

Brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
2016-05-10



Brandteknisk riskvärdering av

China Teatern

Grupp 8

Kevin Rasmusson

Love Rydberg

Dastid Selmani

Simon Troell

Rapport: 9491



Brandteknisk riskvärdering av China Teatern i Stockholm

Kevin Rasmusson

Love Rydberg

Dastid Selmani

Simon Troell

Lund 2016

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

Brandteknisk riskvärdering av China Teatern i Stockholm

Title

Fire Safety Evaluation of China Teatern in Stockholm

Av/By

Kevin Rasmusson

Love Rydberg

Dastid Selmani

Simon Troell

Rapport/Report

9491

Brandingenjörsprogrammet, Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2016

Bachelor of Science program in Fire Safety Engineering, Division of Fire Safety Engineering, Faculty of Engineering, Lund University, 2016

Antal sidor/Number of Pages

114

Bilder och illustrationer

Om ingen källa anges är alla bilder tagna av författarna/All pictures are taken by the authors if no reference is given

Nyckelord

China Teatern, Brandteknisk riskvärdering, personsäkerhet, effektutveckling, brandscenarier, utrymning, FDS, Pathfinder, @Risk

Keywords

China Teatern, Risk evaluation, egress, FDS, Pathfinder, @Risk

Språk

Svenska

Language

Swedish

Avdelningen för brandteknik

Lunds Tekniska Högskola Lund

Box 118

221 00 Lund

Telefon: 046 222 73 00

Hemsida: www.brand.lth.se

E-mail: brand@brand.lth.se

Division of Fire Safety Engineering

The faculty of Engineering LTH

Box 118

221 00 Lund

Telephone: +46 46 222 73 00

Webpage: www.brand.lth.se

E-mail: brand@brand.lth.se

Förord

Ett stort tack riktas till följande personer som möjliggjort utförandet av denna rapport.

Nils Johansson – docent på Avdelningen för brandteknik, LTH, för att du på ett professionellt och tålmodigt sätt väglett och handlett oss genom arbetsprocessen.

Jonathan Wahlqvist – doktorand vid avdelningen för brandteknik, för att du varit till stor hjälp vid problem som uppstått i samband med FDS-simuleringarna.

Lukas Ohlsson – teknikchef och scenchef på Oscarsteatern, för att vi fick besöka China Teatern och fick svar på våra krävande frågor.

Ulrica Åhgren – verksamhetsledare på Oscarsteatern och China Teatern, för att du gett oss så bra svar på våra frågor via mail.

Örjan Wesslund – verksamhetsrepresentant på China Teatern, för att du gett oss så bra svar på våra frågor via mail.

Stefan Karlsson – brandingenjör på SSBF, för god handledning under platsbesöket på China Teatern.

Lars Thidevall – inspektör och tillsynsför rättare på SSBF, för god handledning under platsbesöket på China Teatern.

Nomenklaturlista

α	Tillväxthastighet	[kW/s ²]
$\delta\chi$	Celllängd i FDS	[m]
ρ_{∞}	Luftens densitet	[kg/m ³]
χ	Förbränningseffektivitet	[-]
A_o	Öppningsarea	[m ²]
D^*	Karaktäristisk diameter	[-]
g	Tyngdacceleration	[m/s ²]
ΔH_c	Förbränningsvärme	[MJ/kg]
H_o	Öppningens höjd	[m]
\dot{m}_a	Massflöde av luft	[kg/s]
Q	Energi	[MJ]
\dot{Q}	Effektutveckling	[kW] eller [MW]
t	Tid	[s]
T_{∞}	Temperatur i omgivning	[K] eller [°C]
y_{co}	Brandens koldioxidproduktion	[g/g]
y_s	Brandens sotproduktion	[g/g]

Akronymer

BBR	Boverkets byggregler (BFS 2011:6)
BBRAD	Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd (BFS 2011:27/2012:13)
BIV	Föreningen för brandteknisk ingenjörsvetenskap
CAD	Computer aided design
CFD	Computational fluid dynamics
Detact-T2	Detector actuation - time squared
FDS	Fire dynamics simulator
IDA	MSB:s databas: Indikationer, data och analys
LES	Large Eddy Simulation
MPI	Message Passing Interface
MSB	Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
NFPA	National Fire Protection Association
NIST	National institute of standards and technology
RTI	Response time index
SFPE	Society of Fire Protection Engineers

Abstract

The purpose of this report is to evaluate the fire safety for the visitors at China Teatern. The theatre is situated in central Stockholm, Sweden, and houses up to 1249 visitors. This report does not consider damage done to property or to the surrounding environment.

After a visit at the theatre in February 2016, various data was gathered and analyzed. A dozen fire scenarios were identified and evaluated. The two most hazardous scenarios were picked out for further analysis. Simulations in FDS, Pathfinder and @Risk were made in order to compare the total evacuation time with the time until critical conditions occurred. In the cases where the time until critical conditions exceeded the time for total evacuation, suggestions to improve the fire safety were provided in order to ensure the safety of the visitors.

Sammanfattning

Denna rapport syftar till att utvärdera personsäkerheten för besökare på China Teatern vid en eventuell brand. Rapporten utgör en del i kursen VBR054 – Brandteknisk Riskvärdering som en del i Brandingenjörsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola.

China Teatern är belägen i stadsdelen Norrmalm i Stockholm och teatern invigdes 1928. I dagsläget är China Teatern en privatägd teater där den huvudsakliga verksamheten består av föreställningar på kvällstid och konferenser på dagtid. Vid en föreställning har teatern kapacitet för maximalt 1249 besökare.

Rapporten avgränsas till att enbart undersöka säkerheten för besökare av teatern då personer som arbetar på teatern antas ha god lokalkännedom och förväntas kunna utrymma på ett säkert sätt.

I februari 2016 genomförde gruppen ett platsbesök på teatern där all nödvändig information inhämtades för att sedan bearbetas. Efter att ha identifierat möjliga brandscenarier i en grovanalys så valdes de två scenarier med högst risk (sannolikhet * konsekvens) ut för en vidare detaljerad analys. De scenarier som antogs innebära störst risk var *brand i garderoben på källarplan*, *brand på balkongen* och *brand bakom scenen på plan 1*. Den detaljerade analysen bestod av handberäkningar, simuleringar i FDS, Pathfinder och @Risk. Resultaten från simuleringarna jämfördes med egna framtagna kriterier som är grundade i BBR:s kriterier för kritiska förhållanden. Efter analys av resultaten presenterades åtgärdsförslag där det ansågs vara nödvändigt för att säkerställa utrymningen för besökarna på teatern.

De åtgärdsförslag som gruppen anser bör genomföras är:

- Installation av extra rökdetektorer i garderoben med positionering ovanför kläderna.
- Använda gången till Berns som nödutgång från garderoben. Skylta detta med en genomlyst utrymningsskylt.

Då en ännu säkrare utrymning önskas kan gruppen rekommendera följande åtgärd.

- Byte av glasbulber med lägre aktiveringstemperatur hos berörda sprinklers.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Syfte	1
1.2 Mål	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Begränsningar	1
1.5 Skadekriterier	1
2. Metod	3
3. Objektsbeskrivning	5
3.1 Byggnaden	5
3.2 Verksamheten	5
3.3 Personal	6
3.4 Ventilation och uppvärmning	7
3.5 Beskrivning av de olika planen	7
4. Befintligt brandskydd	11
4.1 Byggnads – och verksamhetsklass	11
4.2 Bärförmåga vid brand	11
4.3 Skydd mot brandspridning	11
4.4 Detektions – och larmsystem	13
4.5 Larmlagring	13
4.6 Brandgasventilation	13
4.7 Automatisk vattensprinkleranläggning	13
4.8 Manuell släckutrustning	14
4.9 Utrymning	14
4.10 Personalutbildning och rutiner	16
4.11 Räddningstjänst	16
5. Riskidentifiering	17
5.1 Avgränsningar i riskidentifieringen	17
5.2 Brandscenarier – grovanalys	17
5.3 Utvalda brandscenarier	24
6. Scenario 1 – Brand i garderoben	25
6.1 Dimensionerande brand	25
6.2 Utrymning	27
6.3 Åtgärder	32

7. Scenario 6 – Brand på balkongen	37
7.1 Dimensionerande brand	37
7.2 Utrymning.....	39
8. Diskussion	45
8.1 Resultat utan åtgärder	45
8.2 Resultat efter åtgärder.....	45
8.3 Övergripande diskussion	46
9. Slutsats.....	51
10. Litteraturförteckning.....	53
Bilaga A - Handberäkningar	55
A.1 Scenario 1 – Brand i garderoben	55
Bilaga B – FDS.....	59
B.1 Teori.....	59
B.2 Pyrosim och Smokeview.....	59
B.3 Materialparametrar.....	60
B.4 Insamling av mätdata i simuleringarna	60
B.5 Scenario 1 – Brand i garderoben.....	61
B.6 Scenario 6 – Brand på balkongen	72
B.7 Verifiering och validering.....	77
B.8 Förenklingar och antaganden	82
B.9 Begränsningar i FDS	83
Bilaga C – Utrymning	85
C.1 Indata Pathfinder	85
C.2 Scenario 1 – Brand i garderoben.....	85
Bilaga D – FDS-kod.....	89
D.1 Scenario 1 – Brand i garderoben	89
D.2 Scenario 6 – Brand i salongen	94

1. Inledning

Denna rapport utgör en del av kursen BVR054 Brandteknisk Riskvärdering, som ges av Avdelningen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola. I följande stycken beskrivs syfte och mål med rapporten, avgränsningar och begränsningar samt skadekriterier.

1.1 Syfte

Syftet med rapporten är att undersöka och utvärdera personskyddet i händelse av brand på China Teatern i Stockholm. Rapporten ska sedan kunna användas som underlag för att förbättra brandskyddet i lokalen.

1.2 Mål

Målet med rapporten är att bedöma om personskyddet är tillräckligt genom att granska ifall utrymning kan ske innan kritiska förhållanden uppnås. Om personskyddet är otillräckligt ska åtgärder för förbättring föreslås.

1.3 Avgränsningar

I rapporten undersöks enbart personsäkerheten i byggnaden. De ekonomiska, miljörelaterade och materiella skador som kan uppstå vid en eventuell brand utreds ej. De åtgärdsförslag som läggs fram är därför inriktade på att förbättra personskyddet i första hand. Åtgärdsförslagets effekt ställs dock i förhållande till kostnaden att implementera dessa.

Då China Teatern är inhytt i en stor byggnad har avgränsningar gjorts så att enbart de utrymmen som används vid föreställning beaktas i rapporten. Det innebär att China Teaterns kontor samt den kontorsverksamhet som är belägen ovanför China Teatern ej utreds.

1.4 Begränsningar

Delar av teatern är kulturmärkta såsom färgen på väggarna, planlösningen och salongsdörrarna. Detta är därmed en begränsning, men eventuella åtgärder utformas med hänsyn till detta.

Begränsningar i de datorprogram som används redovisas i respektive avsnitt.

Då varje brandförlopp är unikt kan omöjligt alla scenarier utredas. Istället presenteras ett flertal scenarier som anses vara representativa i grovanalysen. Av dessa väljs sedan två ut för vidare, mer djupgående analys.

1.5 Skadekriterier

Boverket anger kriterier angående kritiska förhållanden vid utrymning, se tabell 1. Ifall dessa kriterier överskrids kan människors säkerhet ej garanteras under utrymning. Rapporten förutsätter att alla som inte utsätts för kritiska förhållanden antas ha tillräcklig säkerhet för att utrymma utan att ta skada. Då något av kriterierna överskrids görs vidare bedömningar huruvida det finns en risk för människors säkerhet.

Tabell 1 visar nivå för kritisk påverkan vid analys av utrymningssäkerhet. (Boverket, 2012)

Kriterium	Nivå
1. Brandgaslagrets höjd över golv	Lägst 1,6m + (rumshöjd(m) * 0,1)
2. Siktbarhet, 2,0m ovan golv	10,0m i utrymmen > 100m ² 5,0m i utrymmen < 100m ² , tillämpas även vid situationer där köbildning uppstår i ett tidigt skede.
3. Värmestrålning	Max 2,5 kW/m ²
4. Temperatur	Max 80°C
5. Toxicitet, 2,0m ovan golv	Kolmonoxidkoncentration (CO) > 2000 ppm Koldioxidkoncentration (CO ₂) > 5% Syrgaskoncentration (O ₂) < 15 %

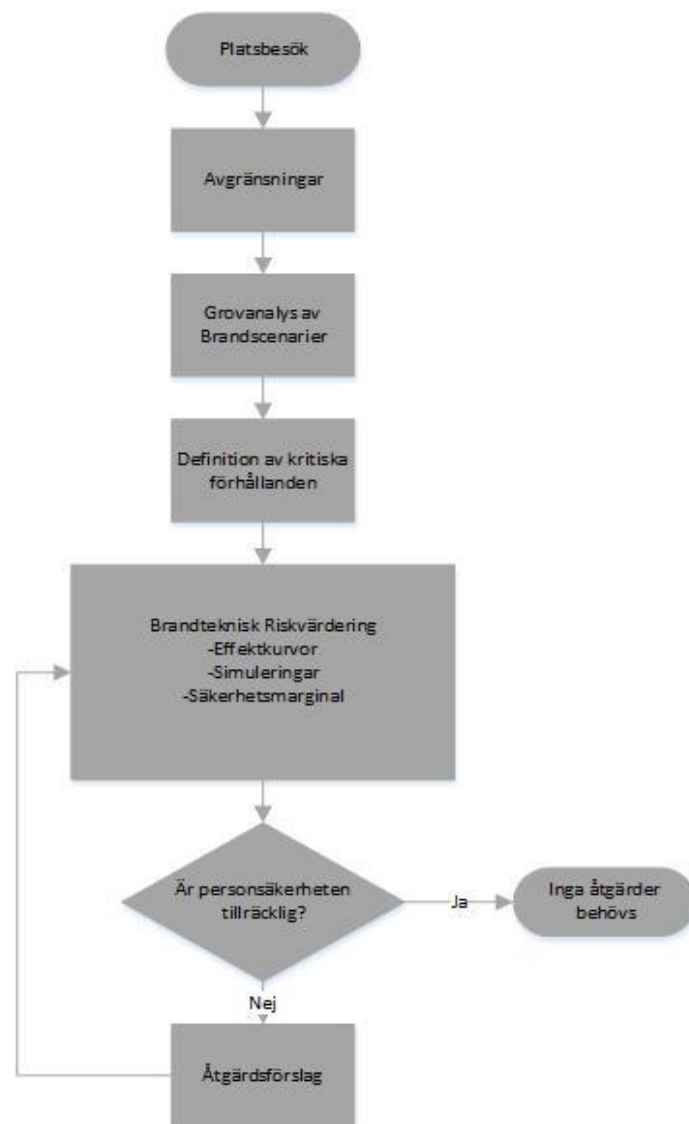
För att uppnå kritiska förhållanden krävs det att kriterium 1 och 2 överskrids samtidigt eller att ett utav de övriga överskrids. Att kriterium 1 eller 2 tillåts var för sig är på grund av att utrymning genom brandgaser kan tillåtas ske i vissa fall. (Boverket, 2012)

2. Metod

I februari 2016 gjorde gruppen ett platsbesök på China Teatern i Stockholm. Närvarande var Stefan Karlsson och Lars Thidevall från Storstockholms Brandförsvaret samt Lucas Ohlsson, säkerhetsansvarig på Oscarsteatern. Besöket började med en intervju där Lucas Ohlsson gick igenom samtliga relevanta säkerhetsrutiner samt det befintliga brandskyddet. Efter intervjun genomfördes en rundvandring av objektets olika delar. Under rundvandringen jämfördes brandskyddet på planritningarna med det befintliga brandskyddet och fotografier togs för senare bruk i rapporten.

Informationen sammanställdes och rapporten avgränsades till att endast behandla personsäkerheten för besökare på teatern. Tolv brandscenarier arbetades fram och värderades med avseende på sannolikhet och konsekvens i en riskmatris. De två scenarier med högst risk valdes ut för vidare djupare analys. Analysen för dessa två scenarier bestod av att först definiera branden och ta fram en effektkurva för respektive scenario. I BBR så definieras flertalet kriterier för kritiska förhållanden vid utrymning, se tabell 1, dessa ligger till grund för rapportens säkerhetsbedömning. Säkerhetsbedömningen görs utefter om besökare hinner utrymna innan kritiska förhållanden uppstår. Differensen mellan tid till kritiska förhållanden och total utrymningstid kallas i rapporten för säkerhetsmarginal. Den totala utrymningstiden utgörs av varseblivnings-, förberedelse- samt förflyttningstid.

Nästa steg var att bygga upp teaterns geometri i Pyrosim och Pathfinder. Geometrin som byggdes upp i Pyrosim användes sedan i FDS för att simulera fram tiden till kritiska förhållanden. Pathfindergeometrin användes för att simulera förflyttningstiden. Varseblivnings- och förberedelsestiden togs fram genom egna resonemang som grundades på rapporten *Tid för utrymning vid brand* (Frantzich, 2001). När fördelningarna för de olika parametrarna i den totala utrymningstiden hade tagits fram användes programmet @Risk för att beräkna en säkerhetsmarginal. Då säkerhetsmarginalen blev positiv antogs personsäkerheten vara tillräcklig och inga ytterligare åtgärder presenterades. I de fall då den blev negativ föreslogs ett antal åtgärder och en rad nya simuleringar gjordes för att påvisa att åtgärderna gav en positiv säkerhetsmarginal. Arbetsprocessen kan ses överskådligt i figur 1.



Figur 1 visar ett flödesschema över arbetsprocessen.

3. Objektsbeskrivning

Nedan följer en beskrivning av byggnaden och verksamheten som bedrivs. Informationen är hämtad från platsbesöket och China Teaterns hemsida. Det befintliga brandskyddet i byggnaden beskrivs inte i detta avsnitt.

3.1 Byggnaden

China Teatern är belägen vid Berzelii Park i stadsdelen Norrmalm i Stockholm. Teatern invigdes den 19 oktober 1928. Byggnadens design var kraftigt inspirerad av kinesisk arkitektur men var anpassad till tjugotalsklassicism. Sedan dess har byggnaden renoverats ett antal gånger. Senast 2009 i samband med att China Teatern förvärvades av Oscarsteatern AB.

China Teatern består av sju plan, där källaren utgör bottenplan. Av dessa sju är tre offentliga; källarplan, entréplan och byggnadens plan 2. Utöver själva teatern inhyser även byggnaden China Teaterns kontor och ett utomstående företags kontor på översta plan.



Bild 1 visar China Teatern sedd från Berzelii Park.

Vid besökarnas ankomst till China Teatern leder huvudentrén till foajén. Därifrån fördelas besökarna på salongens båda plan. Totalt finns det 1249 sittplatser i salongen, 572 på parketten på plan 1 och resterande 677 på balkongen. Balkongen sträcker sig över plan 2 och tre i byggnaden, med då de är sammanlänkade benämns den enbart som plan 2 i rapporten.

3.2 Verksamheten

Vid invigning 1928 var China Teatern en stumfilmsteater. Sedan invigningen har teatern nyttjats till en rad olika ändamål och stundtals har den även använts som biograf.

I dagsläget är China Teatern en privatägd teater där den huvudsakliga verksamheten består i att visa aktuella föreställningar på kvällstid och konferenser dagtid. Vid föreställning sker försäljning av alkohol och tilltugg i foajén.

Under vissa föreställningar förekommer det pyroteknik. Vid dessa tillfällen anställs professionella pyrotekniker för att upprätthålla säkerheten.

Dagtid utförs en hel del logistiskt arbete. Inför nya föreställningar förekommer det produktion av rekvisita, kostymer och peruker. Detta medför användning av brandfarliga material och vätskor så som lim, hårsprej, virke och lösningsmedel. Förutom teaterverksamheten har även China Teatern sitt kontor på plan 3 i byggnaden och som tidigare nämnt finns det även ett utomstående företag som inte tillhör China Teatern på översta plan, det vill säga plan sju.

