$

$$Area B = 4 \cdot 1 = 4 \text{ m}^2$$

$$Area C = 0,6 \cdot 1 = 0,6 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}''_{polypropen} = 582 \text{ kW/m}^2 \text{ (Sveriges Tekniska Forskningsinstitut)}$$

Även effektutvecklingen beräknas för varje del:

$$\dot{Q}_A = 2,4 \cdot 582 = 1396,8 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_B = 4 \cdot 582 = 2328 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_C = 0,6 \cdot 582 = 349,2 \text{ kW}$$

Den totala effektutvecklingen beräknas genom att addera de enskilda effektutvecklingarna:

$$\dot{Q}_{mattor} = \dot{Q}_A + \dot{Q}_B + 2 \cdot \dot{Q}_C = 1396,8 + 2328 + 2 \cdot 349,2 = 4423,2 \text{ kW}$$

C.1.2 Träpallar

Träpallarna approximeras till Wooden pallets 5ft .

$$\dot{Q}''_{träpallar} = 3970 \text{ kW/m}^2 \text{ (Karlsson \& Quintiere, 2000)}$$

Det finns tre staplar med träpallar i förrådet. Den totala arean approximeras till 3 m².

$$\dot{Q}_{träpallar} = 3 \cdot 3970 = 11910 \text{ kW}$$

C.1.3 Total effektutveckling

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{mattor} + \dot{Q}_{träpallar} = 4423,2 + 11910 = 16333,2 \text{ kW}$$

C.2 Flamhöjd

Enligt beräkningar i avsnitt C.1 har branden i förrådet en effektutveckling på 16 333,2 kW. Branden antas brinna på en 10 m² rektangulär yta. Denna yta delas i beräkningen upp i fyra lika stora delar, se figur C.2. Varje del antas ha lika stor effektutveckling, det vill säga en fjärdedel av den totala.

2,5 m ²	2,5 m ²	2,5 m ²	2,5 m ²
--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Figur C.2. Branden uppdelad i fyra lika stora delar.

Varje del har en area på 2,5 m² och en effektutveckling på 4 083,3 kW. Flamhöjden beräknas för en del och det antas att denna flamhöjd gäller för hela rätblocket. För att genomföra detta approximeras arean av varje del till en cirkel. Anledningen till denna uppdelning är att om flamhöjden hade beräknats för en cirkulär brand med en area på 10 m² hade flamhöjden blivit orimlig.

$$A = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \pi \leftrightarrow D = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{2,5}{\pi}} = 1,78 \text{ m}$$

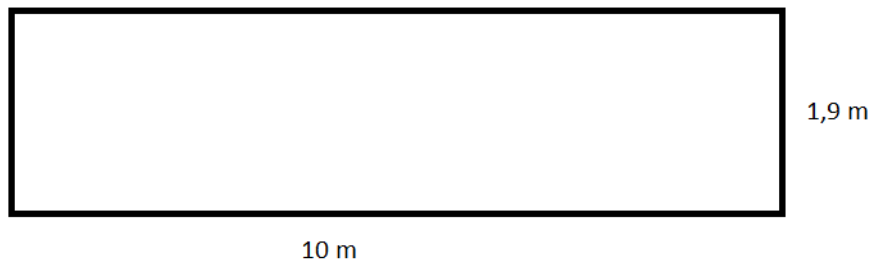
Flamhöjden beräknas sedan med Heskestads flamhöjdskorrelation (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$L_{flamma} = 0,235 \cdot \dot{Q}^{\frac{2}{5}} - 1,02D = 0,235 \cdot 4083,3^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot 1,78 = 4,7 \text{ m} \quad \text{Ekvation C.1}$$

Denna flamhöjd är möjlig i större delen av skepp 5 då takhöjden är maximalt 5,8 meter. Endast närmast väggen kommer flamman begränsas av takhöjden. Detta bedöms ha en liten påverkan och ingen hänsyn tas till detta i senare beräkningar. Ingen hänsyn tas heller till att den övre delen av flamman under delar av brandförloppet kommer att befinna sig i brandgaslagret.

C.3 Strålning

Nedan beräknas den strålning som en person utsätts för vid öppningen till skepp 5. Branden är skyddad av skåp med en uppskattad höjd på 2,8 m. Således kommer endast den övre delen av flamman att påverka personer som står vid ingången till skeppet. Flamman approximeras till en rektangel med måtten som visas i figur C.3 nedan.

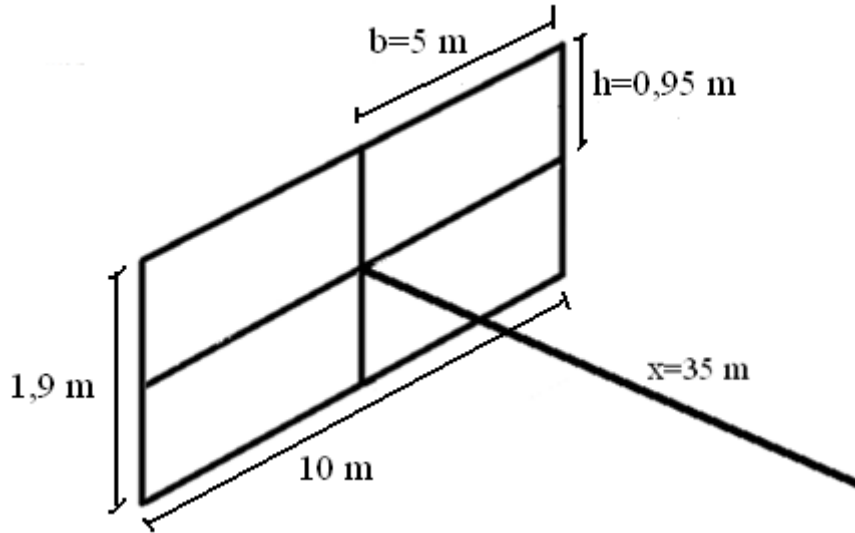


Figur C.3. Dimensioner för den del av flamman som kan påverka personer vid ingången till skeppet.

Avståndet från flamman till ingången till skeppet är 35 m. Flamman antas stråla som en svartkropp med emissionsfaktorn 1. På grund av att branden är så pass stor antas en flamtemperatur på 1200 °C (1473K) (Karlsson & Quintiere, 2000). Detta medför att flamman strålar ut med en effekt per kvadratmeter på:

$$\dot{q}''_{flamma} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 = 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1473^4 = 267 \text{ kW/m}^2 \quad \text{Ekvation C.2}$$

Synfaktorn beräknas enligt metod ur *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga vätskor, Metoder för bedömning av risker*, av Försvarets forskningsanstalt (Fischer, o.a., 1998). Branden delas in i fyra lika stora delar. Synfaktorn beräknas för en del och slutligen multipliceras den beräknade synfaktorn med fyra för att få den totala synfaktorn. Måtten för b, h och x som används i beräkningarna visas i figur C.4 nedan:



Figur C.4. Flamman approximeras till en rektangel. Måtten för b, h och x redovisas i figuren.

Beräkningarna redovisas nedan:

$$h_r = \frac{h}{b} = \frac{0,95}{5} = 0,19 \quad \text{Ekvation C.3}$$

$$x_r = \frac{x}{b} = \frac{35}{5} = 7,0 \quad \text{Ekvation C.4}$$

$$A_r = \frac{1}{\sqrt{h_r^2 + x_r^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,19^2 + 7^2}} = 0,1428 \quad \text{Ekvation C.5}$$

$$B_r = \frac{h_r}{\sqrt{10x_r^2}} = \frac{0,19}{\sqrt{10 \cdot 7^2}} = 0,00858 \quad \text{Ekvation C.6}$$

$$\begin{aligned} \phi_v &= \frac{1}{2\pi} \left[h_r A_r \tan^{-1}(A_r) + \left(\frac{B_r}{h_r} \right) \tan^{-1}(B_r) \right] = \quad \text{Ekvation C.7} \\ &= \frac{1}{2\pi} \left[0,19 \cdot 0,1428 \cdot \tan^{-1} 0,1428 + \left(\frac{0,00858}{0,19} \right) \cdot \tan^{-1} 0,00858 \right] = 6,74 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_h &= \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1} \left(\frac{1}{x_r} \right) - A_r \cdot x_r \cdot \tan^{-1}(A_r) \right] = \quad \text{Ekvation C.8} \\ &= \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1} \left(\frac{1}{7} \right) - 0,1428 \cdot 7 \cdot \tan^{-1}(0,1428) \right] = 1,79 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$$

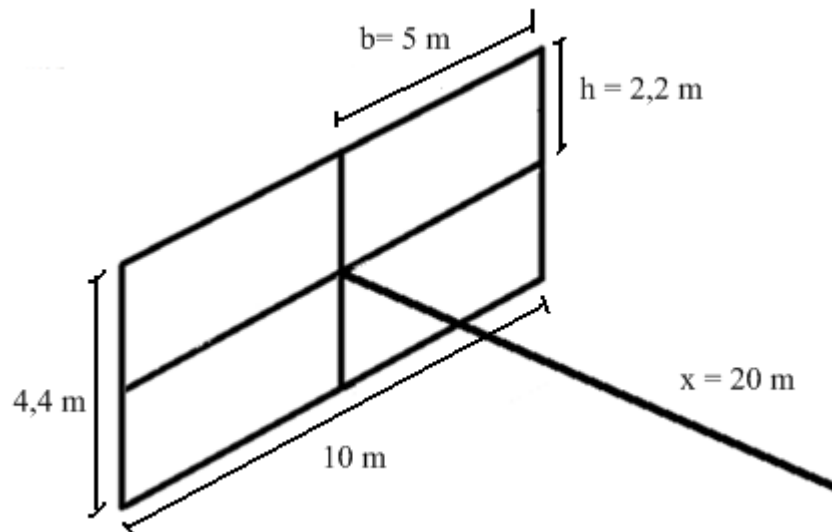
$$\begin{aligned} \phi_{max} &= \sqrt{\phi_h^2 + \phi_v^2} = \quad \text{Ekvation C.9} \\ &= \sqrt{(1,79 \cdot 10^{-5})^2 + (6,74 \cdot 10^{-4})^2} = 6,74 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\phi_{tot} = 4 \cdot \phi_{max} = 4 \cdot 6,74 \cdot 10^{-4} = 0,0027$$

Den strålning som en person utsätts för vid öppningen till skepp 5 beräknas genom:

$$\begin{aligned} \dot{q}'' &= \phi_{tot} \cdot \dot{q}_{flamma}'' = & \text{Ekvation C.10} \\ &= 0,0027 \cdot 267 \text{ kW/m}^2 = 0,72 \text{ kW/m}^2 \end{aligned}$$

Om branden skulle vara placerad på den sida av plåtskåpen som är mot öppningen in till skepp 5 skulle branden inte vara skyddad och synfaktorn skulle bli större. Därför beräknas strålningen för branden om den är placerad där. Ur figur C.5 framgår dimensioner på flamman och avstånd till öppningen in till skepp 5.



Figur C.5. Flamman approximeras till en rektangel. Måtten för b, h och x redovisas i figuren.