3.3 Personal

Det finns en mängd olika arbetsuppgifter på teatern. Därför är personalen, under föreställning, utspridda runt om i byggnaden.

Antalet personer i personalen som befinner sig i foajén varierar innan, under och efter föreställning. Personal i foajén är fördelade på tre plan; garderoben på källarplan, parketten på entréplan samt balkongen på plan 2. I snitt bemannas foajén med tolv publikvärdar och fördelningen av dessa under de olika perioderna visas nedan i tabell 2. Observera att garderobsutrymmet alltid är bemannat.

Tabell 2 visar fördelning av personal i foajén under olika perioder vid föreställning där "biljettkontrollanter" är vaktmästare i byggnaden.

	Innan föreställning	Under pausen	Efter föreställning
<i>Garderob (plan 0)</i>	1 garderobsansvarig 2 garderobiärer	1 garderobsansvarig	1 garderobsansvarig 9 garderobiärer
<i>Parkett (plan 1)</i>	2 serveringspersonal 2 biljettkontrollanter 2 programförsäljare	4 serveringspersonal 1 försäljare vid scenen	1 serveringspersonal (som låser)
<i>Balkong (plan 2)</i>	1 serveringspersonal 2 biljettkontrollanter	5 serveringspersonal 1 försäljare "låda på magen"	1 serveringspersonal (som låser)

Utöver personalen i foajén finns både tekniker, skådespelare och övrig personal på plats under föreställning. Utöver antalet skådespelare, vilket kan variera kraftigt, finns det ett antal tekniker samt övrig personal i lokalen. Dessa samt deras arbetsuppgifter presenteras i tabell 3.

Tabell 3 visar antalet anställda samt arbetsuppgift.

Arbetsuppgift	Antal personal
<i>Diverse tekniker</i>	8
<i>Ljudansvarig</i>	2
<i>Följespotlights</i>	2
<i>Ljusansvarig</i>	1
<i>Sminkansvarig</i>	2
<i>Kostymansvarig</i>	2

3.4 Ventilation och uppvärmning

På grund av brist på dokumentation av ventilationssystemet kommer ventilationen inte att utredas grundligt i denna rapport.

Byggnadens ventilationssystem består av mekanisk till – och frånluft. Tilluften i salongen är ansluten till gradängen. Här agerar gradängen trycklåda och tilluften stiger upp genom galler i golvet. Ventilationen stängs av i samband med att brandlarmet aktiveras. (Firetech, 2009)

Värmeförsörjningen till byggnaden sker via fjärrvärme. (Kjell Fallqvist, 2001)

3.5 Beskrivning av de olika planen

I detta avsnitt beskrivs de utrymmen som används under föreställning.

3.5.1 Källarplan

Det första planet som beskrivs grundligt är China Teaterns källarplan. En planritning visas i figur 2.

Det är i källarplanet som teaterns garderobsutrymme finns. Två trappor leder ner från foajén till garderoben. Dessa sammanstrålar och är en gemensam ingång till källarplanet. Det finns ytterligare två trappor som befinner sig i utkanterna av garderobsutrymmet, dessa används framförallt som nödutgångar. Utöver garderobsutrymmet finns här även toaletter samt ingången till en cirka 15 meter lång tunnel som leder till Berns nattklubb på andra sidan vägen. Tunneln kan ses nere i vänster hörn av figur 2.

Under scenen på källarplan finns även ett tekniskt utrymme där ljudtekniker och andra anställda befinner sig under föreställning. Detta utrymme ligger i det övre högra hörnet av figur 2.

Källarplanet inhyser även sprinklercentralen. Den är belägen i den övre vänstra delen av figur 2.



Figur 2 visar planritningen över källarplanet i byggnaden.

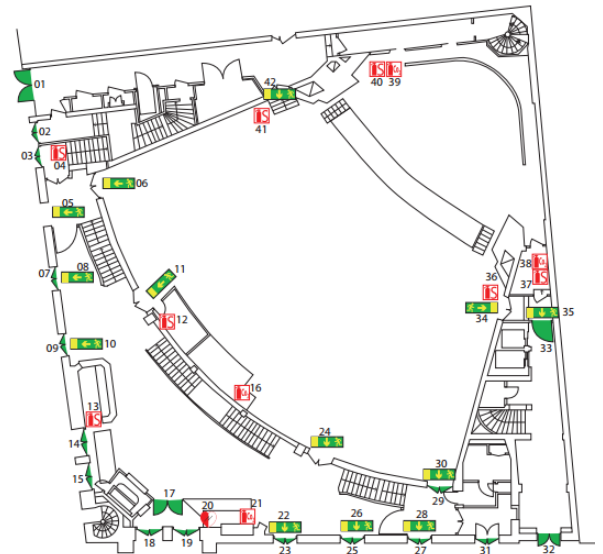
3.5.2 Entréplan

En planritning av byggnadens entréplan visas i figur 3.

På detta plan finns foajén samt salongens parkett. Från foajén leder trappor ner till garderoben på källarplan och upp till foajéns andra plan. På bägge sidor om foajén leder dörrar ut till trapphus som leder vidare upp i byggnaden.

Innanför foajén ligger salongens första plan, med plats för 572 sittande besökare. Framför salongen befinner sig scenen samt tekniska områden där rekvisita och annan utrustning förvaras.

På bägge sidor av salongen finns utrymningsvägar som säkerställer utrymningen från byggnaden. Längs utrymningsvägarna finns ett antal rum som används för förvaring. I anslutning till den övre utrymningsvägen i figur 3 finns även ett rum som inhyser ett dieselaggregat för försörjning av reservström.



Figur 3 visar planritningen över entréplanet i byggnaden.

3.5.3 Plan 2

En planritning över plan 2 visas i figur 4.

Förutom foajéns övre plan finns även salongens balkong och dess 677 sittplatser.

Övriga utrymmen på plan 2 är trapphusen med utrymningsvägar från nuvarande och ovanliggande plan, samt trapporna upp till utrymmet bakom och bredvid scenen. Detta utrymme, som kan ses i det övre högra hörnet i figur 4, används för förvaring av keyboard, trummor samt andra instrument under och efter föreställningar. Endast anställda befinner sig i detta utrymme.

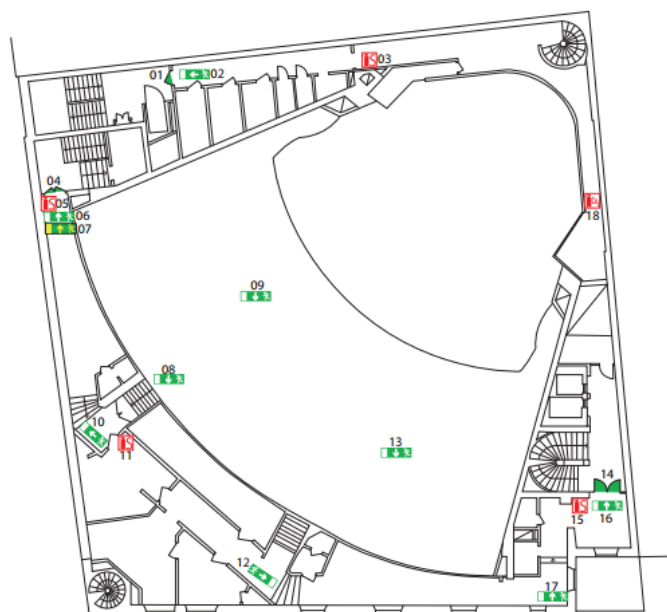


Figur 4 visar planritningen av plan 2 i byggnaden.

3.5.4 Plan 3 och 4

Från och med plan 3 har gästerna inte tillträde till byggnaden, bortsett från vid en eventuell utrymning då en utrymningsväg från balkongen finns till förfogande i trapphuset i det övre vänstra hörnet av figur 5 nedan. Figur 5 visar planritningen över plan 3. De övriga utrymmena på detta plan används som kontor, loger, strålkastarrum och till utrustning. I dessa utrymmen vistas endast personal.

På byggnadens fjärde plan finns ytterligare loger placerade på samma sätt som på plan 3.



Figur 5 visar planritningen av plan 3 i byggnaden.

4. Befintligt brandskydd

Nedan följer en redogörelse av det befintliga brandskyddet för China Teatern. Informationen är hämtad från de tillgängliga ritningarna, brandskyddsdocumentationen (Kjell Fallqvist, 2001) och brandskyddsbeskrivningen (Firetech, 2009) samt från platsbesöket. Brandskyddsdocumentationen är föråldrad och kan därmed vara inaktuell på en del punkter.

4.1 Byggnads – och verksamhetsklass

Byggnaden är utförd i mer än tre plan och klassas därför som brandteknisk byggnadsklass Br 1, i enlighet med BBR 5:212. (Alling, et al., 2014)

Verksamheten som bedrivs här är av publik karaktär med teater och konferensverksamhet. Därför antas det att personerna som befinner sig i lokalen:

- ej har god lokalkännedom
- till största del kan utrymma på egen hand
- förväntas vara vakna

Detta tillsammans med det faktum att det förekommer alkoholservering ger China Teatern verksamhetsklassen Vk2C, i enlighet med BBR 5:22. (Alling, et al., 2014)

4.2 Bärförmåga vid brand

Vertikala och horisontella bärverk är utförda i brandteknisk klass R60 eller bättre. Trapplopp och trappplan i trapphus är utförda i lägst brandteknisk klass R 30, likaså yttertak. Bärverk för undertak, inklusive infästningar, är utförda på ett sådant sätt att de klarar av en påverkan av 300°C under tio minuter utan att förlora sin funktion. (Kjell Fallqvist, 2001)

4.3 Skydd mot brandspridning

Nedan följer en beskrivning av byggnadens inbyggda skydd mot brandspridning, både inom brandcellerna och mellan brandcellerna.

4.3.1 Skydd mot brandspridning inom brandceller

Vägg och taktytor är försedda med ytskikt klass 1 för obrännbart material eller antändningskyddande beklädnad. Golvbeläggningen utförs av obrännbart material eller i brandteknisk klass G. Rörinstallationer i mindre omfattning utförs i brandteknisk klass P1. I större omfattning utförs isoleringen i ytskikt klass 1.

4.3.2 Skydd mot brandspridning mellan brandceller

Varje våningsplan utförs som egna brandceller och avskiljande åtgärder i lägst brandteknisk klass EI 30. Hur brandcellsindelningen på varje plan är utförd framgår inte direkt i dokumentationen. Enligt brandbeskrivningen, (Firetech, 2009), som skrevs i samband med renoveringen 2009 står det dock:

Följande utgör egna brandceller:

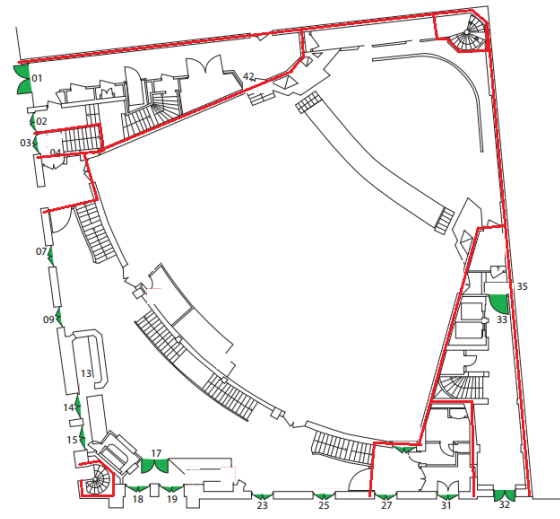
- *Trapphus*
- *Utrymningskorridorer*
- *Loger med tillhörande utrymmen*
- *Vissa mindre utrymmen som inte behandlas vidare i denna handling*

Det framgår även att foajén, salongen och scenen utgör tillsammans en brandcell. Det finns en manuellt aktiverad brandskyddsridå på scen, efter att den installerades har scenen dock blivit utbyggd. Enligt brandskyddsbeskrivningen innebär detta att dess funktion kan anses vara tveksam. (Firetech, 2009)

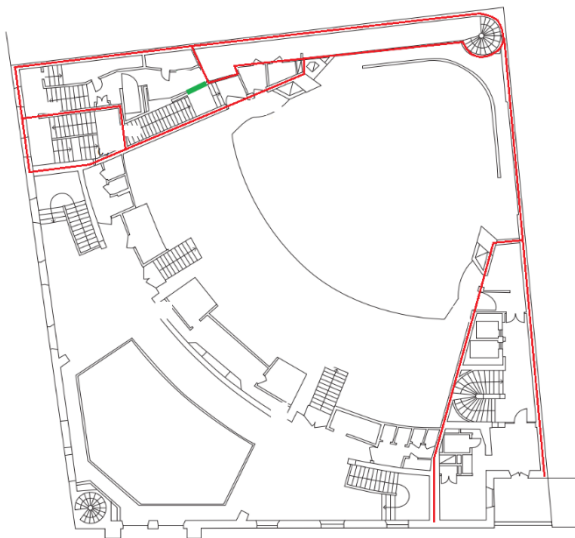
Med detta som grund har brandcellsindelningen antagits vara utförd enligt figur 6, figur 7 och figur 8 nedan. Brandcellsgränserna för de övre planen bedöms var utförda på samma sätt som på plan 2.



Figur 6 visar brandcellsgränser i källaren.



Figur 7 visar brandcellsgränser på entréplan.



Figur 8 visar brandcellsgränser på plan 2 samt de övre planen.

Dörr, lucka och port utförs generellt i samma brandtekniska klass som gäller för den brandcellsskiljande byggnadsdelen. Dörr och lucka mot utrymningsväg bedöms därför vara utförd i lägst brandteknisk klass EC 30. Om dörrar i brandcellsgränser behöver stå öppna förses dessa med magneter som är kopplade till rökdetektorsystemet.

4.4 Detektions – och larmsystem

På China Teatern används två sorters detektionssystem. Det första är ett aspirerande system som analyserar den tilluft som släpps ut i salongen. Systemet är installerat i gradängen under stolsraderna. I övriga byggnaden består detektionssystemet av rökdetektorer av okänd typ. För att minska mängden fellarm inaktiveras rökdetektorerna manuellt vid föreställningar där scenrök används. Det finns även flera larmknappar, som direkt kan aktivera brandlarmet, placerade i byggnaden.

Det finns tre sorters varselsystem i byggnaden. De är; larmklockor, sirener och blyxtljus. Valet av system beror på vilken typ av verksamhet som förväntas bedrivas i den delen av byggnaden.

- I salongen finns det enbart blyxtljus, detta för att besökare kan misstolka ett akustiskt larm under föreställning. I samband med nödsituation i salongen avbryts verksamheten och en publikansvarig på plats går upp på scen och hänvisar publiken ut.
- I foajén finns det en blandning av alla tre larmsystem; larmklockor, sirener och blyxtljus.
- I övriga delar finns det enbart akustiska larmsystem; larmklockor och sirener.

4.5 Larmlagring

Vid detektoraktivering larmlagras signalen för att undvika fellarm och onödiga utrymningar. Personalen har då vanligtvis 60 sekunder på sig att kvittera larmet vid lokala larmlagringstablåer. Dessa finns på flera platser i byggnaden och är utförda enligt SBF 110. (Firetech, 2009) Efter att larmet kvitterats har personalen två och en halv minut på sig att undersöka larmorsaken. Personalen kan därefter larma vid ett brandtillbud eller avfärda larmet vid fellarm. Om larmet ej kvitteras igen inom dessa två och en halv minuter går larmet vidare till räddningstjänst. (Ohlsson, 2016)

4.6 Brandgasventilation

Trapphuset är försett med automatisk brandgasventilation via lucka längst upp i trapphuset. Luckan har en fri area på minst 1 m². Luckan är placerad och öppnas så att negativ påverkan från vind undviks i största möjliga mån. Vid strömavbrott öppnas luckan automatiskt.

Över scenen finns luckor med total area på cirka 3,5 m² som är en komponent i den termiska brandgasventilationen. (Kjell Fallqvist, 2001)

4.7 Automatisk vattensprinkleranläggning

Den automatiska vattensprinkleranläggningen har uppförts enligt RUS 120:4, riskklass N1. Sprinklerhuvuden har ett RTI-värde som inte överstiger 50 m^{1/2}s^{1/2}. Vid sprinkleraktivering vidarebefordras larm till räddningstjänsten. Sprinklercentralen är placerad på källarplan. Hela byggnaden, exklusive salongen, är sprinklad. Det finns ett serviceavtal om att systemet ska testas regelbundet (Ohlsson, 2016).

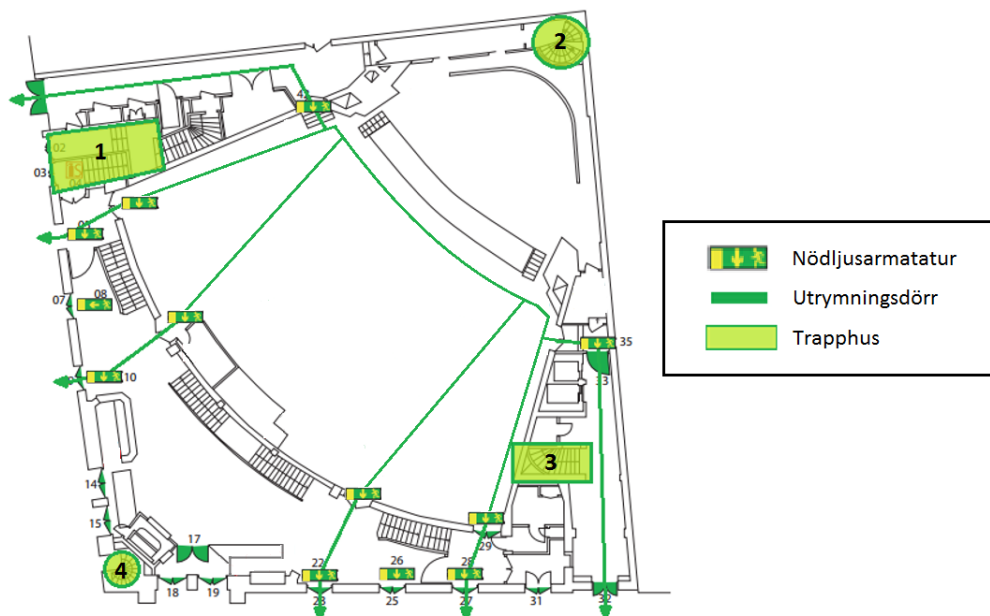
4.8 Manuell släckutrustning

Vid platsbesöket fanns det även gott om manuell släckutrustning. Dessa var i form av handbrandsläckare med koldioxid eller skum. Utöver handbrandsläckare fanns det även två slangbrandposter på scen.

4.9 Utrymning

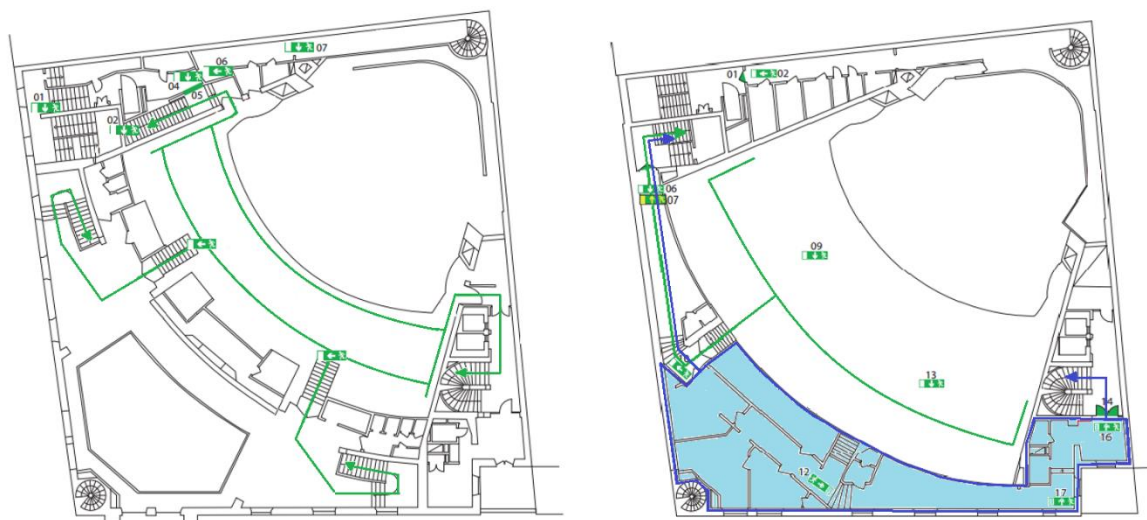
Vid ett brandtillbud kan utrymning ske via ett flertal olika utrymningsvägar.

Från salongens första plan kan utrymning ske via sex nödutgångar, varav fem är oberoende. Två leder ut i utrymningskorridorer som löper längds med salongen och fyra av dessa leder ut till foajéns undre plan, där de med hjälp av brandcellsindelning ger tre oberoende utrymningsvägar. Figur 9 visar utrymningsvägarna för plan 1. Den övre utrymningsvägen i figur 9 delas även med andra fastigheter, så som en restaurang, som ägs av Humlegården.



Figur 9 visar utrymningsvägar från salongens första plan. De trapphus som används vid utrymning är även markerade.

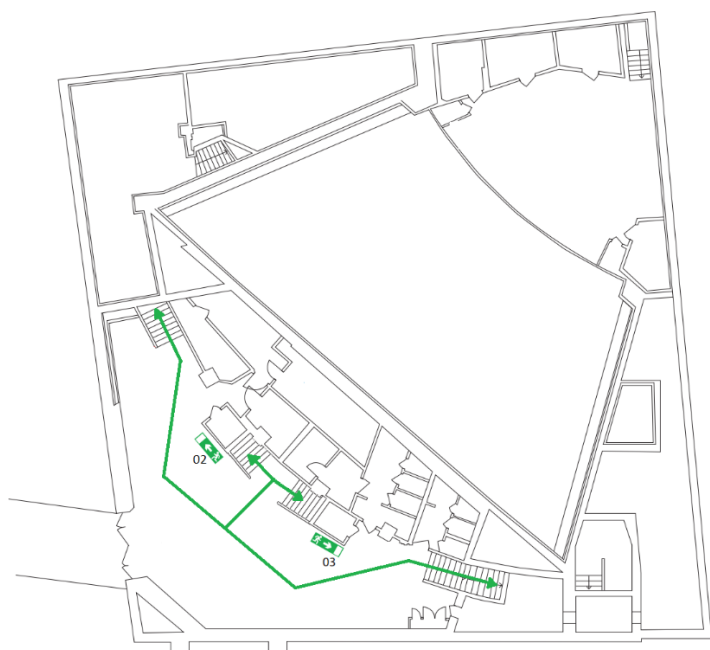
Utrymning från salongens andra plan kan ske via fem olika nödutgångar, varav fyra är oberoende. Två av dessa leder ut i foajéns övre plan och två leder ut till trapphus bredvid salongen. Den sista nödutgången leder ut bredvid China Teaterns kontor på plan 3. Det innebär att de som utrymmer genom denna nödutgång delar utrymningsväg med kontorsverksamheten. Kontorsverksamheten har även en ytterligare nödutgång som leder till trapphus tre som är utmarkerat i figur 9. Även här delar de nödutgång med besökare från salongens övre plan. China Teaterns kontorsverksamhet samt alla utrymningsvägar är markerade i figur 10.



Figur 10 visar utrymningsvägar från salongens andra plan. China Teaterns kontorsverksamhet och dess utrymningsvägar är även markerade med blått.

Avståndet till utrymningsvägarna i salongen överstiger generellt de krav för förenklad dimensionering som ställs enligt BBR 5:331. Denna brist har tidigare tillåtits till följd av de tillgängliga nödutgångarnas höga kapacitet. Alla nödutgångar öppnas utåt för att undvika köbildning och all beslagning av utrymningsdörrar är utförda i form av panikregler enligt typ EN1125. (Firetech, 2009)

Garderoben är ytterligare en plats med stundtals högt personantal. Här kan utrymning ske via fyra trappor som sedan leder upp i de olika brandcellerna i foajén, se figur 11. Det finns även en tunnel som ansluter China Teatern med nattklubben Berns på andra sidan gatan, denna används dock inte som utrymningsväg i dagsläget.



Figur 11 visar utrymningsvägar från garderoben på källarplan.

Från de övre planen finns det fyra trapphus som kan användas vid utrymning. Trapphusens placering visas i figur 9. China Teatern delar även nödutgång med ett utomstående företag som har sitt kontor på byggnadens översta plan. Deras nödutgång leder ut till trapphus tre som är markerat i figur 9. Alla nödutgångar leder ut till antingen Berzelii park öster om eller till Näckströmsgatan söder om byggnaden. (Ohlsson, 2016)

4.10 Personalutbildning och rutiner

För att säkerställa att en eventuell utrymning sker effektivt används två checklistor, som framarbetats av en brandkonsult, innan varje föreställning. En checklista tar foajépersonalen hand om medan den andra sköts av personalen som arbetar bland utrymmena vid scenen. Checklistorna kontrollerar främst att samtliga utrymningsvägar är fria från hinder och att inte några onödiga föremål befinner sig på scenen. Då personalen kontrollerat samtliga punkter på listan godkänner inspicienten att kraven uppfyllts. (Ohlsson, 2016)

Då pyroteknik emellanåt används under föreställningar finns personal redo med släckare ifall något skulle gå fel. När facklor är en del av föreställningen används oftast gasol eller paraffin (lampolja) som bränsle. I facklan finns en fjäderbelastad hylsa som är försedd med död mans grepp, det vill säga att om facklan tappas far hylsan upp och släcker facklan. Om det ändå skulle uppstå en brand har all personal som uppgift att ta på sig en väst och därefter leda gäster till den säkra uppsamlingsplatsen utomhus. På dessa västar klargörs det att personalen arbetar på China Teatern. (Ohlsson, 2016)

Service på brandlarmet genomförs en gång i kvartalet. Även genomgångar angående förändrade brandrutiner utförs vid varje nyproduktion för att se till att personalen är uppdaterad med de förändringar som den nya produktionen kan ha medfört. (Ohlsson, 2016)

4.11 Räddningstjänst

Enligt kommunens räddningstjänstplan är insatstiden högst tio minuter. Byggnaden är placerad i anslutning till allmän körväg vilket innebär god framkomlighet för räddningstjänsten. (Kjell Fallqvist, 2001)

5. Riskidentifiering

Nedan följer riskidentifieringen av China Teatern med tänkbara brandscenarier samt val av brandscenarier för vidare analys

5.1 Avgränsningar i riskidentifieringen

Fokus i rapporten är personskydd och avgränsningar har därför gjorts så att enbart de delar som används vid föreställningar tas i beaktande. Det innebär att de andra verksamheterna som pågår i byggnaden, så som kontorsverksamheten på de övre planen, ej behandlas i rapporten.

De brandscenarier som kan uppkomma i övriga delar av byggnaden anses vara av sådan karaktär att de ej utsätter besökarna för någon nämnvärd risk. Detta beror på att dessa delar är i avskilda brandceller och besökare ej antas befinna sig där. Personalen i de övriga delarna har även god lokalkännedom vilket gör att de effektivt kan bekämpa branden i ett tidigt skede samt utrymma om nödvändigt.

Identifieringen baseras på platsbesök samt samtal med anställda vid China Teatern och personal från Storstockholms Brandförsvär.

5.2 Brandscenarier – grovanalys

Nedan följer de brandscenarier som efter platsbesöket anses vara möjliga. Dessa graderas relativt varandra utifrån sannolikhet och konsekvens för att sedan kunna jämföras i en riskmatris. Graderingarna presenteras i tabell 4.

Tabell 4 visar en beskrivning av de graderingar som används vid grovanalysen.

	Gradering	Beskrivning
Sannolikhet	Mycket låg	Brand förväntas inte kunna uppkomma
	Låg	Uppkomst av brand förväntas vara mycket ovanligt
	Medel	Uppkomst av brand förväntas vara ovanlig
	Hög	Uppkomst av brand kan förväntas
	Mycket hög	Uppkomst av brand förväntas
Konsekvens	Mycket låg	Brand förväntas ej leda till personskador
	Låg	Brand förväntas leda till ringa personskador
	Medel	Brand förväntas leda till personskador
	Hög	Svåra skador eller enstaka dödsfall kan förekomma
	Mycket hög	Flera dödsfall förväntas

Scenario 1 - Brand i garderoben

I garderoben förvaras besökarnas tillhörigheter, främst jackor och väskor. Bild 2 visar garderobsutrymmet. Under föreställning kan brandbelastningen vara väldigt hög till följd av mängden ytterplagg. Garderoben är alltid bemannad med en garderobsansvarig innan, under och efter föreställning. Innan och efter föreställning kan antalet garderobiärer variera mellan två till nio personer. De förväntas ha god lokalkännedom och alla ska vara väl informerade om både preventiva platsåtgärder samt procedurer vid eventuell brand.



Bild 2 visar garderobsutrymmet med tillhörande kassor.

De inhängda plaggen består av material som bland annat bomull, polyester, läder och päls, alla material som brinner bra. Brandbelastningen kan variera mycket beroende på säsong, då det under sommarhalvåret hängs in färre kläder.

Från garderoben finns det tre oberoende nödutgångar vilket ger goda utrymningsmöjligheter då utrymmet är litet. Ett problem som kan uppstå vid en nödsituation är att de folkmassor som försöker ta sig ner till garderoben omedvetet blockerar den främsta nödutgången.

Eftersom personalen är upptagen vid de tillfällen då det vistas mycket folk i garderoben bedöms sannolikheten för brand till medel. Konsekvenserna av en brand kan bli mycket stora förutsatt att sprinkler inte finns främst beroende på att brandbelastningen för kläderna och väskorna som hängs in är mycket hög och ett häftigt brandförlopp kan därför inträffa. I detta fall är utrymmet sprinklat vilket kommer att begränsa brandförloppet, därför bedöms konsekvensen till hög istället för mycket hög.

Sannolikhet: *Medel (3)*

Konsekvens: *Hög (4)*

Scenario 2 – Brand i utrymmet under scenen

Under scenen är det ett trångt utrymme med lågt i tak. Där är stora mängder brännbart material som exempelvis kablage, stoppning i möbler, träbjälklag och mycket plastdetaljer. Dessa var slumpmässigt utspridda i rummet och känslan av oordning var överväldigande, vilket ses i bild 3.

Personerna som jobbar där sitter med ljudteknik. Det kan antas att under föreställning har de full fokus på sin uppgift och är inte så uppmärksamma på sin omgivning.



Bild 3 visar utrymmet under scenen.

En brand i detta utrymme kan vara svår att släcka för hand på grund av svåråtkomligheten. En vidtagen åtgärd för att bekämpa detta är att utrymmet är sprinklat. I de sällsynta fall då sprinklersystemet fallerar kan spridning och tillväxt av branden antas bli stor i detta scenario vilket kommer medföra allvarliga konsekvenser. I övriga fall då sprinklern fungerar antas tillväxten och spridningen dämpas i den mån att konsekvenserna inte blir så stora.

Från utrymmet finns det enbart en nödutgång vilket försvårar utrymningen vid brand. Sammantaget bedöms sannolikheten därför som hög men konsekvensen låg till följd av sprinklern.

Sannolikhet: *Hög (4)*

Konsekvens: *Låg (2)*

Scenario 3 – Brand till följd av elfel i kyl

I foajéns barer serveras alkoholhaltiga drycker i samband med föreställningarna. Dessa förvaras i kylar som står uppställda längs väggen i baren. Ett elfel i en kyl skulle kunna leda till brand i kylskåp och risk för spridning till närliggande objekt föreligger vid ouppmärksamhet. Tekniska fel står för ca en fjärdedel av alla brandtillbud om man ser till statistiken (MSB, 2005-2014). Sannolikheten bedöms därför som medelhög.

Barpersonalen förväntas ha god kännedom i lokalen och samtliga ska vara väl informerade om både preventiva platsåtgärder samt procedurer vid eventuell brand. Brandsläckare finns i närheten och foajén är även sprinklad. Mycket folk kan förvänta sig infinna sig i foajén samtidigt, dock finns tio väl synliga nödutgångar som direkt leder ut till det fria vilket inte ger någon utrymningsproblematik. Konsekvenserna bedöms därför som mycket låg.

Sannolikhet: *Medel (3)*

Konsekvens: *Mycket Låg (1)*

Scenario 4 – Brand i salongens första plan

I salongen finns det en hög brandbelastning i form av stolarna. På första plan finns det plats för cirka 600 besökare, om brand uppkommer i dessa stolar kan det antas sprida sig i hela salongen. Stolsuppställningen kan ses i bild 4.



Bild 4 visar stolsuppställningen på salongens första plan.

Från salongens första plan finns det sex nödutgångar, varav fem oberoende, vilket bör ge goda förutsättningar för utrymning. I lokalen finns det även personal som kan underlätta vid en utrymning.

Det finns även plats för funktionshindrade på detta plan. De sitter på en ramp nära både nödutgång och personal vilket innebär att de anses kunna utrymma utan problem.

Även om brandförloppet kan bli mycket häftigt gör de goda möjligheterna till utrymning att konsekvensen av en brand i salongen kan begränsas. Sannolikheten att en stol antänder anses vara mycket låg, men risken för anlagd brand bör finnas med i bedömningen. Därför bedöms sannolikheten vara låg.

Sannolikhet: *Låg (2)*

Konsekvens: *Hög (4)*

Scenario 5 – Brand på scen

Då pyroteknik stundtals används under föreställningar på China Teatern bör det beaktas som ett eventuellt brandscenario. Den mängd pyroteknik som används är beroende av vilken föreställning som spelas på teatern, och det är därför en risk vars magnitud kan variera.

Pyroteknikerna som anlitas bär själva ansvaret för den utrustning som används. Detta är överenskommet i samråd mellan polisen och China Teatern. Denna överenskommelse har därför lett till att endast professionella pyrotekniker, som China Teatern dessutom anser vara pålitliga, anlitas. Därför kan det antas att säkerheten är extra hög.

Under omständigheten att utrustningen skulle användas felaktigt eller vara defekt kan det leda till att brand uppstår. Denna brand uppstår troligtvis på eller i nära anslutning till scenen där chansen för tidig upptäckt är trolig eftersom publiken har god möjlighet att se branden. På grund av detta kan sannolikheten antas vara låg.

Brandbelastningen på scenen varierar mycket beroende på vilken föreställning som visas. De material som befinner sig på scenen är även behandlat med brandskyddsfärg för att minska risken för brandspridning. Detta gäller möjligen inte för eventuell rekvisita.

Konsekvensen varierar beroende på hur stor mängd pyroteknik som används och hur mycket material som finns på scen. Utrymningsmöjligheterna anses vara goda då det finns sex utrymningsvägar från salongen. Därför anses konsekvensen var medelhög.

Sannolikhet: *Låg (2)*

Konsekvens: *Medel (3)*

Scenario 6 – Brand på balkongen

På balkongen finns plats för ytterligare cirka 600 besökare, vilket innebär att en brand kan ha stora konsekvenser. Även här är utrymningsmöjligheterna mycket goda med fem nödutgångar, varav fyra oberoende. Avstånden till nödutgångarna är längre på balkongen än på parketten vilket försvårar utrymningen, konsekvensen bedöms därför som hög.

Sannolikhet: *Låg (2)*

Konsekvens: *Hög (4)*

Scenario 7 - Brand bakom scenen på plan 1

Bakom scenen är det trånga gångar med mycket rekvisita. Brandbelastningen kan alltså ses som stor. Detta utrymme är nedsläckt under föreställning och enda ljuskällan är sparsamt utplacerade små spotlights i gångarna. Det är skådespelare i rörelse under pågående föreställning. Askfatet på bild 5 tyder på att personal har som vana att röka bakom scen. Detta i kombination med papperskorgar och annat lättantändligt material och stressat folk i rörelse kan ses som en risk för uppkomst av brand. Vid besöket var även en utrymningsväg blockerad av rekvisita. Ifall branden startar i samband med föreställning kan röken av publik möjligen misstas för scenrök och kan därför ignoreras och utrymning kraftigt fördröjas. Detektion kan antas utebli då rökdeckarna är avstängda under de flesta showerna som involverar rök, samt att det är högt i tak.



Bild 5 visar ett askfat och en papperskorg, en möjlig tändkälla bakom scenen.

Vid ett brandtillbud antas tillväxten vara snabb och personerna runtom vara fokuserade på sina arbetsuppgifter under föreställningen. I utrymmet finns inga sprinklers utan endast tillgång till begränsat antal handsläckare som kan vara svåra att lokalisera när det är mörkt. En brand här skulle utgöra stor risk för personalen som jobbar bakom scen då utrymningsmöjligheten och framkomligheten är begränsad. Sannolikheten bedöms som hög och konsekvensen som medel då det främst är personal med god lokalkännedom som påverkas.

Sannolikhet: *Hög (4)*

Konsekvens: *Medel (3)*

Scenario 8 – Brand till följd av elfel bakom scen på plan 2

På plan 2 finns det utrymmen bredvid scen där orkestern sitter under föreställning. Här finns även annat material samt kablar till strömförsörjningen. Om keyboarden eller någon av kablarna råkar ut för elfel finns risken att brand uppstår. I utrymmena finns två oberoende utrymningsvägar och en brandsläckare till hands. Då keyboarden är bemannad och elfel uppstår är personen i fråga nära till närmsta brandsläckare och kan förväntas släcka branden snabbt.

Även dessa utrymmen är relativt trånga, och här antas endast vara ett fåtal människor och dessa personer antas ha god lokalkännedom. Avståndet till publiken i salongen är tillräckligt stort för att utrymning ska ske utan komplikationer. Eftersom både snabb utrymning alternativt snabb släckning antas ske bedöms risken till en med medel sannolikhet samt en mycket låg konsekvens.

Sannolikhet: *Medel (3)*

Konsekvens: *Mycket låg (1)*

Scenario 9 - Brand i strålkastarrummet

Strålkastarrummet är beläget ovanför åskådarbalkongen på plan 3. Här sitter två personer och bemannar följeljust till scenen under föreställning. Potentiella tändkällor utgörs av risken för elfel i kablar och strålkastarlampor. Brandbelastningen anses inte vara så stor då utrymmet är relativt litet och i större utsträckning saknar brännbart material.

En brand i detta utrymme skulle leda till brandgasspridning ut till balkongen där åskådarna sitter. Varken sannolikheten eller konsekvensen antas vara särskilt höga i detta scenario då det är en väldigt kontrollerad, avskild och liten miljö där personer som blir påverkade har goda möjligheter att släcka eller utrymma. Både sannolikhet och konsekvens bedöms därför som låg.

Sannolikhet: *Låg (2)*

Konsekvens: *Låg (2)*

Scenario 10 – Brand i logerna under föreställning

Logerna ligger avskilt på plan 3 och fyra, vilket innebär att en brand här inte kommer att påverka salongen. På grund av detta kan det antas att ett begränsat antal personal rör sig i detta område under föreställning. Det finns en liten mängd brännbart material i och runt logerna, vilket innebär att omfattande brandspridning ej kan ske. I logerna finns elektrisk utrustning, så som plattängar, hårtorkar och dylikt, som kan orsaka en brand.

Det vistas som tidigare nämnt lite personal i detta område vilket innebär att utrymning inte antas vara ett problem. De som befinner sig i dessa delar antas även ha god lokalkännedom eller vara i sällskap med någon som har det. Logerna befinner sig i en annan brandcell än där besökarna vistas. De antas därför ej påverkas vid eventuell brand.