Beräkningarna redovisas nedan:

$$h_r = \frac{h}{b} = \frac{2,2}{5} = 0,44$$

$$x_r = \frac{x}{b} = \frac{20}{5} = 4$$

$$A_r = \frac{1}{\sqrt{h_r^2 + x_r^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,44^2 + 4^2}} = 0,2485$$

$$B_r = \frac{h_r}{\sqrt{10x_r^2}} = \frac{0,44}{\sqrt{10 \cdot 4^2}} = 0,0348$$

$$\begin{aligned}
\phi_v &= \frac{1}{2\pi} \left[h_r A_r \tan^{-1}(A_r) + \left(\frac{B_r}{h_r} \right) \tan^{-1}(B_r) \right] = \\
&= \frac{1}{2\pi} \left[0,44 \cdot 0,2485 \cdot \tan^{-1} 0,2485 + \left(\frac{0,0348}{0,44} \right) \cdot \tan^{-1} 0,0348 \right] = 0,00468 \\
\phi_h &= \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1} \left(\frac{1}{x_r} \right) - A_r \cdot x_r \cdot \tan^{-1}(A_r) \right] = \\
&= \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1} \left(\frac{1}{4} \right) - 0,2485 \cdot 4 \cdot \tan^{-1}(0,2485) \right] = 4,57 \cdot 10^{-4} \\
\phi_{max} &= \sqrt{\phi_h^2 + \phi_v^2} = \sqrt{(4,57 \cdot 10^{-4})^2 + (0,00468)^2} = 0,0047 \\
\phi_{tot} &= 4 \cdot \phi_{max} = 4 \cdot 0,0047 = 0,0188
\end{aligned}$$

Den strålning som en person utsätts för vid öppningen till skepp 5 beräknas genom:

$$\dot{q}'' = \phi_{tot} \cdot \dot{q}_{flamma}'' = 0,0188 \cdot 267 \text{ kW/m}^2 = 5 \text{ kW/m}^2$$

C.4 Strålning från brandgaslager

Från FDS fås den maximala temperaturen som uppnås i brandgaslagret på en plats där personer kan tänkas befinna sig. Denna är 200°C och uppnås utanför ingången till skepp 5 efter cirka 500 sekunder. Strålningen mot golvet beräknas enligt ekvation från *Enclosure Fire Dynamics* (Karlsson & Quintiere, 2000):

$$\dot{q}'' = \phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 = 1 \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 473^4 = 2,8 \text{ kW/m}^2 \quad \text{Ekvation C.11}$$

$\phi = 1$ då det antas att brandgaslagret täcker hela takytan. $\varepsilon = 1$ då det antas att brandgaslagret strålar som en svartkropp.

I resten av utställningshallen blir den maximala temperaturen i brandgaslagret ca 100 °C. Strålningen beräknas enligt tidigare ekvation:

$$\dot{q}'' = \phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 = 1 \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 373^4 = 1,1 \text{ kW/m}^2$$

C.5 Syrekontroll utställningshallen

I detta avsnitt kontrolleras huruvida branden blir ventilationskontrollerad.

Utställningshallens volym beräknas utifrån ritningar till ca 36 128,4 m³. Massan syre beräknas:

$$m_{O_2} = 36128,4 \cdot \rho_{luft} \cdot (0,23 - 0,15) = 36128,4 \cdot 1,2 \cdot (0,23 - 0,15) = 3468,3 \text{ kg}$$

Vid förbränning av ett kilo syre frigörs ca 13,1 MJ (Karlsson & Quintiere, 2000). Detta medför att 45 435,1 MJ kan frigöras vid förbränning i utställningshallen om lokalen är helt stängd och tät.

Tiden till maximal effektutveckling beräknas:

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{16333,2}{0,047}} = 589,5 \text{ s} \quad \text{Ekvation C.12}$$

Den energi som går åt under brandens tillväxt beräknas sedan genom integrering av $\dot{Q} = \alpha t^2$.

$$Q = \int_0^t \alpha t^2 dt = \int_0^{589,5} 0,047 t^2 dt = 0,047 \cdot \frac{589,5^3}{3} = 3209,5 \text{ MJ}$$

Den energi som sedan finns kvar för förbränning blir då:

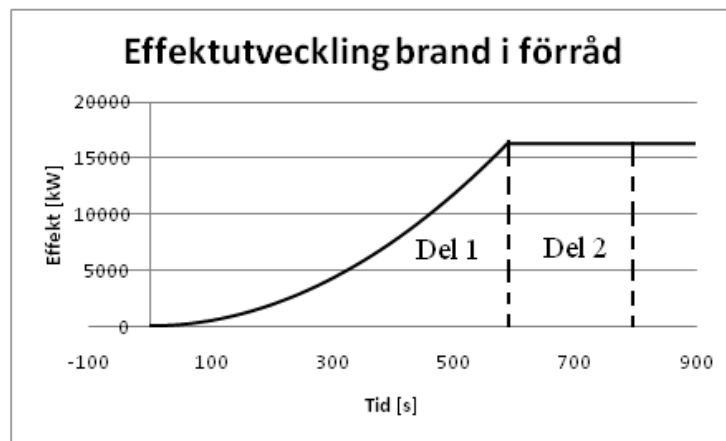
$$45435,1 - 3209,5 = 42225,6 \text{ MJ}$$

Om branden har tillräckligt bränsle för att hålla förbränningen stationär på maximala effektutvecklingen 16,332 MW räcker syret i lokalen i cirka 43 min, vilket förutsätter att det är helt omblandat. Branden kommer således att vara bränslekontrollerad. Denna beräkning visas nedan:

$$16,332 t = 42225,6 \Rightarrow t = \frac{42225,6}{16,332} = 2585,5 \text{ s} \approx 43 \text{ min}$$

C.6 Förbrukad mängd bränsle

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{mattor} + \dot{Q}_{träpallar} = 4423,2 + 11910 = 16333,2 \text{ kW}$$



Figur C.6. Den beräknade effektutvecklingen för brand i förråd.

Tiden till maximal effektutveckling beräknas:

$$t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{16333,2}{0,047}} = 589,5 \text{ s}$$

Kurvan delas in i två delar: en del för tillväxtfasen upp till maximal effektutveckling och en del då effektutvecklingen är konstant, fram till dess att kritiska förhållanden uppstår. Se figur C.6. Mängden frigjord energi beräknas nedan:

$$\text{Del 1} \quad Q_1 = \int_0^t \alpha t^2 dt = \int_0^{589,5} 0,047 t^2 dt = 0,047 \cdot \frac{589,5^3}{3} = 3209,5 \text{ MJ}$$

$$\text{Del 2} \quad Q_2 = \dot{Q} \cdot t = 16,3332 \cdot (796 - 589,5) = 3372,8 \text{ MJ}$$

$$Q_{tot} = 3209,5 + 3372,8 = 6582,3 \text{ MJ}$$

Mängden polypropen som har förbrukats efter 796 sekunder beräknas enligt nedan:

$$\Delta H_{c, \text{polypropen}} = 43,3 \text{ MJ/kg}$$

$$m = \frac{Q}{\Delta H_c} = \frac{6582,3}{43,3} = 152 \text{ kg}$$

Bilaga D Beräkningar för brand i korridor

I denna bilaga presenteras antaganden och beräkningar för branden i korridoren.

D.1 Effektutveckling

För branden i korridoren antas det att fem staplar med stolar (där varje stapel har åtta stolar) samt ett litet kontor brinner. Den totala maxeffekten antas som summan av de enskilda effektutvecklingarna. Effektutvecklingen för åtta stolar som staplats på varandra i ett hörn är 950 kW/m^2 . Det antas att varje stapel upptar 1 m^2 . Effektutvecklingen för ett litet kontor är 2490 kW (Särdqvist, 1993).

$$\dot{Q}_{stolar} = 950 \cdot 5 = 4750 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{litet\ kontor} = 2490 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{stolar} + \dot{Q}_{litet\ kontor} = 4750 + 2490 = 7240 \text{ kW}$$

D.2 Flamhöjd

Branden antas ha en area på 3 m^2 och en maximal effektutveckling på 7240 kW . För att beräkna flamhöjden behövs brandens diameter. Genom att approximera arean till en cirkel tas diametern fram:

$$A = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \pi \leftrightarrow D = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{3}{\pi}} = 1,95 \text{ m}$$

$$L_{flamma} = 0,235 \cdot \dot{Q}^{\frac{2}{5}} - 1,02D = 0,235 \cdot 7240^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot 1,95 = 6,2 \text{ m} \quad \text{Ekvation D.1}$$

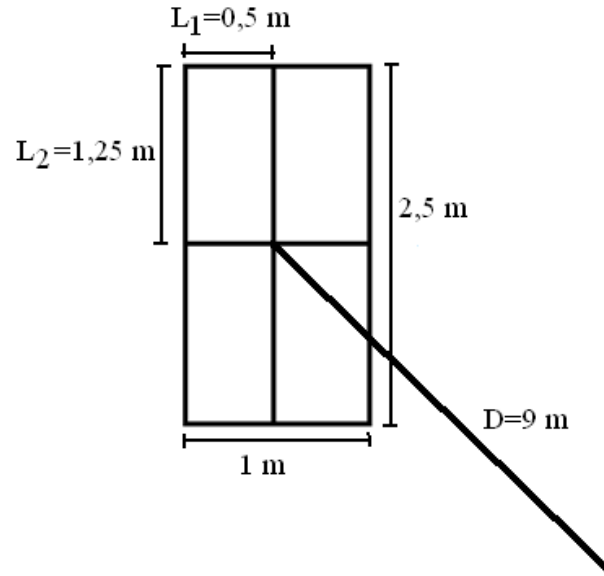
Flamman får en flamhöjd som är mycket större än takhöjden. Det kommer att bli en ceiling jet. Dock tas ingen hänsyn till denna i strålningsberäkningarna.

D.3 Strålning

Flamman antas ha en flamtemperatur på $800 \text{ }^\circ\text{C}$ (1073K) (Karlsson & Quintiere, 2000). Detta medför att flamman strålar ut med en effekt per kvadratmeter på:

$$\dot{q}''_{flamma} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 = 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4 = 75 \text{ kW/m}^2 \quad \text{Ekvation D.2}$$

För att bestämma hur mycket strålning en person riskerar att utsättas för beräknas synfaktorn. Flamman approximeras till en rektangel enligt figur D.1. Synfaktorn beräknas för en del och multipliceras sedan med fyra för att få den totala synfaktorn. Då flamhöjden är större än takhöjden används höjden från golv till tak. Någon hänsyn till takplymen tas inte.