Sannolikhet: *Medel (3)*

Konsekvens: *Låg (2)*

Scenario 11 – Brand till följd av elfel bakom scen på plan 3

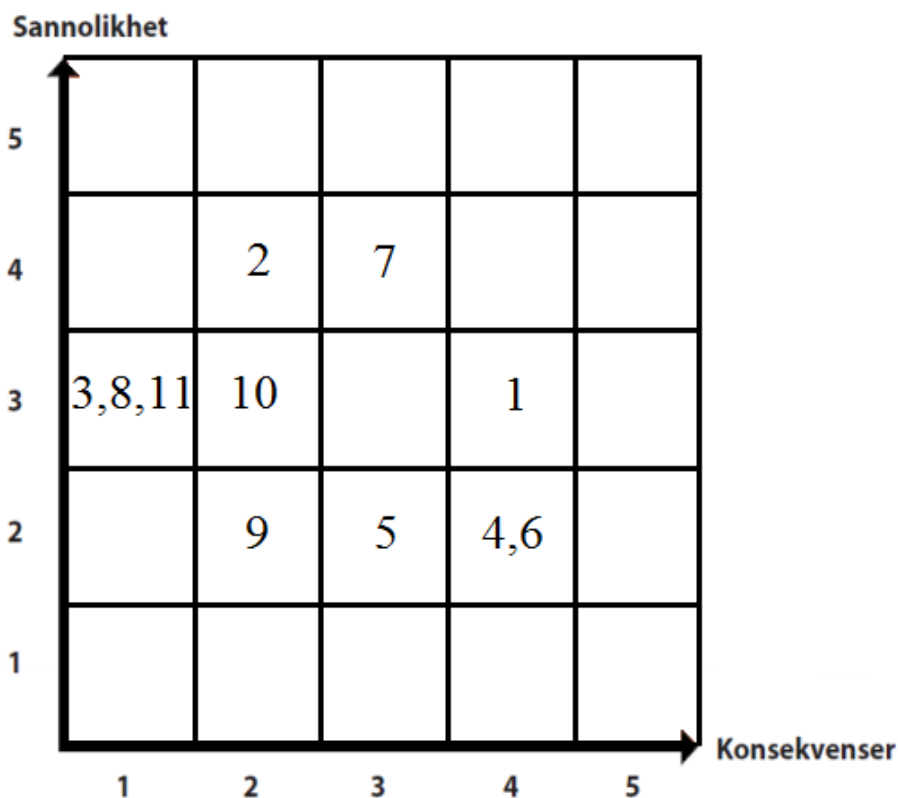
I utrymmet bakom scenen finns diverse material och utrustning som används under föreställningar. Det finns även i detta utrymme en mängd kablar som står för strömförsörjningen till utrustning på och bakom scen. Eftersom en av de vanligaste brandorsakerna är på grund av elfel anses dessa kablar vara en riskkälla. Utrymmet är relativt trångt, men samtidigt kommer där inte vistas mycket folk. De personer som befinner sig där förväntas ha mycket god lokalkännedom och kan ta sig ut på egen hand.

Med tanke på hur få personer som kan tänkas befinna sig i utrymmet och att det finns tillgång till brandsläckare samt två oberoende utrymningsvägar anses risken inte vara särskilt hög. Risken uppskattas till en med medel sannolikhet samt en mycket låg konsekvens.

Sannolikhet: *Medel (3)*

Konsekvens: *Mycket låg (1)*

För att kunna jämföra de tänkbara brandscenarierna överskådligt presenteras de i en riskmatris nedan, se figur 12.



Figur 12 visar en riskmatris med värderade scenarier.

5.3 Utvalda brandscenarier

Med hjälp av riskmatrisen har två scenarier valts ut för att utvärderas. De valda scenarierna är:

- *Scenario 1 – Brand i garderoben. (Anlagd brand)*
- *Scenario 6 – Brand på balkongen. (Anlagd brand)*

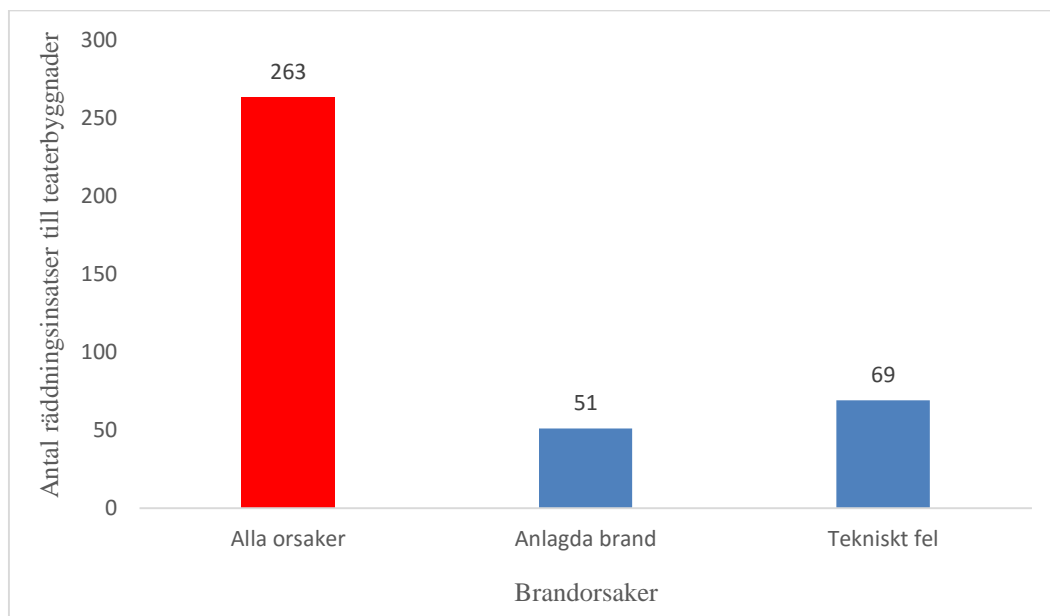
Dessa har valts då de anses vara de värsta troliga scenarierna ur utrymningssynpunkt. Därför anses de även vara representativa för de övriga scenarier som lades fram i grovanalysen.

Scenario 1 – Brand i garderoben, valdes då brandbelastningen anses vara hög samtidigt som det rör sig mycket folk i utrymnet. Scenariot anses även vara representativt för *scenario 3 – Brand i kyl*, då detta scenario har likande förutsättningar men en lägre brandbelastning samt bättre utrymningsmöjligheter.

Scenario 6 – Brand på balkongen, valdes då brandbelastningen är måttligt hög samtidigt som det finns väldigt mycket folk i lokalen. Scenariot ansågs vara det värsta troliga som kunde uppstå i salongen. Därför anses det vara representativt för scenario 2, scenario 4, scenario 5, scenario 7, scenario 8 och scenario 11 då dessa leder till mer gynsamma förhållanden för besökarna.

De utvalda brandscenarierna anses inte vara representativa för scenario 9 eller scenario 10. I dessa scenarier drabbas dock enbart personal som har god lokalkännedom. Därför anses det att dessa individer kan utrymma utan problem, vilket innebär att de inte behöver undersökas närmre.

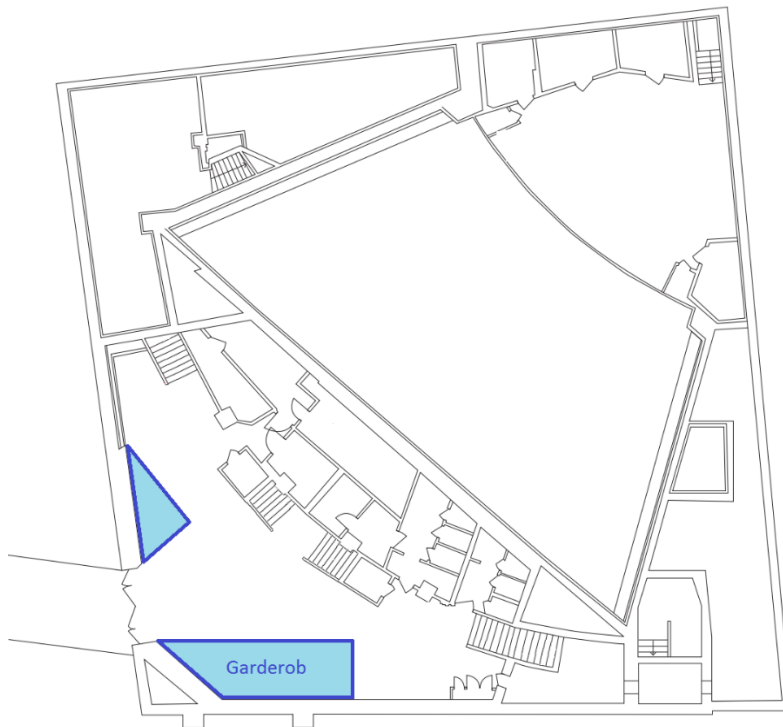
Enligt statistik från MSBs statistikdatabas IDA (Indikatorer, Data och Analys) är anlagda bränder den näst vanligaste orsaken till att räddningstjänsten rycker ut till teaterbyggnader. Enligt statistiken, se figur 13, så utgörs cirka en femtedel av alla räddningsinsatser till teaterbyggnader av anlagda bränder. (MSB, 2005-2014) Endast tekniska fel bidrar till fler utryckningar, övriga orsaker var inte av samma betydande storlek som dessa två. Därför har scenario 1 och 6 antagits bero på just anlagd brand.



Figur 13 visar statistik från MSB:s databas IDA. Antalet bränder som varit anlagda samt de som hade tekniskt fel som brandorsak jämförs med det totala antalet räddningsinsatser till teaterbyggnader.

6. Scenario 1 – Brand i garderoben

I detta avsnitt görs en mer utförlig analys av en eventuell brand i garderoben på plan noll, (källarplan). Garderoben är uppdelad i två delar och placeringen av dessa kan ses i figur 14.



Figur 14 visar garderobens placering. Garderobens två delar är markerade.

6.1 Dimensionerande brand

Detta scenario innebär att de inhängda kläderna i garderoben i China Teaterns källare antänds. Antändningen antas, med stöd i statistiken, ske genom att branden anläggs, se figur 10. Detta kan ge upphov till ett mycket häftigt brandförlopp med en hög effektutveckling då brandbelastningen är hög. Branden kommer dock att begränsas, antingen genom aktivering av den automatiska vattensprinkleranläggningen eller på grund av begränsad syretillförsel, det vill säga att branden blir ventilationskontrollerad, se *Bilaga A – Handberäkningar*.

China Teaterns garderob har kapacitet för att hälften av gästerna, det vill säga cirka 600 stycken, hänger in sina ytterkläder. Om fler än så vill hänga in sina kläder ska detta kunna lösas. (Ågren, 2016) Därför kommer beräkningarna i rapporten att dimensioneras utifrån att 75 % av besökarna har hängt in sina ytterkläder, det vill säga att det hänger 900 plagg i garderoben vid antändning.

6.1.1 Effektutveckling

För att ta fram effektutvecklingskurvan undersöktes materialet i flertalet ytterplagg för att på så vis få fram ett värde på en tillväxthastighet. Processen är beskriven i *Bilaga A – Handberäkningar*. Det resulterade i tillväxthastigheten *fast*. ($\alpha=0,047 \text{ kW/s}^2$)

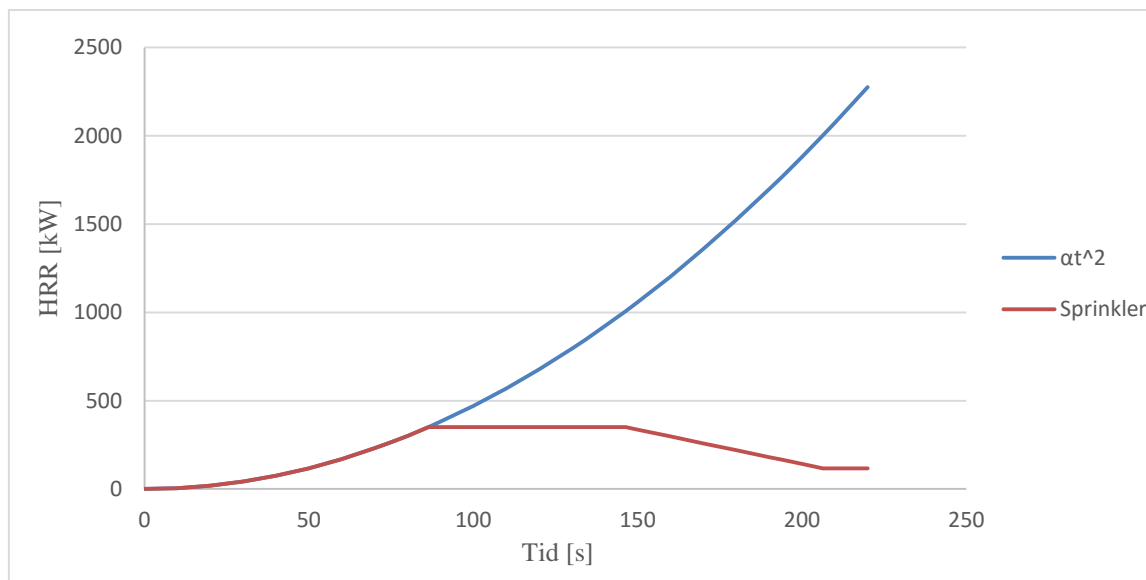
Effektutvecklingskurvans utseende beror på ifall branden begränsas på något sätt, antingen genom något aktivt system såsom sprinkler eller på grund av begränsad syretillförsel. Den teoretiskt maximala effektutvecklingen kommer alltså inte uppnås i detta fall. I praktiken

kommer den högsta effektutvecklingen uppnås antingen när sprinklersystemet löser ut, eller då branden blir ventilationskontrollerad.

Aktiveringstiden av sprinklersystemet beräknades med hjälp av en FDS simulering, se *Bilaga B – FDS*. Aktiveringstiden antas vara 86 sekunder, vilket är tiden för aktivering av den andra sprinklerbulben, detta är en konservativ bedömning som genomförs eftersom brandens placering i förhållande till placering av sprinklerbulber kan variera.

Tiden till ventilationskontrollerad brand, utan sprinklerpåverkan, är cirka 11 minuter, se *Bilaga A – Handberäkningar*. Sprinklersystemet kommer alltså vara effektutvecklingens primära begränsande faktor. Då aktivering sker efter 86 sekunder kommer brandens effekt att stanna på 350 kW under en minut och därefter avta linjärt till en tredjedel av maxeffekten. (Staffansson, 2010)

Det är en stor tidsskillnad mellan då ventilationskontroll inträffar och när sprinklerbegränsning inträffar. Därför visar figur 15 hur effektutveckling kommer se ut då sprinkler aktiveras samt hur brandförloppet fortlöper om aktivering uteblir.



Figur 15 visar vad som sker vid sprinkleraktivering och vilken effektutveckling som erhålls.

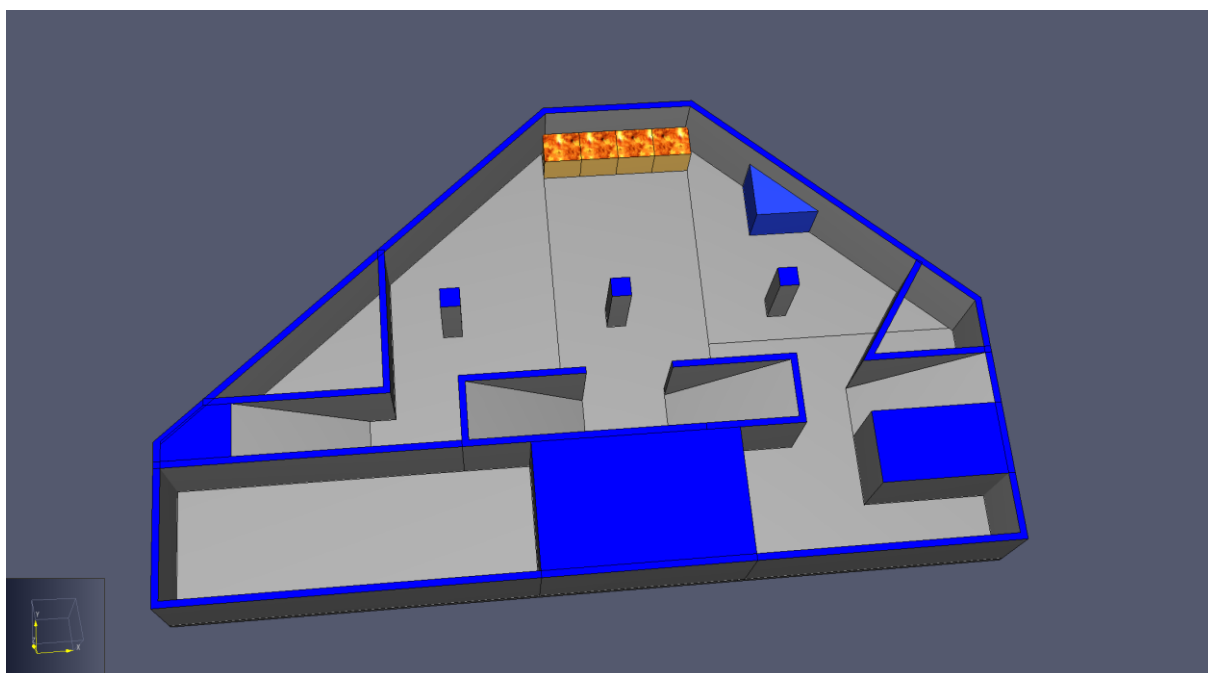
6.1.2 Tid till kritiska förhållanden

I kapitel 1.5 definierades objektets skyddsmål med stöd i de kriterier som boverket definierat för kritiska förhållande. (Boverket, 2011) För aktuellt scenario se tabell 5.

Tabell 5 visar definitioner och tider till kritiska förhållanden.

Kriterium	Tid till kritisk nivå ¹
1. Brandgaslagrets höjd över golv	95 sekunder
2. Siktbarhet, 2,0m ovan golv	Köbildning förväntas i trappan. 90 sekunder
3. Värmestrålning	> 3 minuter
4. Temperatur	> 3 minuter
5. Toxicitet, 2,0m ovan golv	> 3 minuter

Tiderna till kritiska förhållanden är framtagna genom en simulering i FDS, se *Bilaga B - FDS*. Geometrin som använts i simuleringen presenteras i figur 16. Brandförloppets första tre minuter simulerades.



Figur 16 visar den uppritade geometrin som användes i FDS.

6.2 Utrymning

I detta avsnitt kommer tid till kritiska förhållanden ställas mot total tid för utrymning. Vid ett positivt resultat finns det en säkerhetsmarginal för teaterbesökarna medan ett negativt resultat innebär att besökare kommer att utsättas för kritiska förhållanden under utrymningsprocessen.

¹ Samtliga mätningar är utförda i källarutrymnet. Då det sker rökspridning genom trappuppgångarna borde även utrymningsförhållandena ha mätts där. Om resultatet från rapporten ska användas bör detta därför utredas först.

Tidfördelningarna kommer att användas som indata i programmet @Risk för att få fram en slutgiltig fördelning på tillgänglig tid för utrymning.

6.2.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden definieras som tiden det tar för en person att uppfatta en nödsituation. I detta fall är varseblivningstiden den tid det tar till att brandlarmet aktiveras. Simuleringen som gjorts i FDS visar att rökdetektorer aktiveras vid 36 sekunder. Varseblivningstiden för människorna som befinner sig i garderoben sätts därför till en triangelfördelning mellan 25 och 40 sekunder med toppvärdet 36 sekunder i @Risk. Variationen är till följd av att brandens placering kan variera samt att vissa personer upptäcker branden genom lukt och visuella intryck vid olika tidpunkter innan larmet aktiveras.

Fördelning garderob: Triang(25;36;40)

Personerna i foajén antas ha en något annorlunda varseblivningstid, denna motsvarar detektionstiden då de inte kan observera branden på något sätt innan larmaktivering. Därför sätts varseblivningstiden till en uniform fördelning mellan 33 och 45 sekunder i @Risk. Variationen beror främst på ovetskapen om brandens placering i utrymmet.

Fördelning foajé: Uniform(33;45)

6.2.2 Förberedelsetid

Förberedelsetiden definieras som tiden det tar för en person att besluta sig för att börja utrymma/förflytta sig. Denna tid kommer variera för personer som befinner sig i garderoben och personer som befinner sig i foajén.

Personerna i garderoben antas vid detektorernas aktivering börja se sig omkring och snabbt märka rökutveckling och eventuellt branden då utrymmet i relation till övriga ytor på teatern är litet. Detta antas resultera i en snabb reaktionstid i jämförelse med försöken i rapporten *Tid för utrymning vid brand* (Frantzich, 2001). Beslutstiden sätts därför till en uniformfördelning med ett minimivärde på fem sekunder och ett maximivärde som bestämdes till 30 sekunder efter att ha studerat resultaten från FDS. FDS-simuleringen visar att kraftig rökutveckling sker i samband med branden. Efter 70 sekunder av förloppet anses rummet vara så pass rökfyllt, i kombination med att rökdetektorn aktiverat sedan en halv minut tillbaka, att även den mest nitiska besökaren inser att utrymning bör ske. Uniformfördelningen väljs då det inte finns belägg att den ena tiden är mer trolig än den andra.

Fördelning garderob: Uniform(5;30)

Personerna i foajén antas ha en något annorlunda förberedelsetid, till skillnad från personerna i garderoben har de ej möjlighet att se branden då de befinner sig på en annan våning. Förberedelsetiden förväntas ha ett minimivärde då personerna ser rökutveckling i kombination med stora folkmassor som rör sig uppför trappan, detta uppskattas ske efter 60 sekunder enligt simuleringen i FDS. Enligt *Tid för utrymning vid brand*, är ett rekommenderat standardvärde för personer som ser rök eller brand 60 sekunder, maxvärdet är därför satt till 60+60 sekunder. (Frantzich, 2001)

Fördelning foajé: Triang(60;90;120)

6.2.3 Förflyttningstid

Förflyttningstiden definieras som tiden från att första person börjar förflytta sig mot närmaste utgång tills att samtliga personer i garderoben befinner sig i en annan brandcell. Genom simuleringsförsök i programmet Pathfinder har denna tid tagits fram för ett par olika

utrymningsscenarier enligt tabell 6. Personantalet varieras, likaså tillgängligheten till utrymningsvägar.

Tabell 6 visar de olika simuleringsscenarierna.

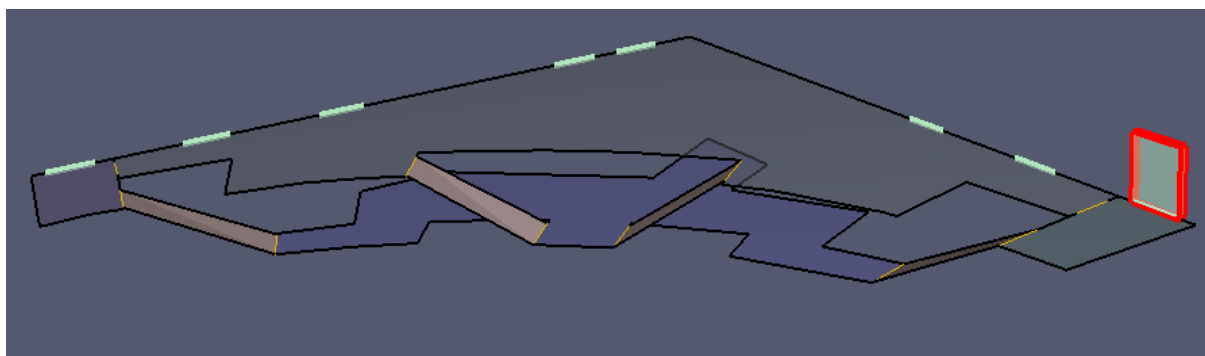
Personantal (100 %): Garderob: 200 Foajé: 500	Personantal (50 %): Garderob: 100 Foajé: 250	Utrymningsvägar:
Simulering 1.1.A	Simulering 1.1.B	Alla utrymningsvägar tillgängliga.
Simulering 1.2.A	Simulering 1.2.B	En utrymningsväg blockerad i foajén.

I tabell 7 anges förflyttningstiden för respektive simuleringsscenarier.

Tabell 7 visar förflyttningstiden för de olika simuleringarna.

Simulering	Förflyttningstid [s]
1.1.A	55
1.1.B	30
1.2.A	60
1.2.B	30

Som kan observeras i tabell 6 och tabell 7 varieras antal besökare i två fall, ett då teatern har en premiärföreställning och antalet besökare som rör sig i garderoben och i foajén är många, samt ett fall där besökantalet är mindre och personantalet är halverat. Även antalet möjliga utrymningsvägar varieras. Simulering 1.1.A och 1.1.B innefattar ingen blockerad utrymningsväg. Simulering 1.2.A och 1.2.B innefattar en blockerad utrymningsväg i foajén. Under platsbesöket observerades leveranser som ställts precis i anslutning till utrymningsvägar, därför skulle detta kunna vara en möjlig orsak till en blockerad utrymningsväg i detta scenario, se figur 17.



Figur 17 visar den blockerade utrymningsvägen (röd rektangel) på entréplan.

En uniformfördelning mellan de två extremvärdena från de fyra utförda simuleringarna används för att representera förflyttningstiden i @Risk. Uniformfördelningen väljs på grund av brist på data gällande personantal i garderoben samt förekomsten av blockerade utrymningsvägar.

Fördelning: Uniform(30;60)

Figur 18 visar geometrin i programmet Pathfinder, motsvarande en av utrymningssimuleringarna från *scenario 1 – Brand i garderoben*.



Figur 18 visar en pågående simulering av Scenario 1 – Brand i garderoben, i utrymningsprogrammet Pathfinder.

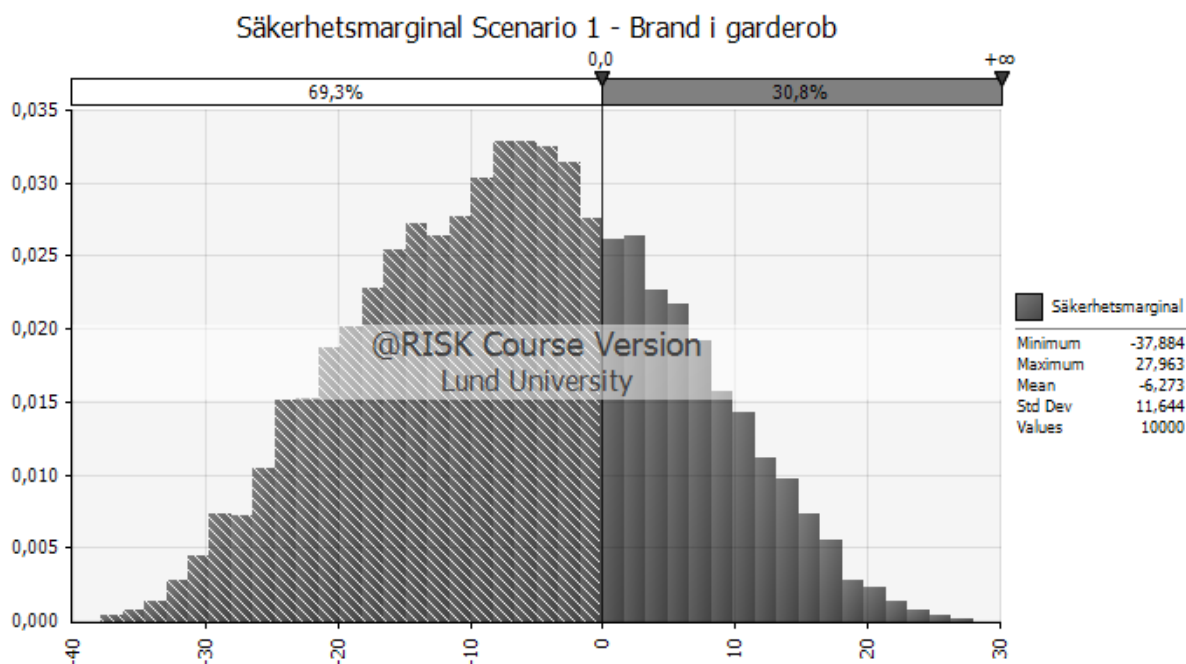
6.2.4 Tillgänglig tid för utrymning

I detta avsnitt presenteras tillgänglig tid för utrymning av *scenario 1 – Brand i garderoben*. Värden på indata till @Risk återges i tabell 8.

Tabell 8 visar Indataparametrarna till programmet @Risk.

Varseblivningstid [s]	Triang(25;36;40)
Förberedelsetid [s]	Uniform(5;30)
Förflyttningstid [s]	Uniform(30;60)
Tid till kritiska förhållanden [s]	90 (siktbarhet)

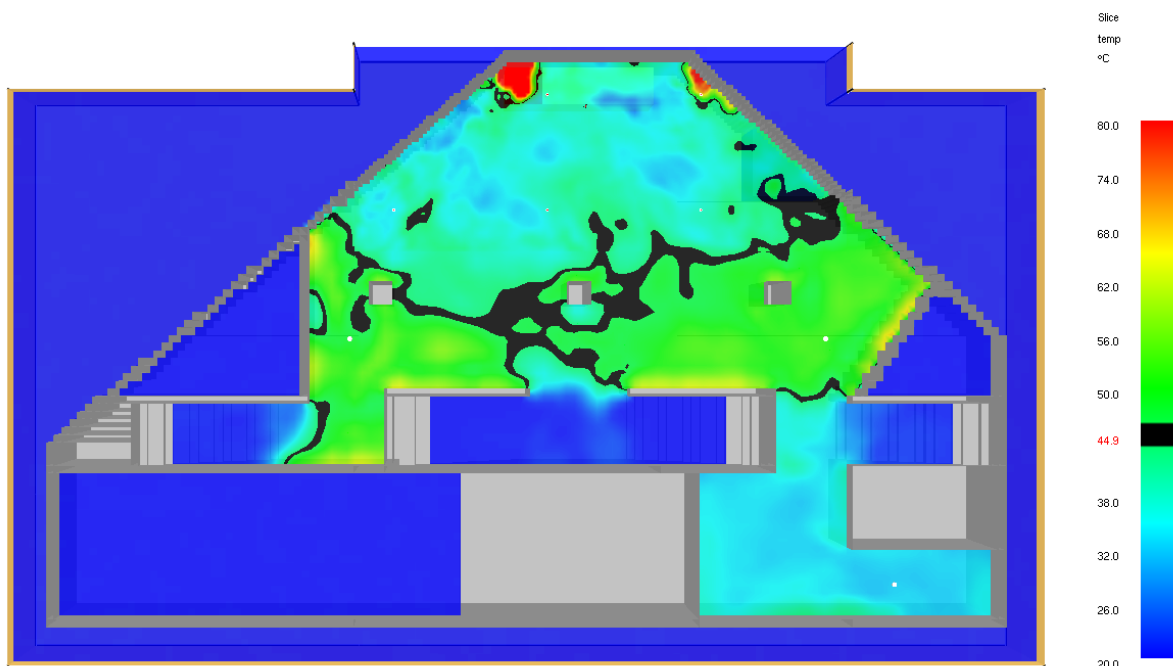
I figur 19 nedan presenteras utdata av @Risk-simuleringen. Detta är säkerhetsmarginalen för grundscenariot i garderoben. Som kan observeras i grafen är medelvärdet för säkerhetsmarginalen negativt och i ungefär 69 % av fallen så är säkerhetsmarginalen negativ. Detta innebär att besökare löper stor risk att inte hinna ut innan kritiska förhållanden inträffar vid ett faktiskt brandtillbud. En vidare analys måste därför göras för att få fram hur pass farliga förhållanden som råder när folk faktiskt hunnit utrymma, det vill säga om det råder förhållanden som kan orsaka skada för liv eller hälsa.



Figur 19 visar säkerhetsmarginalen för grundscenariot i garderoben. I förklaringen till höger kan medelvärde och standardavvikelse avläsas.

I analysen undersöks slicefiles samt punktmätningar från FDS simuleringar där temperaturen, toxiciteten och sikten undersöks. Vad gäller dessa parametrar är det bara temperaturen och toxiciteten som är hälsovådliga. Mätningarna visar på att toxiciteten inte kommer komma upp i kritiska nivåer trots att simuleringstiden markant överskrider total utrymningstid.

Temperaturspannet vid områdena där besökare köar till trapporna är 40-50 °C, se figur 20 nedan, och dessa är inte på något sett hälsoskadliga. Den parametern som blir kritisk enligt de kriterier för kritiska förhållande som anges i BBR, se tabell 1, är sikten, men denna i sig är inte hälsoskadlig. I de värsta fallen blir sikten så dålig som en meter framåt. Utrymnet är litet och besökarna kommer att köa till trapporna vilket troligtvis medför att en så pass begränsad sikt inte borde spela någon roll för den personliga säkerheten vid utrymning mer än att den förlänger utrymningstiden något.



Figur 20 visar temperaturen på två meters höjd då sista personen utrymmer i det värsta tänkbara fallet. Det svartmarkerade motsvarar temperaturen 45 grader °C.

Trots detta resonemang så anses det ej godtagbart att sikten blir kritisk i en så stor del av fallen som 69 %. Så pass begränsad sikt som en meter kan leda till disorientering som medför att personer handlar på ett sätt som inte förväntas av dem och andra konsekvenser än förlängd utrymningstid kan inträffa. Därför anses det motiverat att vidta åtgärder för att förbättra säkerhetsmarginalen i en sådan utsträckning att siktförhållanden som råder ska vara bra i majoriteten av fallen. Gruppen har därför tagit beslutet att sätta acceptanskriteriet till 10 %. Det vill säga, att kritiska förhållanden enligt tabell 1 inte inträffar innan utrymninstiden är uppnådd i 90 % av fallen. Förhållanden i de resterande 10 % av fallen bedöms då, baserat på simuleringen ovan (se figur 19 och figur 20), vara sådana att utrymning av samtliga personer ändå kan ske och tillfredsställande personsäkerhet uppnås.

6.3 Åtgärder

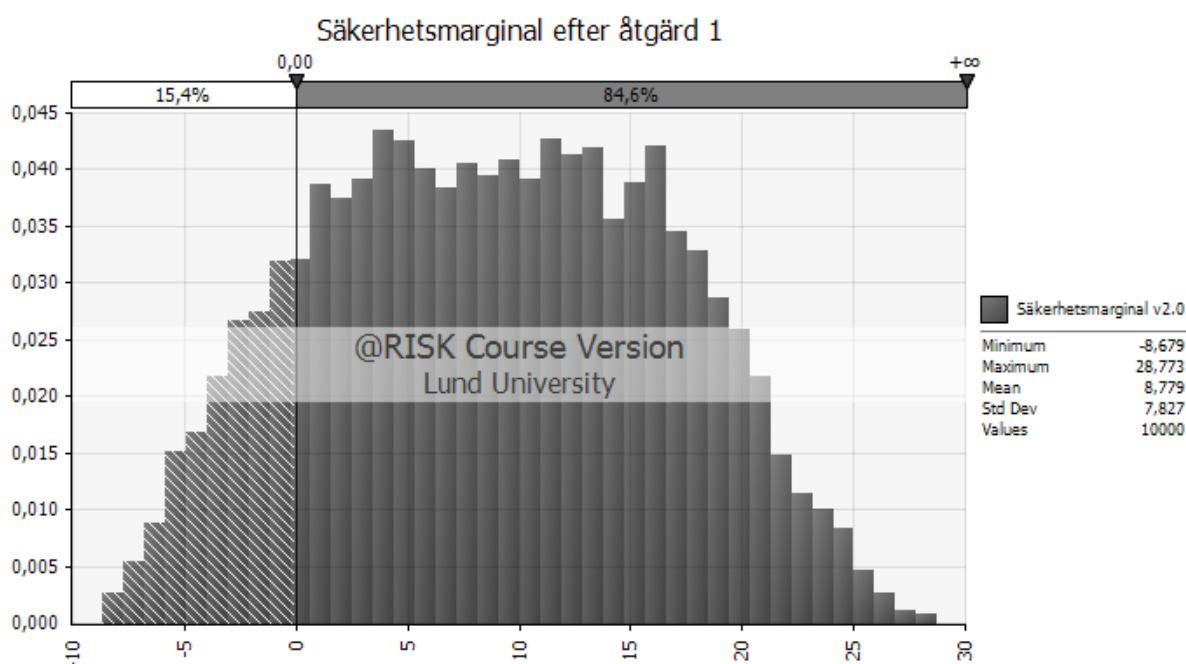
I detta avsnitt kommer de åtgärdsförslag som gav bäst resultat att presenteras för *scenario 1 – Brand i garderoben*, se tabell 9. För alla enskilda förslag görs nya simuleringar i aktuellt program för den parametern som ändringen berör, exempelvis FDS, Pathfinder och fördelningar i @Risk. De enskilda åtgärdsförslagen, och deras enskilda säkerhetsmarginal, som inte presenteras här återfinns i *Bilaga C – Utrymning*.

Tabell 9 visar förklaringar till de olika åtgärdsförslagen.

Åtgärdsnummer	Förklaring
1	Sätter ett max antal personer som får vistats i garderoben (100 personer).
2	Tunneln till Berns skyltas och används som extra nödutgång.
3	Extra rökdetektorer placeras inne vid jackorna.
4	Sprinklerbulberna byts ut till orangea bulber med lägre aktiveringstemp (från 68 °C till 57 °C).

6.3.1 Åtgärd 1

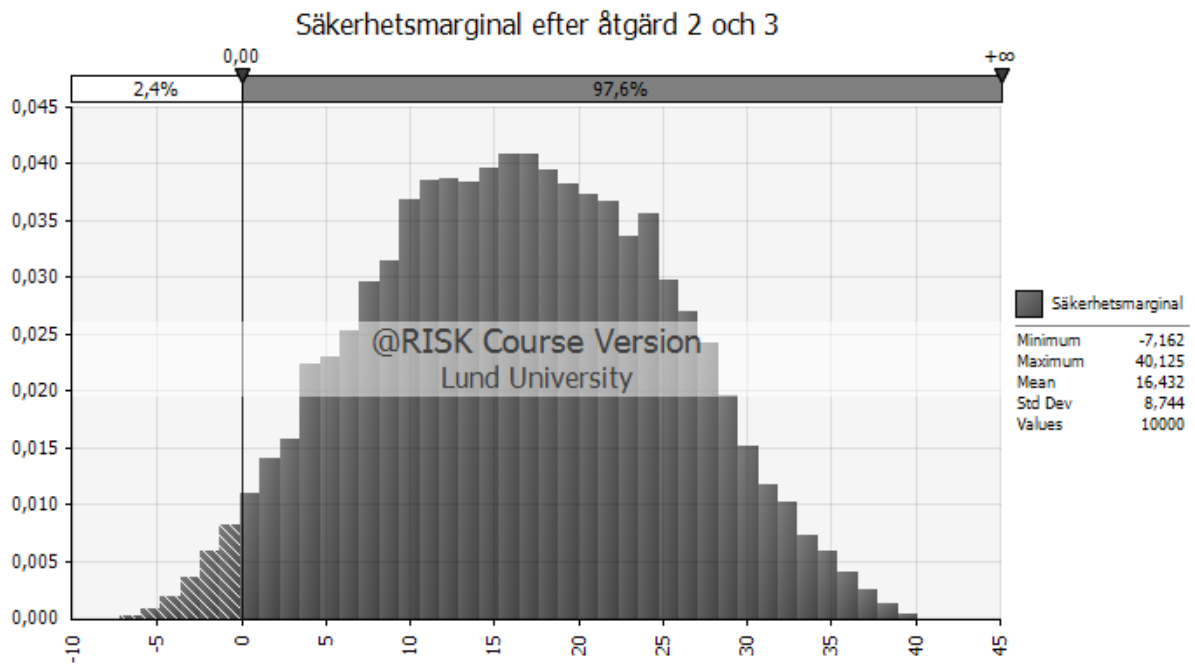
Om max antal tillåtna personer i garderoben sätts till 100 stycken, kan säkerhetsmarginalen avsevärt förbättras. Detta sker till följd av en minskad förflyttningstid, främst minskad kötid vid trapporna. Förbättringen syns tydligt vid jämförelse av figur 19 och figur 21. I figur 21 ser man tydligt att 84,6 % av fallen jämfört med 30,8 % av fallen i figur 19 är säkerhetsmarginalen positiv. En positiv säkerhetsmarginal innebär att alla besökare hinner utrymma innan kritiska förhållanden inträffar. Enligt det satta kriteriet på 10 % så är åtgärd 1 ensam inte tillräcklig för att uppfylla tillfredställande personsäkerhet.