Figur D.1. Illustration av approximationen av flaman. Värden för L_1 , L_2 och D redovisas.

$$\alpha_s = \frac{L_1 L_2}{D^2} = \frac{1,25 \cdot 0,5}{9^2} = 0,008 \approx 0,01 \quad \text{Ekvation D.3}$$

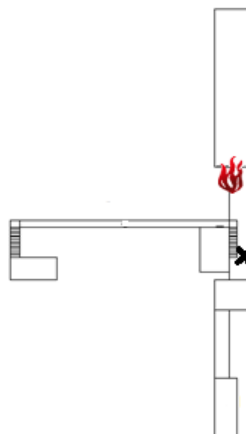
$$S = \frac{L_1}{L_2} = \frac{0,5}{1,25} = 0,4 \quad \text{Ekvation D.4}$$

Tabell 2.7 i *An introduction to fire dynamics* (Drysedale, 1998) ger: $\phi_{del} = 0,003$

$$\phi_{tot} = 0,003 \cdot 4 = 0,012$$

Strålningen mot en person 9 meter bort (detta motsvarar avståndet mellan branden och ingången till trappan, se figur D.2) blir då:

$$\dot{q}'' = \phi_{tot} \cdot \dot{q}_{flamma}'' = 0,012 \cdot 75 = 0,9 \text{ kW/m}^2 \quad \text{Ekvation D.5}$$



Figur D.2. Korridoren med brandens placering. En person som befinner sig vid krysset utsätts för den strålmängd som beräknas i Ekvation D.5.

D.4 Strålning från brandgaslager

Temperaturen vid vilken strålningen från brandgaslagret är $2,5 \text{ kW/m}^2$ beräknas. Anledningen till detta är att i detta brandscenario blir temperaturen i brandgaslagret mycket hög än i brandscenario 1, och därför är det bättre att ta reda på vid vilken temperatur som strålningen blir kritisk.

$$\dot{q}'' = \phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 = 1 \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 = 2500 \text{ kW/m}^2 \quad \text{Ekvation D.6}$$

$$\rightarrow T = \left(\frac{2500}{5,67 \cdot 10^{-8}} \right)^{\frac{1}{4}} = 458 \text{ K} = 185 \text{ }^\circ\text{C}$$

$\phi = 1$ då det antas att brandgaslagret täcker hela takytan. $\varepsilon = 1$ då det antas att brandgaslagret strålar som en svartkropp.

D.5 Syrekontroll korridoren

Korridorens volym beräknas utifrån ritningar till ca 523 m^3 . Massan syre beräknas sedan:

$$m_{O_2} = 523 \cdot \rho_{luft} \cdot (0,23 - 0,15) = 523 \cdot 1,2 \cdot (0,23 - 0,15) = 627,9 \text{ kg}$$

Vid förbränning av ett kilo syre frigörs ca $13,1 \text{ MJ}$ (Karlsson & Quintiere, 2000), detta medför att 658 MJ kan frigöras vid förbränning i utställningshallen om lokalen är helt stängd och tät.

Tiden till maximal effektutveckling beräknas:

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{7240}{0,012}} = 776,7 \text{ s} \quad \text{Ekvation D.7}$$

Tiden till dess att 658 MJ har förbränts beräknas:

$$Q = \int_0^t \alpha t^2 dt = 0,012 \frac{t^3}{3} = 658 \text{ MJ} \Rightarrow t = 547,9 \text{ s}$$

Sedan beräknas den effektutveckling som nåtts vid denna tid:

$$\dot{Q} = \alpha t^2 = 0,012 \cdot 547,9^2 = 3602,3 \text{ kW}$$

Branden kommer således inte kunna nå maximal effektutveckling med den syremängd som finns tillgänglig i lokalen, det är således troligt att branden blir ventilationskontrollerad.

Bilaga E DETACT-QS

Här presenteras indata och resultat för beräkningarna i DETACT-QS. Beräkningarna utförs för att verifiera aktiveringstiden som fås ur FDS.

E.1 Brandscenario 1 – brand i förråd

Nedan visas indata och resultatet för brandscenario 1.

E.1.1 Indata

Vertikalt avstånd mellan brandkälla och detektor = 3,4 m = 11,2 ft

Detta vertikala avstånd uppskattas.

Radiellt avstånd mellan brandkälla och detektor = 5,7 m = 18,7 ft

Omgivningstemperatur = 20°C = 68 °F

RTI-värdet för rökdetektorerna antas vara $0,5 (m \cdot s)^{1/2}$ (Nilsson, D & Holmstedt, G, 2008). Vid beräkning av tid till aktivering för rökdetektorer med DETACT-QS får man anta vilken temperaturökning som krävs för aktivering. Ett värde som vanligtvis används en temperaturökning på 13 °C, men nya undersökningar visar att nya detektorer ibland endast kräver en temperaturökning på 4-5 °C (Nilsson, D & Holmstedt, G, 2008). Då det är oklart hur nya detektorerna i Aeroseum är samt vilken temperaturökning som krävs för aktivering utförs det beräkning med tre olika värden, nämligen: 13 °C, 9 °C och 5 °C.

$$RTI = 0,5(m \cdot s)^{1/2} = 0,906(ft \cdot s)^{1/2}$$

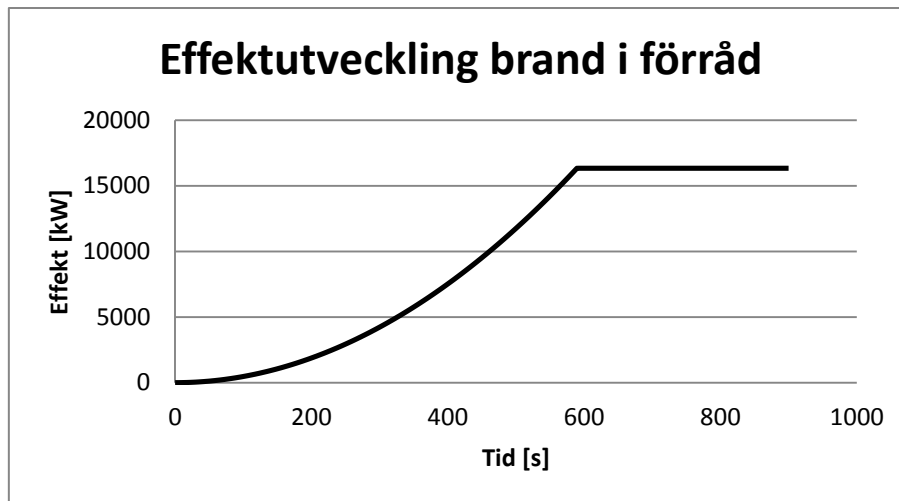
$$Aktiveringstemperatur\ 1 = 33\ ^\circ C = 91,4\ ^\circ F$$

$$Aktiveringstemperatur\ 2 = 29\ ^\circ C = 84,2\ ^\circ F$$

$$Aktiveringstemperatur\ 3 = 25\ ^\circ C = 77\ ^\circ F$$

Effektutvecklingen följer kurvan i figur E.1.

$$\alpha = 0,047\ kW/s^2$$



Figur E.1. Effektutveckling brand i förråd.

E.1.2 Resultat

I tabell E.1 nedan redovisas resultatet från beräkningarna.

Tabell E.1. Aktiveringstid vid olika aktiveringstemperaturer.

Aktiveringstemperatur [°C]	Aktiveringstid [s]
33	55
29	42
25	28

E.2 Brandscenario 2 – brand i korridor

Nedan visas indata och resultatet för brandscenario 2.

E.2.1 Indata

Vid simuleringarna i FDS användes rökdetektorer. I själva verket är det värmedetektorer med en aktiveringstemperatur på 60 °C som finns i korridoren. Även aktiveringstiden för dessa har beräknats i DETACT-QS. Se avsnitt E.1.1 för bakgrund till aktiveringstemperatur 2 – 4.

Vertikalt avstånd mellan brandkälla och detektor = 2,55m = 8,37 ft

Radiellt avstånd mellan brandkälla och detektor = 5,0 m = 16,4 ft

Omgivningstemperatur = 20°C = 68 °F

RTI = 0,5(m · s)^{1/2} = 0,906(ft · s)^{1/2}

Aktiveringstemperatur 1 = 33 °C = 91,4 °F

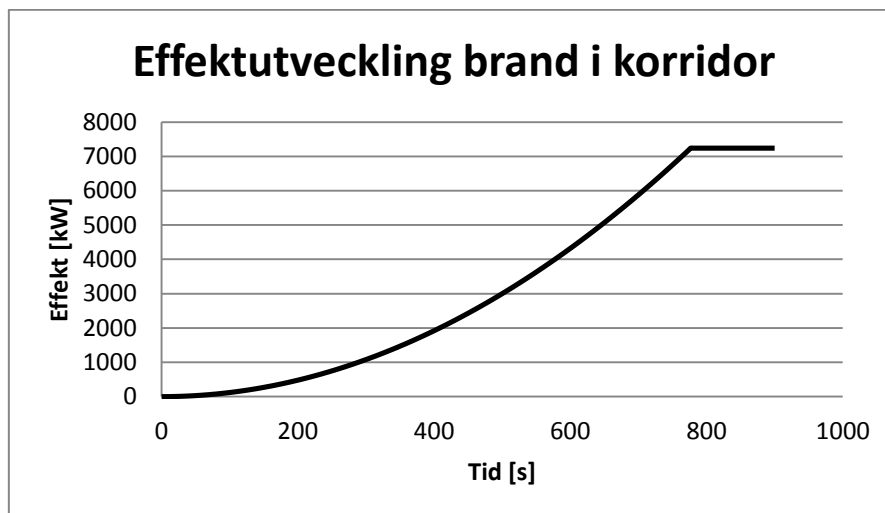
Aktiveringstemperatur 2 = 29 °C = 84,2 °F

Aktiveringstemperatur 3 = 25° C = 77 °F

Aktiveringstemperatur 4 = 60 °C = 140 °F

Effektutvecklingen följer kurvan i figur E.2.

$$\alpha = 0,012 \text{ kW/s}^2$$



Figur E.2. Effektutveckling brand i korridor.

E.2.2 Resultat

I tabell E.2 nedan redovisas resultatet av beräkningarna.

Tabell E.2. Aktiveringstid vid olika aktiveringstemperaturer.