Figur 21 visar säkerhetsmarginalen efter åtgärd 1.

6.3.2 Kombination av åtgärd 2 och 3

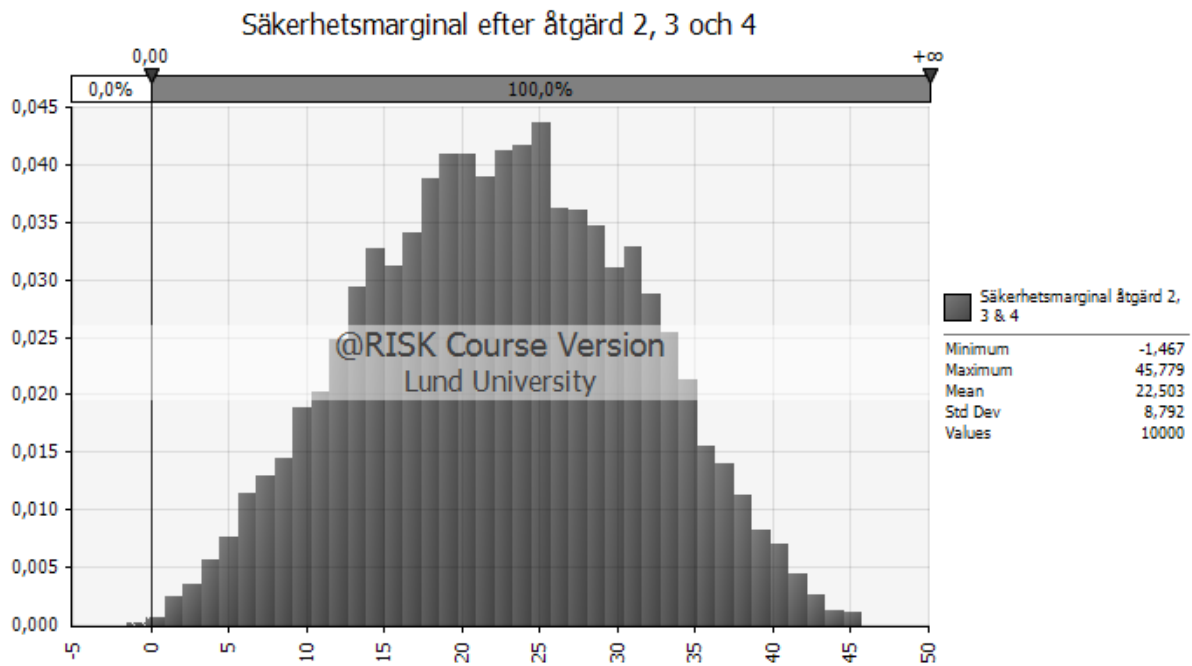
Om China Teatern vill undvika att begränsa det maximalt tillåtna personantalet i garderoben så är ett alternativ att öppna en extra utrymningsväg mot Berns samt placera nya rökdetektorer i garderoben. Säkerhetsmarginalen förbättras avsevärt då detektionstiden sänks till följd av fördelaktig placering av de nya rökdetektorerna samt minskad förflyttningstid till följd av fler utrymningsvägar. Den nya detektionstiden har verifierats med ytterligare en simulering i FDS. Resultatet för denna kombination ses i figur 22 och när det jämförs med säkerhetsmarginalen i figur 21 syns det att den är minst lika säker och klarar av kriteriet på 10 % med god marginal.



Figur 22 visar säkerhetsmarginalen efter åtgärd 2 & 3.

6.3.3 Kombination av åtgärd 2, 3 och 4

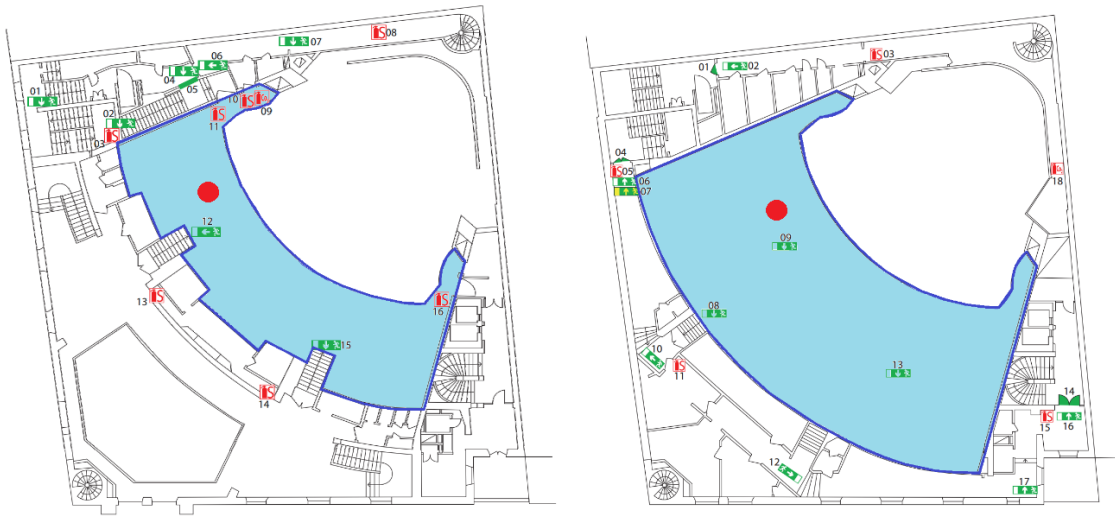
För att ytterligare öka säkerhetsmarginalen kan även sprinklerbulber med lägre aktiveringstemperatur installeras. Den nya aktiveringstemperaturen sänks till 57 °C. Detta tillägg ger, enligt simuleringar, en längre tid till kritiska förhållanden vilket medför att besökarna har längre tid på sig att utrymma. I figur 23 kan den nya fördelningen ses.



Figur 23 visar säkerhetsmarginalen för åtgärdscombinationen 2, 3 & 4.

7. Scenario 6 – Brand på balkongen

I detta avsnitt görs en mer utförlig analys av eventuell brand på balkongen. Balkongen kan ses på planritningarna nedan i figur 24.



Figur 24 visar balkongen, markerad på plan 2 och tre.

7.1 Dimensionerande brand

Detta scenario innebär att stolstoppning i en av stolarna börjar brinna på grund av anlagd brand. Värsta troliga scenario söks, därför förväntas branden uppkomma mitt under en premiärföreställning då salongen är helt full med folk och positioneringen av branden gör att en utrymningsväg blockeras. Se röd cirkel för positionering av branden.

För att bestämma vilken tillväxthastighet den dimensionerande branden skulle erhålla undersöktes effektutvecklingskurvor i rapporten *Initial Fires* av Stefan Särdaqvist. Flera tester av trästolar med poluretanskumstoppning och olika tygtäckningar har genomförts i rapporten. Med effektutvecklingen från dessa test har sedan en tillväxthastighet för en α^2 tillväxt anpassats. De slutgiltiga tillväxtvärdena är approximerade och kan ses nedan i tabell 10 tillsammans med annan information om stolarna.

Tabell 10 visar tillväxthastigheter i olika stolar. Samtliga stolar är trästolar med en fyllning av polyuretanskum. (Särdaqvist, 1993)

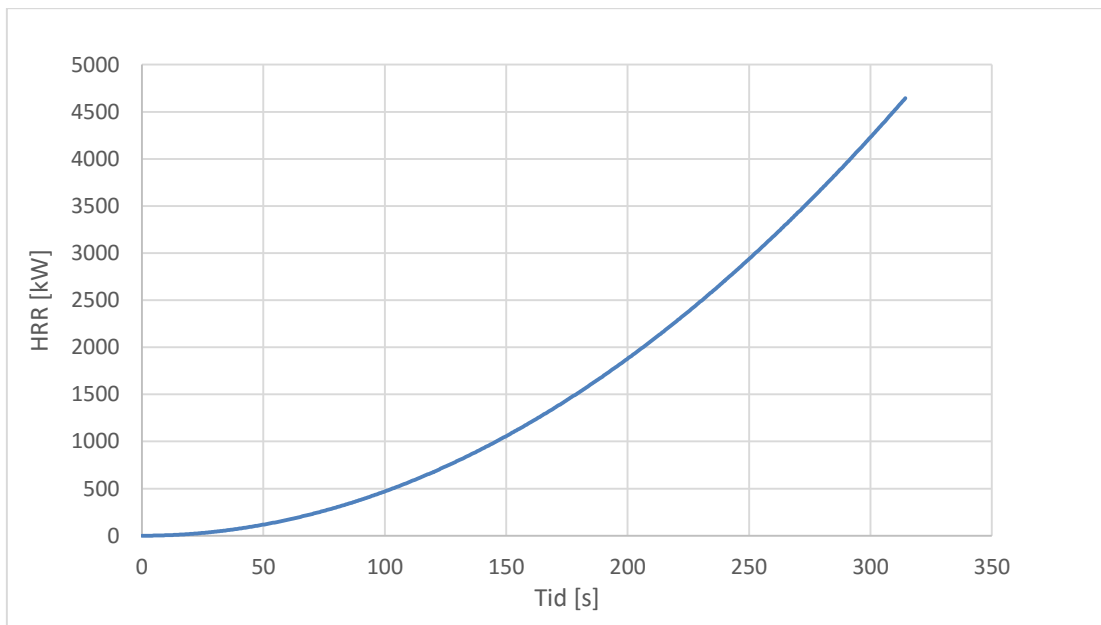
Stolstyp	Testnummer	Täckning	α [kW/s ²]
Easy chair	10	Polyolefin	0,0347
Easy chair	12	Bomull	0,0089
2-cushion mock-up chair	76	Polyester/bomull	0,0027
2-cushion mock-up chair	77	Polyester/bomull	0,0354
2-cushion mock-up chair	78	Polyester/bomull	0,0051

Som det går att se ovan i tabell 10 varierar tillväxthastigheten kraftigt. Den varierar mellan *slow* då $\alpha=0,0029 \text{ kW/s}^2$ och *fast* då $\alpha=0,047 \text{ kW/s}^2$. Stolarna med testnummer 76 och 77 är identiska, det är endast typen av antändning som skiljer dem åt. Testnummer 77 har antänts via en brinnande gardin och får på så vis en betydligt snabbare tillväxt än testnummer 76. I brandscenariot på balkongen är antändningsorsaken anlagd brand. Om antändningen har en så stor påverkan på brandens tillväxt behöver det tas med i bedömningen. Då samtliga egenskaper hos stolarna i salongen inte är kända, och på grund av sambanden som hittats i *Initial Fires*, antas värdet på brandens tillväxthastighet vara *fast*, vilket är konservativt.

I salongen kommer det inte finnas något som begränsar effektutvecklingen. Sprinklersystem finns inte och den stora volymen i utrymmet gör att branden troligen förblir bränslekontrollerad fram tills alla utrymt. Branden kommer sluta tillväxa då bränslet börjar ta slut, då den blir ventilationskontrollerad eller då släckinsats påbörjas.

7.1.1 Effektutveckling

En brand på balkongen är intressant på grund av att inget aktivt system kommer begränsa brandens tillväxt. Den simulerade brandens effektkurva framgår av figur 25.



Figur 25 visar brandens effektutveckling under simuleringstiden.

Tid till ventilationskontroll beräknas ej i detta scenario. Detta på grund av att samtliga tillgängliga nödutgångar i salongen kommer att öppnas under utrymning, vilket leder till ett stort luftflöde in i utrymmet. Ett stort inflöde av luft i kombination med utrymmets stora volym leder till att tiden till ventilationskontroll sker betydligt senare än den simulerade tiden på 315 sekunder. Antagandet är grundat efter beräkningar för ventilationskontroll i *scenario 1 – Brand i garderoben*. Garderoben har en mindre volym samt en mindre total area på öppningar jämfört med salongen, och därför antas ventilationskontroll ske efter simulerad tid. Dessa beräkningar finns att se i *Bilaga A – Handberäkningar*.

7.1.2 Tid till kritiska förhållanden

I kapitel 1.5 definierades objektets skyddskriterier med stöd i de kriterier som Boverket definierat för kritiska förhållande. (Boverket, 2011)

Tiderna till kritiska förhållanden är framtagna genom en simulering i FDS, se *Bilaga B – FDS* där brandförloppet varade i knappt sju minuter. Resultaten presenteras i tabell 11.

Tabell 11 visar tid till kritiska förhållanden.

Kriterium	Tid till kritiska förhållanden [s]
1. Brandgaslagrets höjd över golv	196 vid översta utrymningsväg
2. Siktbarhet, 2,0m ovan golv	255 vid översta utrymningsväg
3. Värmestrålning	> Simulerad tid
4. Temperatur	390 vid översta utrymningsväg
5. Toxicitet, 2,0m ovan golv	> Simulerad tid

7.2 Utrymning

I detta avsnitt kommer tid till kritiska förhållanden ställas mot total tid för utrymning. Vid ett positivt resultat finns det en säkerhetsmarginal för teaterbesökarna medan ett negativt resultat innebär att besökare kommer att utsättas för kritiska förhållanden under utrymningen.

7.2.1 Varseblivningstid + Förberedelsetid

Varseblivningstiden definieras som tiden det tar för en person att uppfatta en nödsituation och förberedelsetiden den tid det tar för en person att besluta sig för att börja utrymma. I detta fall är dessa tider olika för de som befinner sig på balkongen och de som befinner sig i salongen en våning ner. Detta på grund av en väsentlig skillnad i synliga intryck, på balkongen är branden och röken synlig för samtliga besökare medan personerna i salongen inte kommer få någon visuell information alls.

I rapporten *Tid för utrymning vid brand* ges rekommendationer för varseblivningstid och förberedelsetid för personer som både har möjlighet att se rök och brand, samt de som inte har den möjligheten. (Frantzich, 2001)

För de som har möjligheten rekommenderas en tid på 60 sekunder, en tid som i rapporten även jämförs med en tid på 50 sekunder, ett värde från den kanadensiska riskberäkningsmetoden FiRECAM (Proulx & Hadjisophocleos, 1998). Därför ansätts denna fördelning till en triangelfördelning mellan 50 och 70 sekunder för att vara konservativa.

Fördelning: Triang(50;60;70)

För de personer som inte har möjlighet att observera branden/röken visuellt kommer varseblivningstiden + förberedelsetiden vara längre. Vid varje föreställning jobbar brandvakter som ska hålla ett öga på fastigheten och larma ifall exempelvis brand skulle inträffa. Detta förväntas ske inom cirka 60 sekunder. I rapporten *Tid för utrymning vid brand*, har försök gjorts i varuhus med ringklocka och tiden blev i det försöket i medel 210 sekunder från att ringklockan börjar höras. Trots att blixtljus används som varselsystem i salongen

anser gruppen detta vara ett rimligt antagande då den som är publikansvarig vid aktuell föreställning går upp på scen vid larm och hänvisar publiken ut, denna person skulle därför kunna ses som ett akustiskt larm.

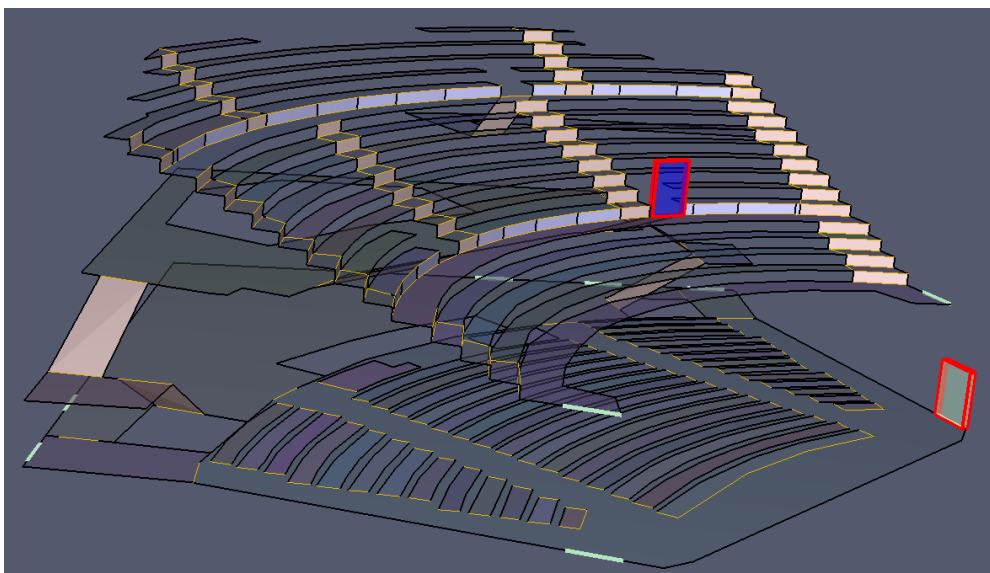
En skillnad med scenariot i varuhuset är att folk där har investerat tid i sitt handlande och helst inte lämnar sina varor i onödan, något som kan leda till en något överskattad tid i scenariot på balkongen ifall samma tid skulle användas. Tiden approximeras därför till en triangelfördelning mellan 180 och 300 sekunder. I denna fördelning är varseblivningstiden på 60 sekunder inräknad.

Fördelning: Triang(180;240;300)

7.2.2 Förflyttningstid

Förflyttningstiden definieras som tiden från att första person börjar förflytta sig mot närmaste utgång tills att samtliga personer på balkongen befinner sig i en annan brandcell. Genom simuleringsförsök i programmet Pathfinder har denna tid tagits fram för ett par olika utrymningsscenarier enligt tabell 12.

Två fall av antal besökare har valts, ett då teatern har en premiärföreställning och alla platser är fyllda, samt ett fall där endast hälften av platserna är fyllda, det sistnämnde skulle kunna representera en föreställning mitt i veckan. Även antalet möjliga utrymningsvägar varieras, Simulering 6.1.A och 6.1.B innefattar ingen blockerad utrymningsväg. Simulering 6.2.A och 6.2.B innefattar en blockerad utrymningsväg på balkongen, detta på grund av att branden är tänkt att starta i närheten och folk väljer bort denna väg på grund av otrygghet. Simulering 6.3.A och 6.3.B innefattar två blockerade utrymningsvägar, först och främst är det samma blockerade utrymningsväg som nämndes tidigare, men nu även en blockad av utrymningsvägen på salongens vänstra sida, detta på grund av att en restaurang har utrymningsväg genom samma korridor och brukar ha som vana att ställa stora föremål precis utanför dörren, se figur 26. (Ohlsson, 2016)



Figur 26 visar blockerade utrymningsvägar vid simulering 6.3.A och 6.3.B.

Tabell 12 visar de olika simuleringsscenerierna.