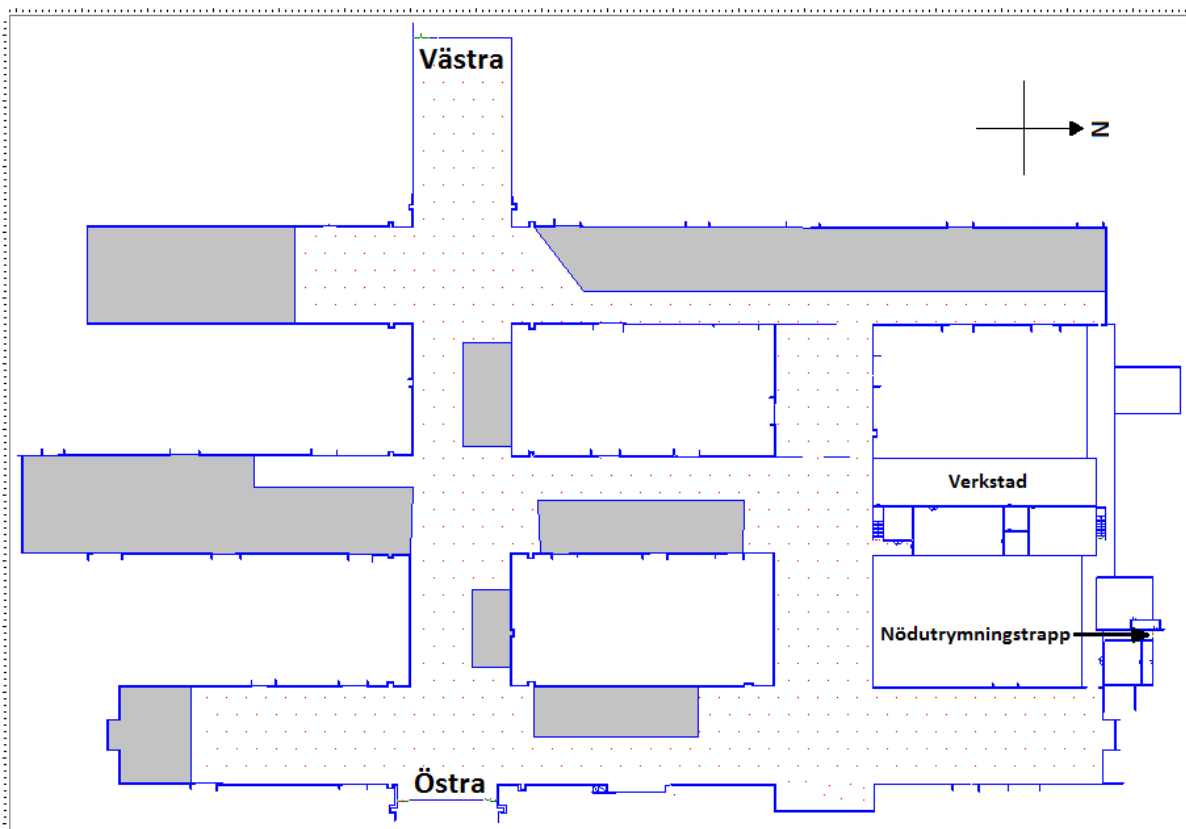
Aktiveringstemperatur [°C]	Aktiveringstid [s]
33	82
29	57
25	41
60	187

Bilaga F Simulex

F.1 Indata, förenklingar och antaganden

Flera förenklingar och antaganden har gjorts vid simuleringar av förflyttningstid i Simulex. Om någon variabel inte nämns har denna inte ändrats från grundinställningarna i programmet.

Nödutrymningsvägen i norr som består av 113 trappsteg har satts till en trappa med bredden 0,9 m och längden 70 m. Anledningen till längden är att försöka få realistiska gångtider för trappan som är smal, brant och kan vara hal. Dock är besökarna inte längre i fara när de befinner sig i trappan.

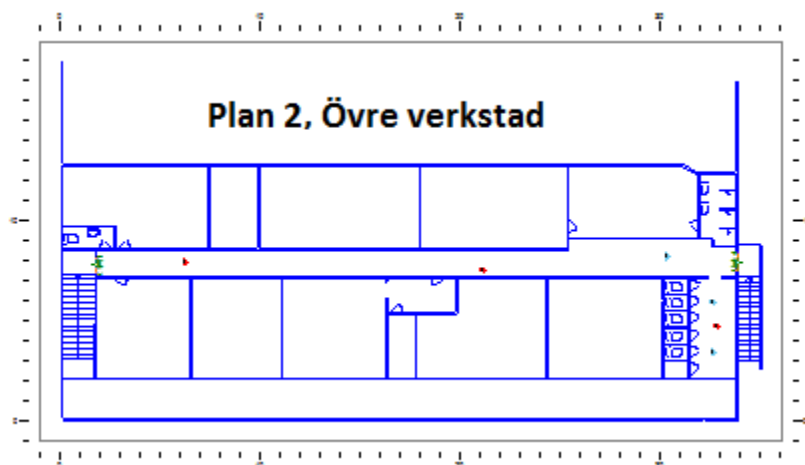


Figur F.1. Ritning över nedre plan.

Östra nedfarten har uteslutits i simuleringarna då personerna antas vara säkra på andra sidan jalousiporten. Porten antas vara nere, vilket är normalfallet under öppettider, och två av dörrarna har fått bredden 0,8 och två 0,9 m.

Västra nedfarten har approximerats till en trappa med längden 40 m vilket har antagits motsvara tiden det tar att ta sig uppför lutningen i nedfarten. Bredden har satts till 3,5 m för att försöka få in begränsningen av de efterlysande linjerna. Trappan har satts att börja vid skynket som avdelade den allmänna ytan med den för endast personal. På grund av skynket och lutningen kan brandgasspridning ske upp i västra nedfarten och därmed är det intressant att se hur lång tid det tar för personer att utrymma genom denna utgång.

Utställningsobjekt och avspärrade ytor har stängts av och visas som grå zoner i figur F.1. Plan 2, övre verkstad, visas i figur F.2.



Figur F.2. Ritning över övre verkstad.

Personerna har satts att reagera direkt eftersom utrymningslarmet går i hela byggnaden samtidigt. Populationen har valts för att försöka spegla den typ av besökare som kan tänkas befinna sig i museet. Andra egenskaper som gånghastighet med mera redovisas i tabell F.1 för populationen Aerozeum.

Tabell F.1. Populationen som användes i Simulex.

Population "Aerozeum"	Andel [%]	Gånghastighet med avvikelse [m/s]	I trapp minskar gånghastighet med en faktor [-]	Färg
Vuxna män	30	1,35 ($\pm 0,2$)	0,5	Röd
Vuxna kvinnor	20	1,15 ($\pm 0,2$)	0,5	Grön
Barn	30	0,9 ($\pm 0,3$)	0,5	Ljusblå
Äldre	15	0,8 ($\pm 0,3$)	0,5	Stålgrå
Handikappade	5	0,8 ($\pm 0,37$)	0,4	Mörkgrå

F.2 Förflyttningstider vid olika scenarier

Fler olika scenarier har testats i Simulex. Populationen har vid alla simuleringar varit densamma medan variabler som placering, antal personer och framkomlighet har varierats.

Först testades hur många personer som hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. Brandgaslagrets höjd är den faktor som blir kritisk först. Simulex ger endast förflyttningstiden så tiden till kritiska förhållanden har subtraherats med varseblivningstid och reaktionstid för att ta reda på hur lång den maximala förflyttningstiden kan vara. Personerna är jämnt fördelade i lokalen, inga antas befinna sig i trapporna men några antas befinna sig på andra våningen vid toaletterna.

Vid normalfallet antas 600 personer befinna sig i byggnaden eftersom det är Aerozeums primära önskemål om besökarkapacitet. Personerna är jämnt fördelade i lokalen och några antas befinna sig på övre plan. Endast några få sätts att använda nödutrymningstrappan som utrymningsväg vilket borde vara fallet i verkligheten. Majoriteten utrymmer genom östra nedfarten på grund av att detta är ingången.

Om ingen utrymmer genom nödutrymningstrappan försämras utrymningstiden något men samtliga hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår.

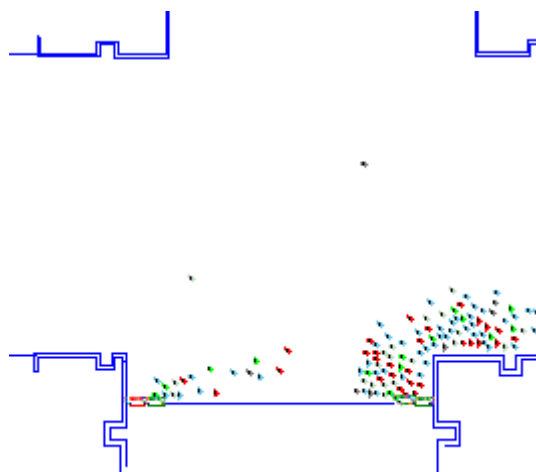
Ett värsta scenario torde vara om östra nedfarten blir blockerad. Dels för att det är där majoriteten av personerna har gått in och dels för att östra nedfarten har fyra dörrar och därmed blir den bredaste utgången. Blir dessutom nödutrymningstrappan otillgänglig eller om ingen utrymmer genom den av annan anledning (till exempel otillräcklig information) försämras förflyttningstiden ytterligare.

En sammanställning visas i tabell F.2 nedan.

Tabell F.2. Resultande förflyttningstid för olika scenarier.

Scenario	Förflyttningstid [min:s]	Antal personer	Speciella omständigheter
Normalfall	4:20	600	Jämnt fördelade i lokalen
Evenemang	4:05	300	Personerna är placerade i bänkrader i Skepp 6
Östra nedfarten otillgänglig	12:45	600	Brand spärrar av östra nedfarten
Nödutrymningstrappan otillgänglig	6:20	600	Brand i korridoren blockerar nödutrymningstrappen
Endast västra nedfarten tillgänglig	8:30	600	

Vid samtliga scenarier bildas köer vid utgångarna och trapporna, se figur F.3.



Figur F.3. Köbildning vid östra nedfarten vid simulering i Simulex.

F.3 Känslighetsanalys av Simulex

De olika variablerna som påverkar förflyttningstiden har olika stor betydelse. Flera simuleringar har gjorts med olika förutsättningar för att få en uppfattning om vilka faktorer som påverkar mest. Faktorer som har varierats är antalet personer, placering av personer, typ av personer och vilka utrymningsvägar som finns tillgängliga. Resultaten från simuleringarna redovisas nedan.

Personantalet har varierats enligt nedanstående tabell F.3 men visade sig ha liten inverkan på förflyttningstiden.

Antal personer	Förflyttningstid, "All male" [min:s]
100	2:40
200	2:25
300	2:39
600	2:54
800	2:53
1200	3:14

F.3.2 Placering

The floor plan shows a large rectangular building with several internal partitions. A central corridor provides access to various rooms. On the right side, there is a large room with a grid of small squares, possibly representing a seating area or a field of equipment. The plan also shows several smaller rooms and a large open area on the left side.

110

Tabell F.4. Simulerad förflyttningstid vid olika utgångsscenarier.

Placering	Förflyttningstid [min:s]
Jämnt fördelade	2:46
Konsert	4:03
Långbord	2:34

600 personer (All male) har använts i lokalen. Alla använder sig av östra nedfarten som utrymningsväg. 1 procent av besökarna antas befinna sig på plan 2.

F.3.3 Tillgängliga utrymningsvägar

Simuleringar har gjorts för att kontrollera hur utrymningsvägarna påverkar förflyttningshastigheten. Resultaten visade att det hade betydelse vilken utrymningsväg som fanns tillgänglig. Det tog betydligt längre tid för personerna att utrymma genom västra nedfarten vilket kan bero på att själva nedfarten har approximerats till en trappa men även att det är en bred utgång istället för fyra separata som i östra nedfarten.

Tabell F.5. Förflyttningstid vid olika tillgängliga utrymningsvägar.

Tillgängliga utrymningsvägar	Förflyttningstid [min:s]
Endast Östra	2:46
Endast Västra	4:53
80 % Östra, 20 % Västra	2:31
50 % Östra, 50 % Västra	3:22
20 % Östra, 80 % Västra	3:58

600 personer (All male) har använts där 1 procent befinner sig på plan 2, men i övrigt är de jämnt fördelade i lokalen.

F.3.4 Persontyp

Olika persontyper har olika gånghastighet vilket resulterar i olika förflyttningstider. Detta visade sig i simuleringarna ha stor inverkan och därför bör persontyperna väljas med noggrannhet.

Tabell F.6. Två olika persontyper med olika gånghastigheter, samt förflyttningstiden för dessa.