Personantal (100 %): Balkong: 680 Salong: 534	Personantal (50 %): Balkong: 320 Salong: 265	Utrymningsvägar:
Simulering 6.1.A	Simulering 6.1.B	Alla utrymningsvägar tillgängliga.
Simulering 6.2.A	Simulering 6.2.B	En blockerad på balkongen, Ingen blockerad i salongen.
Simulering 6.3.A	Simulering 6.3.B	En blockerad på balkongen, En blockerad på salongen.

I tabell 13 sammanfattas förflyttningstiderna för respektive simulering för *scenario 6 – Brand på balkongen*.

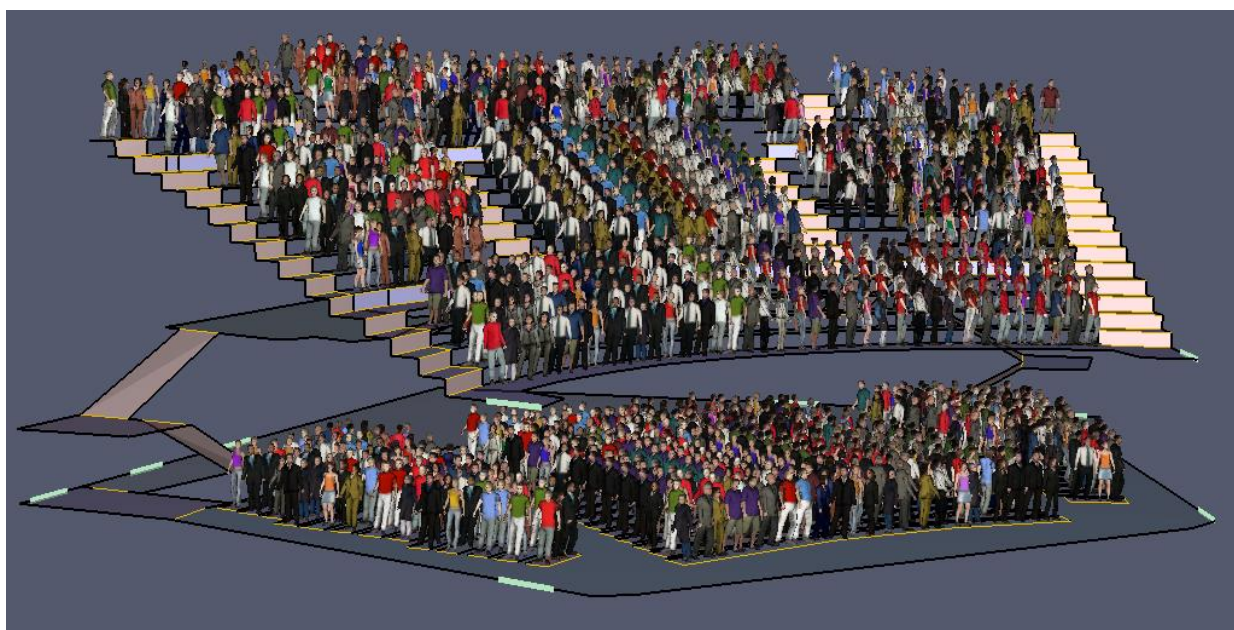
Tabell 13 visar förflyttningstiden för de olika simuleringarna.

Simulering	Förflyttningstid [s]
6.1.A	175
6.1.B	90
6.2.A	200
6.2.B	95
6.3.A	217
6.3.B	95

En triangelfördelning ska nu göras med tre representativa värden från de sex utförda simuleringarna. Detta för att kunna ansätta ett medelvärde som ger en konservativ fördelning över förflyttningstiden. Toppvärdet i fördelningen är ansatt till medelvärdet mellan de tre värsta simuleringarna, nämligen 6.1.A, 6.2.A, 6.3.A, det vill säga då det är fullsatt och olika utrymningsvägar är blockerade. Minsta värdet är taget från simulering 6.1.B då inga utrymningsvägar är blockerade samt att teatern är halvfull under en föreställning. Toppvärdet är ett medelvärde taget från de simuleringar då det är fullsatt då data saknas angående hur ofta utrymningsvägar är blockerade. Maxvärdet motsvaras av simuleringen där teatern är helt full och två utrymningsvägar är blockerade, detta scenario är inte det mest troliga men helt klart realistiskt.

Fördelning: Triang(90;197;217)

Figur 27 visar geometrin i programmet Pathfinder, motsvarande en av utrymningssimuleringarna från *Scenario 6 – Brand på balkongen*.



Figur 27 visar startuppställningen i Pathfinder simuleringen 6.1.A.

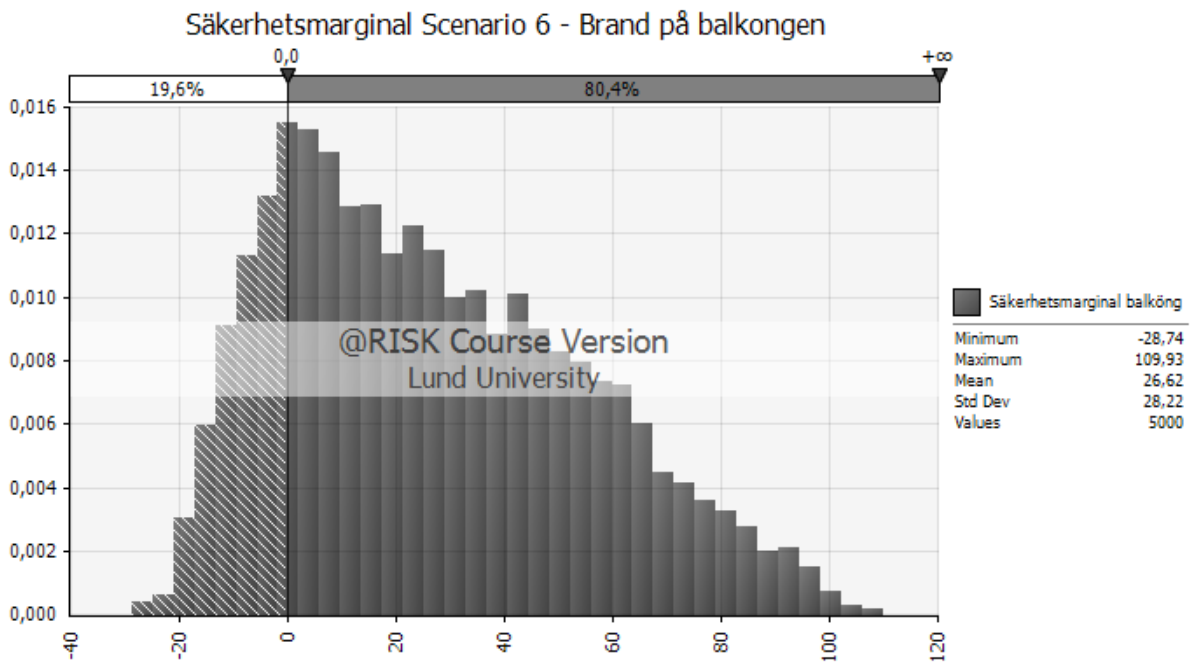
7.2.3 Tillgänglig tid för utrymning

I detta avsnitt presenteras tillgänglig tid för utrymning av *scenario 6 – Brand på balkongen*. Indataparametrarna i @Risk hittas i tabell 14. Antalet iterationer som har använts i Monte-Carlo-simuleringen är det maximala på tiotusen. Notera att den satta tiden till kritiska förhållanden gäller när sikten blir kritisk vid den översta nödutgången.

Tabell 14 visar Indataparametrarna till programmet @Risk.

Varseblivningstid [s] + Förberedelsestid [s]	Balkong: Triang(50;60;70) Salong: Triang(180;240;300)
Förflyttningstid [s]	Triang(90;197;217)
Tid till kritiska förhållanden [s]	255

I figur 28 presenteras utdata av @Risk-simuleringen. Detta är säkerhetsmarginalen för brandscenariot. (Utrymningstid – Tid till kritiska förhållande). I 80,4 % av fallen kan besökarna utrymma utan att utsättas för kritiska förhållanden, enligt tabell 1. Den parameter som blir kritisk är sikten medan varken temperaturen eller toxiciteten ens är nära skadliga nivåer när samtliga utrymt. När sikten vid de översta utgångarna blir dålig bedöms det som troligt att berörda personer rör sig neråt mot de nödutgångarna med bättre siktförhållanden. Därmed kan de 19,6 % där kritiska förhållanden förkastas vad avser personsäkerheten för de utrymmande. Detta medför att inga vidare åtgärder behöver vidtas och personsäkerheten är tillfredställande.



Figur 28 visar säkerhetsmarginalen för scenario 6 - Brand på balkongen.

8. Diskussion

Nedan följer diskussion kring rapportens olika delar. Först kommer samtliga utvalda scenarier innan föreslagna åtgärder att diskuteras, därefter kommer åtgärdernas inverkan på riskbilden diskuteras. Avslutningsvis görs en övergripande diskussion som berör hela rapporten.

8.1 Resultat utan åtgärder

Nedan följer diskussion kring resultatet av de utvalda brandscenarierna innan föreslagna åtgärder presenterats.

8.1.1 Garderoben

Brandbelastningen i *scenario 1 – Brand i garderoben* utgörs av 900 stycken jackor med varierande materialsammansättning. För att få en så trovärdig materialfördelning som möjligt togs tio slumpmässigt valda jackor från våra egna hem, dessa användes sedan för att uppskatta materialfördelningen i garderoben. Detta är naturligtvis en stor osäkerhet då materialen i de inhängda ytterplaggen kan variera mycket beroende på årstid och väder.

Oavsett vilken typ av materialfördelning som väljs kommer tillväxten ha ett högt alfavärde då samtliga litteraturstudier vi tittat på som liknar scenariot i garderoben ger ett alfa-värde på minst *fast*, se *Bilaga A: Handberäkningar*. Detta förutsatt obegränsad tillgång till syre.

I samtliga handberäkningar som gjorts till garderobsscenarioet har genomgående konservativa bedömningar av variabler gjorts vilket förmodligen gett ett konservativt resultat.

8.1.2 Brand på balkongen

Brandbelastningen i *scenario 6 – Brand på balkongen* utgörs av 677 stycken stoppade stolar med tygtäckning. Stoppningen är gjord av mestadels PU-skum, dock är tygbeklädnaden okänd. Det råder naturligtvis en stor osäkerhet gällande valet att välja tillväxthastigheten till *fast*. Testerna som gjorts på PU-fyllda stolar med olika tygstoppningar har gjorts i kontrollerad miljö och med begränsat antal stolar, tygstoppningens exakta egenskaper är okända både i försöken och på China Teatern, likaså kvaliteten och egenskaperna hos PU. Därför gjordes ett konservativt antagande för tillväxthastigheten som täcker det värsta troliga, där både stoppningen och tygklädnaden står emot brand på sämsta möjliga sätt.

I samtliga handberäkningar som gjorts till balkongsscenarioet har genomgående konservativa bedömningar av variabler gjorts vilket förmodligen gett ett konservativt resultat.

8.2 Resultat efter åtgärder

Nedan följer diskussion kring de olika åtgärdsförslagen som presenterats samt resultatet efter dessa. Efter handberäkningar samt simuleringar i FDS och Pathfinder är det endast i ett av scenarierna där kritiska förhållanden råder och där åtgärder rekommenderas.

8.2.1 Garderoben

Säkerhetsmarginalen är betydligt sämre i *scenario 1 – Brand i garderoben* än i *scenario 6 – Brand på balkongen*, vilket gör att kravet på åtgärder där är större.

Ett av förslagen som vi tog upp var Åtgärd 1 som handlade om att halvera antalet personer som får vistas i garderobstrymmet. Det sänkta personantalet skulle möjligen kunna göra att förberedelse tiden och varseblivningstiden minskar något, dock finns inga belägg för detta

vilket är anledningen till att fördelningarna inte förändrats. Utrymningsproblematiken skulle också minska då köbildning i trapporna inte skulle bli lika omfattande vilket skulle ge en fast förflyttningstid på 30 sekunder, då en eventuell blockering av en utrymningsväg ej skulle inverka på förflyttningstiden alls. Detta är en minskning av förflyttningstidens maxvärde med 30 sekunder från fördelningen som användes för 200 personer, vilket är mycket då tiden till kritiska förhållande endast är 90 sekunder i detta fall. Dock är åtgärden resurskrävande då det behövs extra personal som reglerar in- och utflödet av människor till och från garderoben. Dessa resurser skulle istället kunna läggas på att ha extra brandvakter i garderoben vars enda uppgift är att hålla full koll på de inhängda kläderna och släcka en brand vid uppkomst. Denna åtgärd hade varit bättre ur besökarnas synpunkt då de hade sluppit köa in till garderoben och uppleva irritation, ur garderobsjobbarnas synpunkt då dessa hade kunnat fokusera fullt ut på bra kundservice samt ur en ekonomisk synpunkt då eventuella skador från en brand skulle kunna minimeras ifall en brandvakt anställdes. Vi anser inte denna åtgärd nödvändig då en kombination av de andra åtgärderna gav en fullgod säkerhetsmarginal samt att åtgärden kan försämra besökarnas upplevelse av besöket.

Åtgärd 2 handlade om öppna upp dörrarna till gången som leder till Berns och markera dessa så att de kan användas som nödutgång. Detta skulle i fallet med en full garderob (cirka 200 personer) minska förflyttningstiden med 16 sekunder, en betydlig tid då tillväxten är exponentiell och satt till *fast* samt att tid till kritiska förhållanden är 90 sekunder. Detta skulle kräva förhandlingar med ansvariga på Berns och kanske även innebära en kostnad för China Teatern. En ringa kostnad för utrymningsskyltarna skulle tillkomma också. Dock anser vi att de positiva följderna av åtgärden i form av minskad förflyttningstid och en förbättrad säkerhetsmarginal väger tyngre än kostnaderna vilket gör att vi anser att åtgärden *bör* vidtas.

Åtgärd 3 handlar om att installera rökdetektorer bland jackorna i garderoben som komplement till de som just nu är installerade i nuläget. Detta simulerades i FDS och resultatet blev att branden detekterades 20 sekunder snabbare än med nuvarande installation, vilket innebar att även varseblivningstiden blev därför kortare för personerna i garderoben. Åtgärden är enkel att utföra och är fördelaktig ekonomiskt, den kommer inte heller kräva ytterligare underhåll då den enkelt kan inkluderas i de rutiner som redan finns för de befintliga rökdetektorerna. Åtgärden leder till minskad utrymningstid och ger en förbättrad säkerhetsmarginal vilket gör att vi anser att åtgärden *bör* vidtas.

Åtgärd 4 handlade om att byta sprinklerbulberna i det befintliga sprinklersystemet från en aktiveringstemperatur på 68° till 57°. Detta skulle begränsa branden i ett tidigare skede och öka tiden till kritiska förhållanden med 6 sekunder. Förslaget innebär en kostnad för inköp samt installation, dock krävs inget extra underhåll då det enkelt inkluderas i nuvarande rutiner. Åtgärden leder till att personerna har längre tid på sig att utrymma, därför anser vi att åtgärden *rekommenderas* för att höja nivån på brandskyddet ytterligare.

8.3 Övergripande diskussion

Nedan följer ett stycke där diskussion förs gällande olika delar i arbetet.

8.3.1 Avgränsningar

Arbetets största avgränsning handlar om att personskadorna begränsas till publiken. Detta för att publiken är de som har sämst lokalkännedom, samt utgör den största delen av de som uppehåller sig på teatern. Anställda på teatern rör sig inte i samma utrymmen som besökarna

och de har en god lokalkännedom då de vistas där flera gånger i veckan. Gällande åtgärdsförslagen som presenteras genomförs ingen djupare ekonomisk analys utan åtgärdsförslagets ekonomiska aspekter utvärderas endast kvalitativt. Gruppens kunskaper gällande kostnader för föreslagna åtgärder är en begränsning, likaså gruppens kännedom angående verksamhetens ekonomiska situation.

8.3.2 Val av brandscenarier

Då brandscenarier togs fram i grovanalysen värderades dessa utifrån sannolikhet och konsekvens och därefter valdes två scenarier ut för vidare analys. Dessa scenarier motsvarar värsta troliga scenarier och ej värsta tänkbara scenarier då detta inte är realistisk att göra. Det finns inget brandskydd som står emot det värsta tänkbara vilket gör en sådan analys både onödig och icke trovärdig.

Både sannolikhetsbedömningarna och konsekvensbedömningarna har gjorts strikt kvalitativt, detta för att grovanalysen endast ser till att jämföra de olika scenarierna med varandra och för att sedan kunna urskilja de mest riskfyllda scenarierna för vidare analys. Gruppen ansåg också att de värden som finns tillgängliga för sannolikhet och konsekvens starkt bör ifrågasättas då båda begreppen beror på många olika situationsspecifika parametrar, vilket gör att ett kvantitativt bedömningssätt i våra scenarier hade blivit minst lika osäkert som ett kvalitativt.

8.3.3 FDS

Under arbetets gång har en rad olika förenklingar och antaganden gjorts som på något sätt påverkar resultatet i FDS. Dessa har gjorts av användarpraktiska skäl; antingen på grund av brist på kunskap eller i ett försök att begränsa simuleringstiden.

Geometrin byggdes upp med hjälp av tillgängliga ritningar samt observationer från platsbesöket. På grund av att FDS bygger på kartesiska koordinater har geometrin anpassats så att den följer konventionen. Hur detta påverkar resultatet är givetvis svårt att avgöra. Men att det påverkar flera parametrar så som flödet av brandgaser är givet. Geometrierna anses dock vara utförda med bästa förmåga med de resurser som fanns att tillgå.

I *scenario 1 – Brand i garderoben* är även takhöjden i källaren antagen på grund av kunskapsbrist. Om det visar sig att takhöjden egentligen var högre skulle detta leda till att mer syre blandas in i plymen och brandgaslagrets temperatur sjunker. Vice versa gäller givetvis om takhöjden skulle vara lägre.

I samtliga simuleringar har materialet i väggarna antagits vara betong med en fast termisk tjocklek. Detta är en något grov förenkling som grundar sig i bristen på kunskap kring väggarnas exakta materialsammansättning och tjocklek. Om gruppen hade haft mer information kring området skulle tjockleken för de individuella väggarna lagts in. I de fall där materialet inte är betong kommer värmeledningen genom väggarna att påverkas. Om det blir en positiv eller negativ effekt är svårt att avgöra då det beror på vilket material som väggarna består av i verkligheten.

En rad förenklingar gjordes även kring bränderna i de bägge scenarierna. Placeringen av bränderna har antagits så att de anses lämpliga och rimliga. Effekten av detta varierar såklart mellan de två scenarierna som analyserats. För *scenario 1 – Brand i garderoben* antas branden starta längs den bakre väggen. I verkligheten hade branden lika gärna kunnat starta i den andra garderobsdiskens som var belägen vid sidan av rummet. Det hade resulterat i sämre

förhållanden för den närmsta dörren medan förutsättningarna vid den borte dörren hade förbättrats.

I *scenario 6 – Brand på balkongen* antas branden starta framför en av nödutgångarna mitt på balkongen. Detta innebar att branden placerades längre ifrån taket än om den hade placerats längre bak på balkongen. Det påverkar hur mycket luft som blandas in i plymen och slutligen vilken temperatur brandgaslagret har. Det innebär att brandgaslagrets temperatur kan underskattas och att kritisk temperatur kan uppnås då branden startar längre bak på balkongen.

Brändernas dimensioner har även anpassats så att förhållandena mellan effektutveckling och area är rimliga. Om en brands area är för stor i förhållande till effektutvecklingen kommer flammen att brytas upp i mindre separata flammor. Då brandens area är för liten bildas istället en jetflamma som styrs av bränsleströmmens rörelsemängd och därför påverkas i liten utsträckning av omgivande luftflöden.