Persontyp	Gånghastighet med avvikelse [m/s]	I trapp minskar gånghastighet med en faktor [-]	Förflyttningstid [min:s]
Enbart män	1,35 ($\pm$ 0,2)	0,5	2:31
Äldre	0,8 ($\pm$ 0,3)	0,5	6:09

600 personer används, de är jämnt fördelade men 1 procent befinner sig på plan 2. Ungefär 80 procent använder östra nedfarten.

Bilaga G Simuleringar i FDS

I denna bilaga beskrivs de största antaganden som gjorts i simuleringarna av brandscenarierna.

G.1 Brandscenario 1 – Brand i förråd

I FDS-simuleringen av brandscenario 1 har ett flertal antaganden gjorts. Dessa beskrivs i detta avsnitt.

I verkligheten har hela anläggningen ett rundat tak med en minsta höjd på cirka 2,9 m och en maximal höjd på 5,8 meter. I simuleringen har anläggningen byggts upp med rätblock som har samma totala volym som anläggningen har i verkligheten. Med denna approximation blir den använda takhöjden 4,4 meter. Denna approximation har sin grund i dels svårigheten att bygga upp ett rundat tak i FDS, dels att kännedom om exakt hur taket böjer sig saknas. Den västra tunneln har endast byggts upp fram till den gardin som täcker större delen av tunneln. Lutningen fram till denna gardin har approximerats till noll, detta då lutningen i verkligheten inte är känd samt att denna inte är markant fram till gardinen. Figur G.2 illustrerar den uppbyggda geometrin.

Hänsyn till ventilationen i anläggningen har inte tagits, detta då ritningar över ventilationen saknas. Det har antagits att porten till östra tunneln är stängd under hela brandförloppet och helt tät. Handberäkning av syretillgång, se bilaga C, visar att även om lokalen är helt stängd räcker syret för hela brandförloppet.

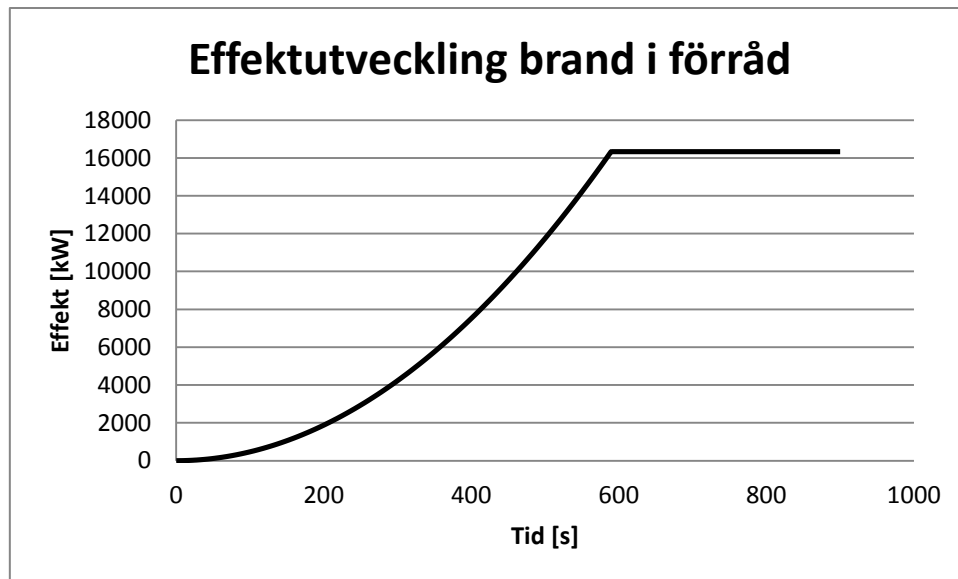
Strålningen har stängts av i simuleringen. Då lokalens volym är mycket stor antas att strålningen inte kommer ha någon större påverkan på brandförloppet.

I FDS är det endast möjligt att använda sig av ett ämne i branden. På grund av denna begränsning har hela branden definierats som en brand i polypropen. Värdet för sotproduktion har satts till 0,059 g/g. (DiNenno, 2002)

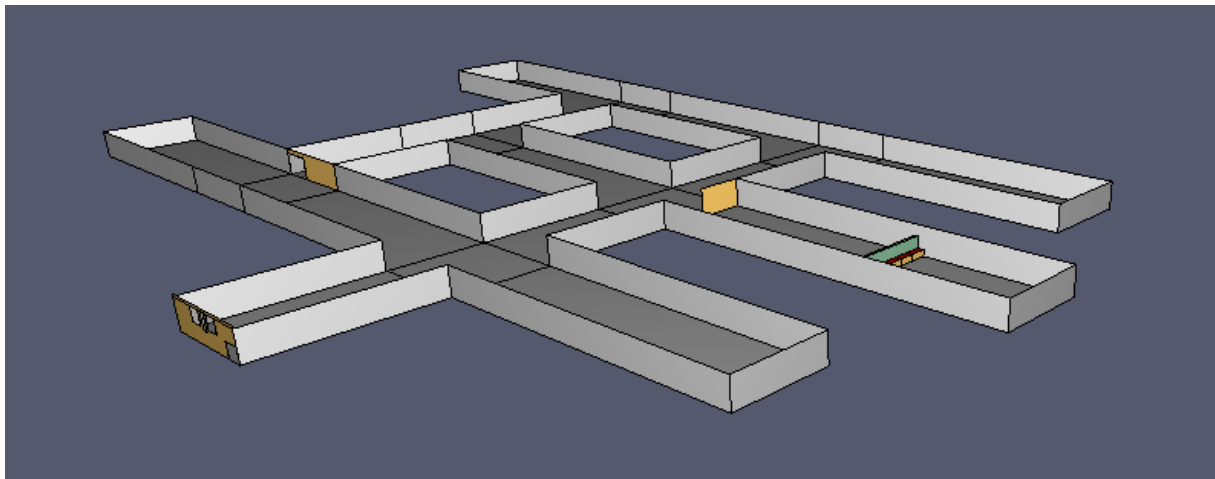
Cellstorleken har satts till 20 cm i skepp 4 och 5, samt i gången mellan östra och västra tunneln. Detta då det är denna del av anläggningen som branden är i samt att det är där de två primära utrymningsvägarna är. Således är behovet av en bättre upplösning större i dessa delar. I resten av anläggningen användes en cellstorlek på 40 cm.

Om bränsleytan är stor blir representationen i en FDS-simulering dålig i början av brandförloppet när effektutvecklingen är låg. För att få en bättre representation har därför bränsleytan delats upp i fyra lika stora delar som börjar brinna vid olika tidpunkter. Totalt för alla bränsleytor blir effektutvecklingen enligt figur G.1.

Koden till simuleringen finns i bilaga H.



Figur G.1. Den totala effektutvecklingen för brand i förråd i skepp 5.



Figur G.2. Illustration av hur geometrin byggts upp i FDS.

G.2 Brandscenario 2 – Brand i korridor bakom verkstad

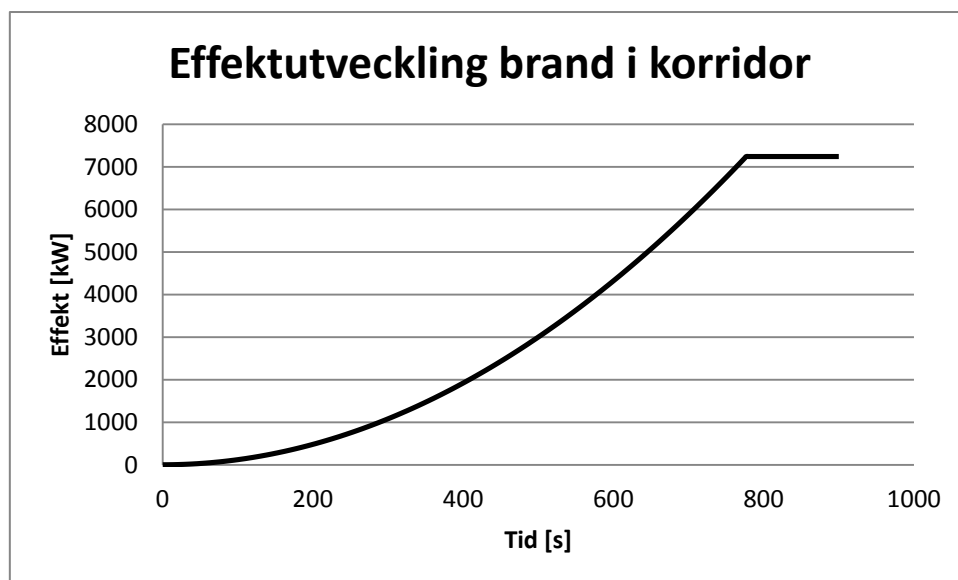
I FDS-simuleringen av brandscenario 2 har ett flertal antaganden gjorts. Dessa beskrivs i detta avsnitt.

Hänsyn till ventilationen i korridoren har inte tagits, detta då ritningar över ventilationen saknas. Det har antagits att dörrarna till båda trapphusen samt att en dörr från utställningshallen är öppna. Detta då dessa dörrar var uppställda vid besöket. Alla rum på övervåningen utom toaletten har antagits vara stängda (då besökare endast har tillträde till toaletten). Cellstorleken har satts till 15 cm i hela lokalen. Figur G.4 visar hur lokalen har byggts upp.

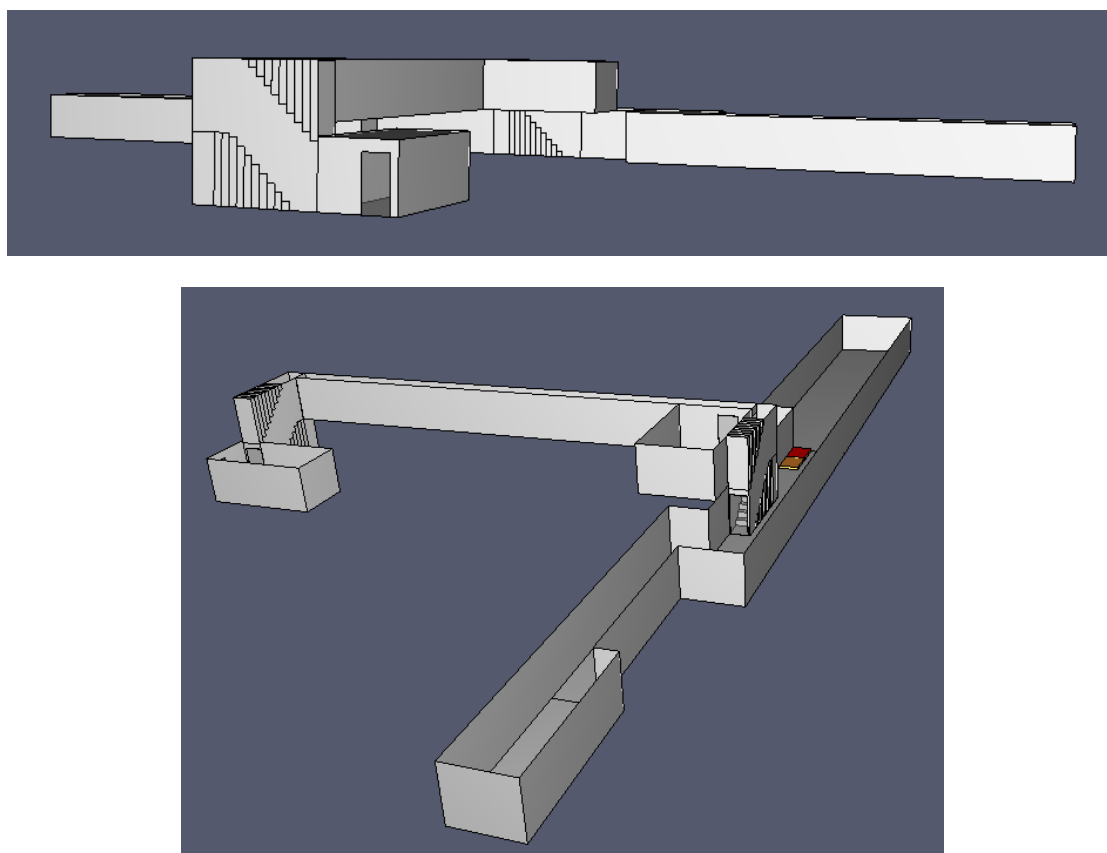
I FDS är det endast möjligt att använda sig av ett ämne i branden. På grund av denna begränsning har hela branden definierats som en brand i cellulosa. Värdet för sotproduktionen har satts till 0,015 g/g. (DiNenno, 2002)

Om bränsleytan är stor blir representationen i en FDS-simulering dålig i början av brandförloppet när effektutvecklingen är låg. För att få en bättre representation har därför bränsleytan delats upp i två lika stora delar som börjar brinna vid olika tidpunkter. Totalt för alla bränsleytor blir effektutvecklingen enligt figur G.3.

Koden till simuleringen finns i bilaga H.



Figur G.3. Den totala effektutvecklingen för brand i korridor bakom verkstaden.



Figur G.4. Illustration över hur geometrin byggts upp i FDS.

Bilaga H Kod FDS

H.1 Simulering brandscenario 1 – brand i förråd

&HEAD CHID='Aeroseum', TITLE='Aeroseum'/

&TIME T_END=900.00/

&DUMP RENDER_FILE='aeroseum.ge1', DT_RESTART=50.00/

&MISC RADIATION=.FALSE./

-----MESHER-----

&MESH ID='MESH', IJK=75,375,24, XB=0.00,15.00,0.00,75.00,0.00,4.80/

&MESH ID='MESH02', IJK=324,75,24, XB=-64.80,0.00,60.00,75.00,0.00,4.80/

&MESH ID='MESH03', IJK=180,75,24, XB=15.00,51.00,60.00,75.00,0.00,4.80/

&MESH ID='MESH09', IJK=76,200,24, XB=-0.2000,15.00,75.00,115.00,0.00,4.80/

&MESH ID='MESH04', IJK=38,125,12, XB=-36.00,-20.80,10.00,60.00,0.00,4.80/

&MESH ID='MESH05', IJK=38,120,12, XB=35.80,51.00,12.00,60.00,0.00,4.80/

&MESH ID='MESH06', IJK=38,100,12, XB=35.80,51.00,75.00,115.00,0.00,4.80/

&MESH ID='MESH07', IJK=38,240,12, XB=-36.20,-21.00,75.00,171.00,0.00,4.80/

&MESH ID='MESH08', IJK=180,40,12, XB=-21.00,51.00,115.00,131.00,0.00,4.80/

&MESH ID='MESH10', IJK=38,90,12, XB=35.80,51.00,131.00,167.00,0.00,4.80/

-----Reaction-----

&REAC ID='Polypropen',

C=3.00,

H=6.00,

O=0.00,

N=0.00,

HEAT_OF_COMBUSTION=4.3300000E004, (SFPE, 2002)

SOOT_YIELD=0.0590/

-----Material-----

&MATL ID='STEEL',

```

FYI='Drysdale, Intro to Fire Dynamics - ATF NIST Multi-Floor Validation',
SPECIFIC_HEAT=0.4600,
CONDUCTIVITY=45.80,
DENSITY=7.8500000E003,
EMISSIVITY=0.95/
&MATL ID='CONCRETE',
FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',
SPECIFIC_HEAT=1.04,
CONDUCTIVITY=1.80,
DENSITY=2.2800000E003/

&SURF ID='Skap',
RGB=146,202,166,
MATL_ID(1,1)='STEEL',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
THICKNESS(1)=0.4000/

-----Branden-----

&SURF ID='burner',
COLOR='RED',
HRRPUA=1.6333200E003,
RAMP_Q='burner_RAMP_Q'/
&RAMP ID='burner_RAMP_Q', T=0.00, F=0.00/
&RAMP ID='burner_RAMP_Q', T=100.00, F=0.1150/
&RAMP ID='burner_RAMP_Q', T=145.00, F=0.2420/
&RAMP ID='burner_RAMP_Q', T=205.00, F=0.4837/
&RAMP ID='burner_RAMP_Q', T=295.00, F=1.00/
&RAMP ID='burner_RAMP_Q', T=900.00, F=1.00/

```

```

&SURF ID='vagg',
    COLOR='GRAY 80',
    MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.2000/
&SURF ID='burner02',
    COLOR='RED',
    HRRPUA=1.6333200E003,
    RAMP_Q='burner02_RAMP_Q'/
&RAMP ID='burner02_RAMP_Q', T=0.00, F=0.00/
&RAMP ID='burner02_RAMP_Q', T=295.00, F=0.00/
&RAMP ID='burner02_RAMP_Q', T=416.80, F=1.00/
&RAMP ID='burner02_RAMP_Q', T=900.00, F=1.00/
&SURF ID='burner03',
    COLOR='RED',
    HRRPUA=1.6333200E003,
    RAMP_Q='burner03_RAMP_Q'/
&RAMP ID='burner03_RAMP_Q', T=0.00, F=0.00/
&RAMP ID='burner03_RAMP_Q', T=416.80, F=0.00/
&RAMP ID='burner03_RAMP_Q', T=510.50, F=1.00/
&RAMP ID='burner03_RAMP_Q', T=900.00, F=1.00/
&SURF ID='burner04',
    COLOR='RED',
    HRRPUA=1.6333200E003,
    RAMP_Q='burner04_RAMP_Q'/
&RAMP ID='burner04_RAMP_Q', T=0.00, F=0.00/
&RAMP ID='burner04_RAMP_Q', T=510.50, F=0.00/

```

&RAMP ID='burner04_RAMP_Q', T=589.50, F=1.00/

&RAMP ID='burner04_RAMP_Q', T=900.00, F=1.00/

-----Geometrin-----

&OBST XB=4.00,15.00,24.80,25.20,0.00,2.80, SURF_ID='Skap'/ Obstruction

&OBST XB=5.00,7.50,23.80,24.80,0.00,1.00, SURF_IDS='burner','INERT','INERT'/
Obstruction

&OBST XB=-63.00,-36.00,60.00,75.00,4.40,4.40, SURF_ID='vagg'/ Obstruction

&OBST XB=0.00,15.00,0.00,60.00,4.40,4.40, SURF_ID='vagg'/ Obstruction

&OBST XB=35.80,51.00,130.20,166.00,4.40,4.40, SURF_ID='vagg'/ Obstruction

&OBST XB=15.00,51.00,115.00,130.20,4.40,4.40, SURF_ID='vagg'/ Obstruction

&OBST XB=-36.20,15.00,115.00,130.20,4.40,4.40, SURF_ID='vagg'/ Obstruction

&OBST XB=-36.20,-21.00,130.20,166.00,4.40,4.40, SURF_ID='vagg'/ Obstruction

&OBST XB=-36.20,-21.00,75.00,115.00,4.40,4.40, SURF_ID='vagg'/ Obstruction

&OBST XB=-0.2000,15.00,75.00,115.00,4.40,4.40, SURF_ID='vagg'/ Obstruction

&OBST XB=35.80,51.00,75.00,115.00,4.40,4.40, SURF_ID='vagg'/ Obstruction

&OBST XB=36.00,51.00,60.00,75.00,4.40,4.40, SURF_ID='vagg'/ Obstruction

&OBST XB=15.00,36.00,60.00,75.00,4.40,4.40, SURF_ID='vagg'/ Obstruction

&OBST XB=0.00,15.00,60.00,75.00,4.40,4.40, SURF_ID='vagg'/ Obstruction

&OBST XB=-21.00,0.00,60.00,75.00,4.40,4.40, SURF_ID='vagg'/ Obstruction

&OBST XB=-36.00,-21.00,60.00,75.00,4.40,4.40, SURF_ID='vagg'/ Obstruction

&OBST XB=35.80,51.00,15.00,60.00,4.40,4.40, SURF_ID='vagg'/ Obstruction

&OBST XB=-36.00,-20.80,10.00,60.00,4.40,4.40, SURF_ID='vagg'/ Obstruction

&OBST XB=0.00,0.00,0.00,60.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall

&OBST XB=0.00,15.00,0.00,0.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall

&OBST XB=15.00,15.00,0.00,60.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall

&OBST XB=-20.80,0.00,60.00,60.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall

&OBST XB=-20.80,-20.80,10.00,60.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall

&OBST XB=-36.00,-20.80,10.00,10.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=-36.00,-36.00,10.00,60.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=15.00,35.80,60.00,60.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=35.80,35.80,15.00,60.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=35.80,51.00,15.00,15.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=51.00,51.00,15.00,60.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=51.00,51.00,60.00,75.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=51.00,51.00,75.00,115.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=35.80,35.80,75.00,115.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=15.00,35.80,75.00,75.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=15.00,15.00,75.00,115.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=15.00,35.80,115.00,115.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=-0.2000,-0.2000,75.00,115.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=-21.00,-0.2000,75.00,75.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=-21.00,-21.00,75.00,115.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=-21.00,-0.2000,115.00,115.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=-36.20,-36.20,75.00,115.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=-36.20,-36.20,115.00,131.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=-36.20,-36.20,131.00,166.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=-36.20,-21.00,166.00,166.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=-21.00,0.00,130.20,130.20,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=0.00,15.00,130.20,130.20,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=15.00,35.80,130.20,130.20,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=35.80,35.80,130.20,166.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=35.80,51.00,166.00,166.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=51.00,51.00,115.00,130.20,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=51.00,51.00,130.20,166.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall

&OBST XB=-21.00,-21.00,130.20,166.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=-63.00,-36.00,60.00,60.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=-63.00,-36.20,75.00,75.00,0.00,4.40, SURF_ID='vagg'/ Wall
 &OBST XB=-63.00,-63.00,60.00,75.00,0.00,4.40, SURF_ID='INERT'/ Wall
 &OBST XB=-21.00,-21.00,115.00,130.20,0.00,4.40, SURF_ID='INERT'/ Wall
 &OBST XB=0.00,15.00,0.00,60.00,0.00,0.00, SURF_ID='vagg'/ Obstruction
 &OBST XB=35.80,51.00,130.20,166.00,0.00,0.00, SURF_ID='vagg'/ Obstruction
 &OBST XB=15.00,51.00,115.00,130.20,0.00,0.00, SURF_ID='vagg'/ Obstruction
 &OBST XB=-36.20,15.00,115.00,130.20,0.00,0.00, SURF_ID='vagg'/ Obstruction
 &OBST XB=-36.20,-21.00,130.20,166.00,0.00,0.00, SURF_ID='vagg'/ Obstruction
 &OBST XB=-36.20,-21.00,75.00,115.00,0.00,0.00, SURF_ID='vagg'/ Obstruction
 &OBST XB=-0.2000,15.00,75.00,115.00,0.00,0.00, SURF_ID='vagg'/ Obstruction
 &OBST XB=35.80,51.00,75.00,115.00,0.00,0.00, SURF_ID='vagg'/ Obstruction
 &OBST XB=35.80,51.00,60.00,75.00,0.00,0.00, SURF_ID='vagg'/ Obstruction
 &OBST XB=15.00,35.80,60.00,75.00,0.00,0.00, SURF_ID='vagg'/ Obstruction
 &OBST XB=0.00,15.00,60.00,75.00,0.00,0.00, SURF_ID='vagg'/ Obstruction
 &OBST XB=-20.80,0.00,60.00,75.00,0.00,0.00, SURF_ID='vagg'/ Obstruction
 &OBST XB=-36.00,-20.80,60.00,75.00,0.00,0.00, SURF_ID='vagg'/ Obstruction
 &OBST XB=35.80,51.00,15.00,60.00,0.00,0.00, SURF_ID='vagg'/ Obstruction
 &OBST XB=-36.00,-20.80,10.00,60.00,0.00,0.00, SURF_ID='vagg'/ Obstruction
 &OBST XB=-63.00,-36.00,60.00,75.00,0.00,0.00, SURF_ID='vagg'/ Obstruction
 &OBST XB=-63.00,-63.00,60.00,75.00,4.40,4.80, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
 &OBST XB=7.60,15.00,60.00,60.00,0.00,4.40, SURF_ID='INERT'/ Wall
 &OBST XB=7.50,10.00,23.80,24.80,0.00,1.00, SURF_IDS='burner02','INERT','INERT'/
 Obstruction
 &OBST XB=10.00,12.50,23.80,24.80,0.00,1.00, SURF_IDS='burner03','INERT','INERT'/
 Obstruction

&OBST XB=12.50,15.00,23.80,24.80,0.00,1.00, SURF_IDS='burner04','INERT','INERT'/
Obstruction

&HOLE XB=-6.3010000E001,-
6.2990000E001,6.0000000E001,6.2600000E001,0.0000000E000,2.2000000E000/ Hole

&HOLE XB=-6.3010000E001,-
6.2990000E001,6.8600000E001,7.0600000E001,2.4000000E000,4.4000000E000/ Hole

&HOLE XB=-6.3010000E001,-
6.2990000E001,6.4600000E001,6.6600000E001,2.4000000E000,4.4000000E000/ Hole

&HOLE XB=-6.3010000E001,-
6.2990000E001,6.7200000E001,6.8000000E001,2.0000000E000,4.4000000E000/ Hole

&HOLE XB=-2.1010000E001,-
2.0990000E001,1.2500000E002,1.3020000E002,0.0000000E000,3.6000000E000/ Hole

-----Vent-----

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-64.80,-64.80,60.00,75.00,0.00,4.80/ Vent

-----Devices-----

&PROP ID='Heskestad Ionization', QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',
LENGTH=1.80/

&DEVC ID='Brandgaslager1', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=-54.00,-
54.00,63.00,63.00,0.00,4.40/

&DEVC ID='Brandgaslager10', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=44.00,44.00,123.00,123.00,0.00,4.40/

&DEVC ID='Brandgaslager11', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=44.00,44.00,160.00,160.00,0.00,4.40/

&DEVC ID='Brandgaslager12', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=-28.00,-
28.00,160.00,160.00,0.00,4.40/

&DEVC ID='Brandgaslager2', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=-28.00,-
28.00,63.00,63.00,0.00,4.40/

&DEVC ID='Brandgaslager3', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=7.50,7.50,63.00,63.00,0.00,4.40/

&DEVC ID='Brandgaslager302', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=7.50,7.50,45.00,45.00,0.00,4.40/

&DEVC ID='Brandgaslager4', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=44.00,44.00,63.00,63.00,0.00,4.40/

&DEVC ID='Brandgaslager5', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=44.00,44.00,90.00,90.00,0.00,4.40/

&DEVC ID='Brandgaslager6', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=7.50,7.50,90.00,90.00,0.00,4.40/

&DEVC ID='Brandgaslager7', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=-28.00,-
28.00,90.00,90.00,0.00,4.40/

&DEVC ID='Brandgaslager8', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=-28.00,-
28.00,123.00,123.00,0.00,4.40/

&DEVC ID='Brandgaslager9', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=7.50,7.50,123.00,123.00,0.00,4.40/

&DEVC ID='Smokedetector1', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=7.50,10.00,4.30/

&DEVC ID='Smokedetector2', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=7.50,30.00,4.30/

&DEVC ID='Smokedetector3', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=7.50,50.00,4.30/

&DEVC ID='Temp1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-54.00,63.00,1.80/

&DEVC ID='Temp10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=44.00,123.00,1.80/

&DEVC ID='Temp11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=44.00,160.00,1.80/

&DEVC ID='Temp12', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-28.00,160.00,1.80/

&DEVC ID='Temp2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-28.00,63.00,1.80/

&DEVC ID='Temp3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.50,63.00,1.80/

&DEVC ID='Temp302', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.50,45.00,1.80/

&DEVC ID='Temp4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=44.00,63.00,1.80/

&DEVC ID='Temp5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=44.00,90.00,1.80/

&DEVC ID='Temp6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.50,90.00,1.80/

&DEVC ID='Temp7', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-28.00,90.00,1.80/

&DEVC ID='Temp8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-28.00,123.00,1.80/

&DEVC ID='Temp9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.50,123.00,1.80/

&DEVC ID='Tempostral1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=50.70,61.50,0.1000/

&DEVC ID='Tempostra10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=50.70,61.50,1.90/
&DEVC ID='Tempostra2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=50.70,61.50,0.3000/
&DEVC ID='Tempostra3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=50.70,61.50,0.50/
&DEVC ID='Tempostra4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=50.70,61.50,0.70/
&DEVC ID='Tempostra5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=50.70,61.50,0.90/
&DEVC ID='Tempostra6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=50.70,61.50,1.10/
&DEVC ID='Tempostra7', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=50.70,61.50,1.30/
&DEVC ID='Tempostra8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=50.70,61.50,1.50/
&DEVC ID='Tempostra9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=50.70,61.50,1.70/
&DEVC ID='Temprappaostra1', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=36.30,164.00,0.1000/
&DEVC ID='Temprappaostra10', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=36.30,164.00,1.90/
&DEVC ID='Temprappaostra2', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=36.30,164.00,0.3000/
&DEVC ID='Temprappaostra3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=36.30,164.00,0.50/
&DEVC ID='Temprappaostra4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=36.30,164.00,0.70/
&DEVC ID='Temprappaostra5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=36.30,164.00,0.90/
&DEVC ID='Temprappaostra6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=36.30,164.00,1.10/
&DEVC ID='Temprappaostra7', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=36.30,164.00,1.30/
&DEVC ID='Temprappaostra8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=36.30,164.00,1.50/
&DEVC ID='Temprappaostra9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=36.30,164.00,1.70/
&DEVC ID='Temprappavastra1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-
21.60,164.00,0.1000/
&DEVC ID='Temprappavastra10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-
21.60,164.00,1.90/
&DEVC ID='Temprappavastra2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-
21.60,164.00,0.3000/
&DEVC ID='Temprappavastra3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-
21.60,164.00,0.50/

&DEVC ID='Temptrappavastra4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-21.60,164.00,0.70/

&DEVC ID='Temptrappavastra5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-21.60,164.00,0.90/

&DEVC ID='Temptrappavastra6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-21.60,164.00,1.10/

&DEVC ID='Temptrappavastra7', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-21.60,164.00,1.30/

&DEVC ID='Temptrappavastra8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-21.60,164.00,1.50/

&DEVC ID='Temptrappavastra9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-21.60,164.00,1.70/

&DEVC ID='Tempvastra1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-63.00,61.50,0.1000/

&DEVC ID='Tempvastra10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-63.00,61.50,1.90/

&DEVC ID='Tempvastra11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-63.00,61.50,2.10/

&DEVC ID='Tempvastra2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-63.00,61.50,0.3000/

&DEVC ID='Tempvastra3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-63.00,61.50,0.50/

&DEVC ID='Tempvastra4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-63.00,61.50,0.70/

&DEVC ID='Tempvastra5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-63.00,61.50,0.90/

&DEVC ID='Tempvastra6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-63.00,61.50,1.10/

&DEVC ID='Tempvastra7', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-63.00,61.50,1.30/

&DEVC ID='Tempvastra8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-63.00,61.50,1.50/

&DEVC ID='Tempvastra9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-63.00,61.50,1.70/

-----Slices-----

&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBX=-28.50/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=-28.50/

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBX=-28.50/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=-28.50/

&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBX=43.50/

```

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=43.50/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBX=43.50/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=43.50/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBX=7.50/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=7.50/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBX=7.50/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=7.50/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBY=121.50/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=121.50/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBY=121.50/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=121.50/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBY=61.20/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=61.20/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBY=61.20/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=61.20/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBY=67.50/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=67.50/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBY=67.50/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=67.50/
&TAIL /

```

H.2 Simulering brandscenario 2 – korridoren

```

&HEAD CHID='korridoren', TITLE='Korridoren'/
&TIME T_END=900.00/
&DUMP RENDER_FILE='korridoren.ge1', DT_RESTART=50.00/
&RADI RADIATIVE_FRACTION=0.3000/

```

```

-----MESHER-----

```

&MESH ID='MESH', IJK=48,384,36, XB=-2.10,5.10,0.00,57.60,0.00,5.40/

&MESH ID='MESH02', IJK=180,54,36, XB=-29.10,-2.10,21.00,29.10,0.00,5.40/

-----Reaction-----

&REAC ID='Cellulosa',

C=6.00,

H=10.00,

O=5.00,

N=0.00,

HEAT_OF_COMBUSTION=1.5000000E004, (SFPE, 2002)

SOOT_YIELD=0.0150/

-----MATERIAL-----

&MATL ID='CONCRETE',

FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',

SPECIFIC_HEAT=1.04,

CONDUCTIVITY=1.80,

DENSITY=2.2800000E003/

-----Branden-----

&SURF ID='Burner',

COLOR='RED',

HRRPUA=2.4133300E003,

RAMP_Q='Burner_RAMP_Q'/

&RAMP ID='Burner_RAMP_Q', T=0.00, F=0.00/

&RAMP ID='Burner_RAMP_Q', T=95.00, F=0.0298/

&RAMP ID='Burner_RAMP_Q', T=295.00, F=0.2760/

&RAMP ID='Burner_RAMP_Q', T=410.00, F=0.56/

&RAMP ID='Burner_RAMP_Q', T=550.00, F=1.00/

&RAMP ID='Burner_RAMP_Q', T=900.00, F=1.00/

&SURF ID='wall',

COLOR='GRAY 80',

MATL_ID(1,1)='CONCRETE',

MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,

THICKNESS(1)=0.2000/

&SURF ID='Burner02',

RGB=255,153,51,

HRRPUA=2.4133300E003,

RAMP_Q='Burner02_RAMP_Q'/

&RAMP ID='Burner02_RAMP_Q', T=0.00, F=0.00/

&RAMP ID='Burner02_RAMP_Q', T=550.00, F=0.00/

&RAMP ID='Burner02_RAMP_Q', T=710.00, F=0.67/

&RAMP ID='Burner02_RAMP_Q', T=776.75, F=1.00/

&RAMP ID='Burner02_RAMP_Q', T=900.00, F=1.00/

-----Geometri-----

&OBST XB=1.95,3.00,34.50,36.00,0.00,0.1500, SURF_IDS='Burner','INERT','INERT'/
Obstruction

&OBST XB=4.95,4.95,16.95,57.00,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Wall

&OBST XB=3.00,3.00,24.00,28.95,0.00,5.10, SURF_ID='wall'/ Wall

&OBST XB=-25.95,-25.95,24.00,28.95,0.00,5.10, SURF_ID='wall'/ Wall

&OBST XB=-25.95,-21.00,24.00,24.00,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Wall

&OBST XB=1.95,3.00,7.95,7.95,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Wall

&OBST XB=0.00,0.00,0.00,21.00,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Wall

&OBST XB=0.00,3.00,0.00,0.00,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Wall

&OBST XB=3.00,3.00,0.00,7.95,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Wall

&OBST XB=1.95,1.95,7.95,16.95,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Wall

&OBST XB=0.00,1.95,21.00,21.00,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=1.95,1.95,21.00,36.00,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=0.00,1.95,36.00,36.00,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=0.00,0.00,36.00,57.00,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=0.00,4.95,57.00,57.00,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=1.95,4.95,16.95,16.95,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=1.95,3.00,28.95,28.95,0.00,5.10, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=1.95,3.00,24.00,24.00,0.00,5.10, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=-25.95,1.95,28.95,28.95,2.55,5.10, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=-25.95,1.95,28.05,28.05,2.55,5.10, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=1.95,1.95,24.00,28.95,2.55,5.10, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=-27.15,-27.15,24.00,28.95,0.00,5.10, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=-27.15,-25.95,24.00,24.00,0.00,5.10, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=-27.15,-21.00,21.00,21.00,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=-21.00,-21.00,21.00,24.00,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=-27.15,-25.95,28.95,28.95,0.00,5.10, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=-1.95,1.95,22.05,22.05,2.55,5.10, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=-1.95,-1.95,22.05,28.05,2.55,5.10, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=1.95,1.95,22.05,24.00,2.55,5.10, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=-27.15,-27.15,21.00,24.00,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Wall
 &OBST XB=3.00,4.95,24.00,28.95,2.55,2.55, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=1.95,4.95,21.00,24.00,2.55,2.55, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=1.95,4.95,28.95,36.00,2.55,2.55, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=0.00,3.00,0.00,7.95,2.55,2.55, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=0.00,1.95,7.95,16.95,2.55,2.55, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=0.00,4.95,16.95,21.00,2.55,2.55, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=0.00,4.95,36.00,57.00,2.55,2.55, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=-25.95,1.95,28.05,28.95,5.10,5.10, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-21.00,21.00,24.00,2.55,2.55, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=-1.95,1.95,22.05,28.05,5.10,5.10, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,24.00,28.95,5.10,5.10, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=1.95,3.00,24.00,28.95,5.10,5.10, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,28.05,28.95,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,27.75,28.05,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,24.00,24.30,2.40,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/
 Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,27.45,27.75,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,27.15,27.45,0.00,2.40, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,26.85,27.15,0.00,2.10, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,26.55,26.85,0.00,1.80, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,26.25,26.55,0.00,1.50, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,25.95,26.25,0.00,1.20, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,25.65,25.95,0.00,0.90, SURF_ID='wall'/ Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,24.30,24.60,2.70,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/
 Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,24.60,24.90,3.00,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/
 Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,24.90,25.20,3.30,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/
 Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,25.20,25.50,3.60,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/
 Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,25.50,25.80,3.90,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/
 Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,25.80,26.10,4.20,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/
 Obstruction
 &OBST XB=-27.15,-25.95,26.10,26.40,4.50,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/
 Obstruction

&OBST XB=-27.15,-25.95,25.35,25.65,0.00,0.60, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=-27.15,-25.95,25.05,25.35,0.00,0.3000, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=-27.15,-25.95,26.40,26.70,4.80,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,28.05,28.95,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,27.75,28.05,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,24.00,24.30,2.40,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,27.45,27.75,0.00,2.55, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,27.15,27.45,0.00,2.40, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,26.85,27.15,0.00,2.10, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,26.55,26.85,0.00,1.80, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,26.25,26.55,0.00,1.50, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,25.95,26.25,0.00,1.20, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,25.65,25.95,0.00,0.90, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,24.30,24.60,2.70,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,24.60,24.90,3.00,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,24.90,25.20,3.30,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,25.20,25.50,3.60,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,25.50,25.80,3.90,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,25.80,26.10,4.20,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,26.10,26.40,4.50,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,25.35,25.65,0.00,0.60, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,25.05,25.35,0.00,0.3000, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,26.40,26.70,4.80,5.10, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/
Obstruction

&OBST XB=0.00,3.00,0.00,7.95,0.00,0.00, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=0.00,1.95,7.95,16.95,0.00,0.00, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=0.00,4.95,16.95,21.00,0.00,0.00, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=0.00,4.95,36.00,57.00,0.00,0.00, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=-25.95,1.95,28.05,28.95,2.55,2.55, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=-27.15,-21.00,21.00,24.00,0.00,0.00, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=-27.15,-25.95,24.00,28.95,0.00,0.00, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=-1.95,1.95,22.05,28.05,2.55,2.55, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,4.95,21.00,36.00,0.00,0.00, SURF_ID='wall'/ Obstruction

&OBST XB=-29.10,-27.15,21.00,29.10,2.55,2.55, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=-27.15,-27.15,28.95,29.10,0.00,2.55, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=-29.10,-27.15,21.00,29.10,0.00,0.00, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=1.95,3.00,33.00,34.50,0.00,0.1500, SURF_IDS='Burner02','INERT','INERT'/
Obstruction

&OBST XB=-25.95,-21.00,24.00,29.10,0.00,2.55, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=-21.00,-2.10,21.00,29.10,0.00,2.55, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=-25.95,-2.10,21.00,28.05,2.55,5.40, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=-2.10,0.00,0.00,57.60,0.00,2.55, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=-2.10,5.10,28.95,57.60,2.55,5.40, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=-2.10,4.95,0.00,22.05,2.55,5.40, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&HOLE

XB=1.9400000E000,1.9600000E000,2.8050000E001,2.8950000E001,2.5500000E000,4.6500
000E000/ Hole

&HOLE

XB=2.0000000E000,2.9000000E000,2.3990000E001,2.4010000E001,0.0000000E000,2.1000
000E000/ Hole

&HOLE XB=-2.5960000E001,-
2.5940000E001,2.8050000E001,2.8950000E001,2.5500000E000,4.6500000E000/ Hole

&HOLE XB=-2.7000000E001,-
2.5950000E001,2.3990000E001,2.4010000E001,0.0000000E000,2.1000000E000/ Hole

&HOLE XB=1.5000000E-
001,1.2000000E000,2.8040000E001,2.8060000E001,2.5500000E000,4.6500000E000/ Hole

&HOLE XB=-2.7160000E001,-
2.7140000E001,2.1300000E001,2.2350000E001,0.0000000E000,2.1000000E000/ Hole

-----Devices-----

&PROP ID='Heskestad Ionization', QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',
LENGTH=1.80/

&DEVC ID='brandgaslager1', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=1.50,1.50,5.00,5.00,0.00,2.55/

&DEVC ID='brandgaslager2', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=1.00,1.00,12.00,12.00,0.00,2.55/

&DEVC ID='brandgaslager3', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=3.50,3.50,20.00,20.00,0.00,2.55/

&DEVC ID='brandgaslager4', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=4.00,4.00,26.00,26.00,0.00,2.55/

&DEVC ID='brandgaslager5', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=2.50,2.50,45.00,45.00,0.00,2.55/

&DEVC ID='brandgaslager6', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=0.60,0.60,26.00,26.00,2.55,5.10/

&DEVC ID='brandgaslager7', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=-12.00,-
12.00,28.50,28.50,2.55,5.10/

&DEVC ID='brandgaslager8', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=-26.00,-
26.00,22.50,22.50,0.00,2.55/

&DEVC ID='Smokedetector1', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=2.48,41.00,2.48/

&DEVC ID='Smokedetector3', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=4.00,27.00,2.48/

&DEVC ID='Smokedetector4', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=1.20,19.00,2.48/

&DEVC ID='Temp1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.50,5.00,1.80/

&DEVC ID='Temp2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.00,12.00,1.80/

&DEVC ID='Temp3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.50,20.00,1.80/
 &DEVC ID='Temp4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4.00,26.00,1.80/
 &DEVC ID='Temp5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.50,45.00,1.80/
 &DEVC ID='Temp6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.60,26.00,4.35/
 &DEVC ID='Temp7', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-12.00,28.50,4.35/
 &DEVC ID='Temp8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-26.00,22.50,1.80/
 &DEVC ID='Tempoppendorr1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-
 27.15,21.80,0.0750/
 &DEVC ID='Tempoppendorr10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-27.15,21.80,1.42/
 &DEVC ID='Tempoppendorr11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-27.15,21.80,1.58/
 &DEVC ID='Tempoppendorr12', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-27.15,21.80,1.72/
 &DEVC ID='Tempoppendorr13', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-27.15,21.80,1.88/
 &DEVC ID='Tempoppendorr2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-
 27.15,21.80,0.2250/
 &DEVC ID='Tempoppendorr3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-
 27.15,21.80,0.3750/
 &DEVC ID='Tempoppendorr4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-27.15,21.80,0.52/
 &DEVC ID='Tempoppendorr5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-27.15,21.80,0.68/
 &DEVC ID='Tempoppendorr6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-27.15,21.80,0.82/
 &DEVC ID='Tempoppendorr7', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-27.15,21.80,0.98/
 &DEVC ID='Tempoppendorr8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-27.15,21.80,1.12/
 &DEVC ID='Tempoppendorr9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-27.15,21.80,1.28/
 -----VENT-----
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=-29.10,-29.10,21.00,29.10,0.00,2.55/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=-29.10,-27.15,21.00,21.00,0.00,2.55/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=-29.10,-27.15,29.10,29.10,0.00,2.55/ Vent
 -----SLICES-----
 &SLCF QUANTITY='PRESSURE', VECTOR=.TRUE., PBX=-26.60/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=-26.60/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=-26.60/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBX=-26.60/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', VECTOR=.TRUE., PBX=1.00/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=1.00/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=1.00/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBX=1.00/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', VECTOR=.TRUE., PBX=2.50/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=2.50/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=2.50/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBX=2.50/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', VECTOR=.TRUE., PBY=21.75/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=21.75/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBY=21.75/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBY=21.75/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', VECTOR=.TRUE., PBY=28.50/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=28.50/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBY=28.50/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBY=28.50/

&TAIL /