I bägge scenarierna har antaganden gjorts kring materialet som brinner. Detta eftersom reaktionsmodellen i FDS bygger på att användaren definierar en enkel kemisk reaktion med ett material som brinner. Därför har materialen anpassats och satts ihop till ett representativt ämne för varje scenario. Dessa antaganden påverkar flera parametrar och är därför av stor vikt. På grund av detta har mycket tid lagt ner på att definiera materialen på bästa sätt och gruppen står bakom de antaganden som gjorts.

Den undermodell som FDS använder för att beräkna strålningen bygger på att ett antal strålar, som definieras av användaren, skickas ut från varje cell. Om för få strålar används leder detta till att strålningen istället träffar och värmer upp individuella punkter. Mätning och undersökning av strålningen bör därför göras med försiktighet. För de bägge scenarierna har antalet strålar ökat från 104, som är standard i FDS, till 200 stycken för att resultatet ska vara tillförlitligare.

Under arbetets gång stod simuleringarna som grund för de bedömningar angående kritiska förhållanden som gjordes. Därför var det viktigt att bekräfta att simuleringarna varit trovärdiga. Därför utfördes ytterligare en simulering för att verifiera resultatet från *scenario 1 – Brand i garderoben*. I simuleringen förfinades meshen genom att cellernas storlek halverades från 10 cm till 5 cm i volymen i nära anslutning till branden och från 20 cm till 10 cm i resten av lokalen. Det visade sig att resultaten mellan simuleringarna skiljde sig åt, men att skillnaden inte var tillräckligt stor för att förkasta gruppens bedömningar angående kritiska förhållanden som gjorts under föregående simulering.

En förfining av meshen likt den i *scenario 1 – Brand i garderoben* utfördes inte för *scenario 6 – Brand på balkongen* eftersom valideringsberäkningen, som kan ses i *Bilaga B – FDS*, för detta scenario pekar på att meshstorleken var tillräckligt fin och därför kunde accepteras utan vidare analys.

8.3.4 Utrymning

Samtliga parametrar och fördelningar som används i @Risk är framtagna både genom litteraturstudier samt genom egna resonemang och motiveringar. Dessa fördelningar behandlar varseblivningstid och förberedelsetid och ger tillsammans med utrymningsförsök i programmet Pathfinder en säkerhetsmarginal för de utrymmande. Fördelningarna som använts är väl underbyggda i förhållande till den tid och de resurser som fanns till hands. Hade mer tid

funnits hade en djupare litteraturstudie gjorts och fler källor hade då legat som underlag till de fördelningar som valts.

8.3.5 Handberäkningar

De handberäkningar som gjorts vid dimensioneringen av bränderna i de utvalda scenarierna är alla gjorda med formler med utgångspunkt i välkänd litteratur från brandteknikområdet. Detta gör att resultaten kan ses som trovärdiga och användbara för våra vidare analyser.

9. Slutsats

China Teaterns brandskydd är i dagsläget bra, men vi anser att det finns rum för förbättringar. Vi anser, efter genomförandet av en brandteknisk riskvärdering av China Teatern, att de formulerade skyddsmålen angående säkerställandet av personsäkerheten för besökarna ej kan tillgodoses fullständigt. Belägget för detta är främst resultaten från analysen av brandscenariot i garderoben där sikten i en klar majoritet av fallen blir kritisk enligt både BBRs kriterier och vår egen djupare analys. Detta kan inte förbises och därför har vi valt att lämna ett antal rekommendationer på åtgärder som kan genomföras.

Förslag på åtgärder har presenterats tidigare i rapporten. Nedan följer en punktlista på åtgärder som bör genomföras för att uppnå en, enligt gruppen högre personsäkerhet vid utrymning. Nedan presenteras de två åtgärder som gruppen anser nödvändiga och som därför bör vidtas.

- Installation av extra rökdetektorer i garderoben med positionering ovanför jackorna.
- Använda gången till Berns som nödutgång från garderoben. Skylta detta med genomlyst utrymningsskylt.

För att vidare förbättra brandskyddet följer här åtgärder som rekommenderas, men som inte är nödvändiga.

- Byte av glasbulber med lägre aktiveringstemperatur hos berörda sprinklers. Från 68° till 57°.

10. Litteraturförteckning

- Abrahamsson, M., 1997. *Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler*, Lund: Lunds Universitet.
- Alling, H. et al., 2014. *Brandskyddshandboken*. s.l.:s.n.
- Back, A. o.a., 2013. *CFD-beräkningar med FDS*, u.o.: u.n.
- Boverket, 2011. *BBRAD 1*, Karlskrona: u.n.
- Boverket, 2012. *BBRAD 2*, Karlskrona : u.n.
- Boverket, 2013. *BBRBE 1*. u.o.:u.n.
- Brandskyddsföreningen, 2011. *Information om larmlagring*, u.o.: u.n.
- Drysdale, D., 2011. *An Introduction to Fire Dynamics*. 3rd red. u.o.:u.n.
- Firetech, 2009. *Brandskyddsbeskrivning - China Teatern*, u.o.: u.n.
- Frantzich, H., 2001. *Tid för utrymning vid brand*, Lund: Räddningsverket, Karlstad.
- Karlsson, B. & Quintiere, J. G., 2000. *Enclosure Fire Dynamics*. u.o.:u.n.
- Kjell Fallqvist, B. A., 2001. *Brandskyddsdocumentation, Berzelli Park 9*, , Stockholm: u.n.
- McGrattan, K. o.a., 2015. *Fire Dynamics Simulator User Guide*, Washington DC: National Institute of Technology and Standards: U.S Government Printing Office.
- Medistore, 2016. <https://www.medistore.se/product/standard-rullstol?referer=google-shopping&gclid=CKz7vazi-cwCFcsLcwodBrQN0Q>. [Online]
[Använd 27 05 2016].
- MSB, M. f. s. o. b., 2005-2014. *IDA*, u.o.: u.n.
- Ohlsson, L., 2016. [Intervju] (February 2016).
- Proulx, G. & Hadjisophocleous, G., 1998. *Modelling Occupant Response and Evacuation in Apartment and Office Buildings.*, u.o.: u.n.
- RES & EPRI, 2007. *Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications*, u.o.: u.n.
- SFPE, 2015. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 5th red. u.o.:u.n.
- Staffansson, L., 2010. *Selecting Design Fires*, Lund: Department of fire safety engineering and systems safety.
- Särdqvist, S., 1993. *Initial Fires*. u.o.:u.n.
- Wahlqvist, J., 2016. [Intervju] (15 Mars 2016).
- Ågren, U., 2016. [Intervju] (28 Februari 2016).

Bilaga A - Handberäkningar

Nedan presenteras de handberäkningar som har utförts för att verifiera om branden blir ventilationskontrollerad samt hur länge bränslet låter branden pågå.

A.1 Scenario 1 – Brand i garderoben

För att finna vid vilken effekt som branden i garderoben blir ventilationskontrollerad krävs kännedom om luftflödet in genom utrymmets öppningar. Luftflödet beräknas enligt ekvation 1. (Karlsson & Quintiere, 2000)

$$\dot{m}_a = 0,5 \times A_0 \times \sqrt{H_0} \quad \text{Ekvation 1}$$

Där:

\dot{m}_a	Massflödet av luft in i utrymmet	[kg/s]
A_0	Area av öppning	[m ²]
H_0	Höjd av öppning	[m]

Arean på öppningarna i garderobsutrymmet kan summeras till 12,81 m² och höjden på dessa öppningar är 2,1 m. Insättning i ekvation 1 ger

$$\dot{m}_a = 0,5 \times 12,81 \text{ m}^2 \times \sqrt{2,1 \text{ m}} = 9,28 \text{ kg/s}$$

Då luftflödet är känt kan den maximala effekten vid ventilationskontroll i utrymmet beräknas. Denna beräkning utförs med hjälp av ekvation 2. I denna ekvation används mängden frigjord energi vid förbränning av syre. Den frigjorde energin sätts till 13,1 MJ/kg och massfraktionen syre i luft sätts till 0,23 %. (Karlsson & Quintiere, 2000) Ytterligare en storhet som ingår är förbränningseffektiviteten, χ , som antas till 0,7 då det är organiska material som förbränns vilket innebär sotbildning. (Drysdale, 2011)

$$\dot{Q} = 13,1 \text{ MJ/kg} \times 0,23 \times \chi \times \dot{m}_a \quad \text{Ekvation 2}$$

Där:

\dot{Q}	Maximal effektutveckling vid ventilationskontroll	[MW]
χ	Förbränningseffektivitet	[-]

Insättning med ovanstående värden ger

$$\dot{Q} = 13,1 \text{ MJ/kg} \times 0,23 \times 0,7 \times 9,28 \text{ kg/s} = 19,57 \text{ MW}$$

Den högsta effekten som kan uppnås i samband med ventilationskontroll är 19,57 MW. För att beräkna tiden till då denna effekt uppnås används ekvation 3. (Karlsson & Quintiere, 2000)

$$t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} \quad \text{Ekvation 3}$$

Där:

t	Tiden till ventilationskontroll	[s]
\dot{Q}	Brandens effektutveckling	[kW]
α	Brandens tillväxthastighet	[kW/s ²]

Följande källor utgör liknande försök med hängande kläder:

Beskrivning	α -värde [kW/s ²]	Källa
Detta är ett värde som normalt används vid brandtillväxter i samlingslokaler och är därför intressant.	0,047	BBRAD1: (Boverket, 2011)
Följande värde har man kommit fram till genom att man gjort försök med kläder som hänger på ett klädställ i ett varuhus. Elden sprider sig sedan horisontellt till närliggande jackor och maxeffekten blir 6 MW.	0,049	s. 77 (Abrahamsson, 1997)
Följande värde är liksom det förra gjort på jackor men med detta försök är mindre med en maxeffekt på 3 MW istället för 6 MW.	0,012	s. 74 (Abrahamsson, 1997)

De α -värden som motsvarar detta fall bäst är BBRADs och Abrahamssons för 6 MW branden. α -värdet på 0,012 kW/s² anses ej representera denna garderobsbrand väl då försöket är relativt småskaligt i jämförelse med detta scenario.

Då tillväxthastigheten för garderobsbranden har antagits till 0,047 kW/s² (*fast*) fås tiden

$$t = \sqrt{\frac{(19,57 \times 10^3) \text{ kW}}{0,047 \text{ kW/s}^2}} = 645 \text{ s}$$

För att ta reda på om branden kan nå ventilationskontroll behövs data över hur mycket bränsle som finns tillgängligt i garderoben. För att ta reda på hur mycket en genomsnittlig jacka väger och innehåller har undertecknade vägt samt kontrollerat innehållet hos tio egenägda jackor. En avgränsning som gjorts är att grovt uppskatta materialet i jackorna och värden kan därför skilja sig från de verkliga modellerna. En sammanställning av jackorna visas i tabell 15.

Tabell 15 visar en sammanställning av de jackor som använts för att ta fram vikten hos en genomsnittlig jacka.

Jacka, beskrivning	Material (approximativt)	Vikt [kg]
Vinterjacka (herr), <i>The North Face</i>	87 % nylon, 13 % polyester	1,60
Vinterjacka (dam), <i>Desigual</i>	100 % polyester	1,10
Vinterjacka (herr), <i>Bondelid</i>	70 % polyester, 30 % bomull	1,00
Skinnjacka (dam), <i>Only</i>	80 % polyester, 10 % Polyuretan, 10 % bomull	0,90
Trenchcoat (dam), <i>Boomerang</i>	50 % polyester, 37 % bomull, 13 % nylon	1,20
Vinterjacka (herr), <i>H&M</i>	50 % bomull, 50 % polyester	1,10
Vinterjacka (herr), <i>Jack & Jones</i>	35 % bomull, 65 % polyester	1,50
Vinterjacka (herr), <i>Dobber</i>	35 % bomull, 65 % polyester	1,40
Rock (herr), <i>Okänt märke</i>	40 % ull, 60 % polyester	1,70
Vinterjacka (herr), <i>Esprit</i>	35 % bomull, 30 % nylon, 35 % polyester	1,70
	Viktmedelvärde	1,32

För att få fram brandbelastningen för en genomsnittlig jacka används sedan dessa material och vikter tillsammans med materialets ΔH_c -värde. Resultatet av denna sammanvägning kan ses i tabell 16.

Tabell 16 visar brandbelastningen hos tio jackor. ΔH_c -värden för bomull och ull är hämtade från Boverkets allmänna råd om brandbelastning och polyester samt nylon från SFPE. (Boverket, 2013), (SFPE, 2015)

Material	ΔH_c [MJ/kg]	Vikt [kg]	Brandbelastning, 10 jackor [MJ]
Bomull	20,0	2,994	59,88
Polyester	32,5	7,378	239,785
Nylon	30,8	2,058	63,386
Ull	20,0	0,68	13,60
	Totalt	13,11	376,651

Resultatet 376,65 MJ i brandbelastning för tio jackor innebär att genomsnittsjackan har en ungefärlig brandbelastning på 37,67 MJ. Då China Teatern har premiär för en ny produktion under årets första eller fjärde kvartal kan det antas att samtliga åskådare bär jackor. Då nyproduktioner oftast brukar vara fullsatta kan det uppskattas att åtminstone 900 av de maximalt 1249 gästerna hänger av sig sina jackor i garderoben. Detta innebär, enligt genomsnittsjackan, att garderoben har 33 900 MJ (33,9 GJ) bränsle tillgängligt.

Då det tillgängliga bränslet är känt, samtidigt som både tiden till ventilationskontroll samt brandens tillväxthastighet är känd, kan mängden frigjord energi under brandens tillväxtfas beräknas. Detta görs genom att söka \dot{Q} i Ekvation 3 och sedan integrera enligt

$$\int \dot{Q} dt = \int \alpha \times t^2 dt =$$

$$Q = \int_0^{645} 0,047 \text{ kW/s}^2 \times t^2 dt = \left[\frac{0,047 \text{ kW/s}^2 \times t^3}{3} \right]_0^{645} = 4203932,625 \text{ kJ} \approx 4204 \text{ MJ}$$

Eftersom branden endast förbränt en liten del av det tillgängliga bränslet under sin tillväxtfas, som tagit mer än tio minuter, kan slutsatsen att branden inte begränsas av bränslet dras. Det är alltså främst ventilationen som kontrollerar branden, och ventilationskontroll sker vid en maximal effekt på 19,57 MW eller då samtliga dörrar till garderoben stängs. Aktiva system kan även förväntas avbryta tillväxten på branden innan den blir ventilationskontrollerad.

Bilaga B – FDS

Nedan följer en redogörelse för FDS simuleringarna från de två scenerierna. FDS koden kan ses i *Bilaga D – FDS-kod* sist i rapporten.

B.1 Teori

Akronymen FDS står för *Fire Dynamics Simulator* och som namnet antyder så är det ett datorprogram som simulerar brandförlopp. Det är framtaget av NIST, *National Institute of Standards and Technology*, i USA.

Programmet är en typ av CFD-modell, *Computational Fluid Dynamics*, som använder sig av LES-tekniken, *Large Eddy Simulation*, vilket simulerar de turbulenta virvelströmmar som bildas vid en brand. Med hjälp av LES-tekniken kan programmet numeriskt lösa en förenklad form av Navier-Stokes ekvationer. Dessa ekvationer beskriver, med hjälp av rörelsemängdens bevarande, hur termiska flöden uppför sig. På grund av detta lämpar sig modellen för att simulera långsamma termiskt drivna flöden, med fokus på värme- och rökspredning. (McGrattan, et al., 2015)

Simuleringen sker i en kontrollvolym som definieras av användaren med hjälp av kartesiska koordinater i x-, y- och z- led. Med detta koordinatsystem delas kontrollvolymen upp i individuella kubiska celler. Samtliga celler utgör tillsammans en mesh, som även kan kallas grid. I meshen definieras sedan geometrin som ska simuleras. Även geometrin använder kartesiska koordinater vilket innebär att den byggs upp av rätblock och därför får ett kantigt utseende. (McGrattan, et al., 2015)

Under simuleringen beräknas Navier-Stokes ekvationer individuellt för varje cell. Detta tillvägagångssätt kallas *finite volume* metoden. Simuleringens noggrannhet beror på cellernas storlek. Önskas ett exaktare resultat används därför fler celler för att bygga upp meshen. Nackdelen med metoden är att den är mycket beräkningskrävande. Om cellstorleken minskas till hälften, ökar simuleringstiden med en faktor 16. Simuleringstiden måste därför vägas mot den önskade precisionen vid en simulering. (McGrattan, et al., 2015)

För att sänka beräkningstiden delas kontrollvolymen ibland in i flera mesher som sedan kan beräknas parallellt med en teknik som kallas MPI, *Message Passing Interface*. Även andra faktorer kan sänka simuleringstiden, så som att alla mesher ska vara faktoriserbara med $2^i 3^j 5^k$ celler i x, y samt z-led. (McGrattan, et al., 2015)

Då en simulering delas in i flera mesher kan detta leda till osäkerheter i resultatet. Detta sker i gränsen mellan två mesher då information ska föras över mellan mesherna. Mätningar som sker i dessa områden måste därför tillämpas med försiktighet.

Versionen som använts vid simuleringarna är *FDS 6.3.2*.

B.2 Pyrosim och Smokeview

För att underlätta skapandet av komplexa geometrier har programmet Pyrosim använts. Det är ett grafiskt verktyg för att enkelt rita upp geometrin som sedan används i FDS. Versionen som använts är *PyroSim 2015.4.1214 64-bit*.

Smokeview är ett program som används för att visualisera och utvärdera simuleringar gjorda i FDS. Precis program är utvecklat tillsammans med FDS av NIST. Versionen som använts är *Smokeview 6.3.2*.

B.3 Materialparametrar

Då det rådde osäkerhet kring vilka material som olika delar av China Teatern var uppbyggd i gjordes vissa förenklingar kring detta.

Från platsbesöket samt den tillgängliga dokumentationen framgick det att den bärande konstruktionen var utförd i stål och betong. I simuleringen har hela den bärande konstruktionen antagits vara utförd i betong. Detta eftersom dimension samt placering av stålet ej var känt. Det framgick även att fler ytor var antingen uppbyggda eller klädda i trä, till exempel scengolv. Då dessa delar ej ansågs påverka resultatet nämnvärt antogs även de vara i betong.

De materialegenskaper som användes för betongen kan ses i tabell 17. Dessa värden är fördefinierade i Pyrosim och ansågs efter konsultation med handledare var fullgoda. (Wahlqvist, 2016) Värdet för termisk tjockhet är antaget av gruppen så att det ska representera både tjocka och tunna väggar utan att ha någon större inverkan på resultatet.

Tabell 17 visar de materialegenskaper för betong som användes i simuleringarna.

Material	Betong
Densitet [kg]	2280
Specifik värmekapacitet [kJ/kg*K]	1,04
Konduktivitet [W/m*K]	1,8
Termisk tjocklek [m]	0,3

B.4 Insamling av mätdata i simuleringarna

I simuleringen gjordes flera mätningar för att fastställa tid till kritiska förhållanden. Utförandet och placeringen är enligt rekommendationer från BIV. (Back, et al., 2013) Ett antal slicefiler lades även till för att kunna validera resultatet från mätningarna. Alla mätningar presenteras i tabell 18 nedan.

Tabell 18 visar de mätningar gjorda i FDS.

Parameter	Typ av mätning	Prop_ID/Quantity	Kritisk nivå
Siktbarhet	Linjerökdetektor	'Path Obscuration'	5 m
	Volymmätning	'Visibility'	
	Slicefile	'Visibility'	
Strålning	Punktmätning	'Radiative Heat Flux Gas'	2.5 kW/m ²
Temperatur	Slicefile	'Temperature'	80°C
Toxicitet	Punktmätning	'Carbon monoxide'	CO > 2000 ppm
		'Carbon Dioxide'	CO ₂ > 5%
Brandgaslagrets höjd	Linjemätning	'Layer Height'	1.86 m

Vid vissa tillfällen kunde inte mätningarna utföras enligt BIVs rekommendationer. Detta eftersom geometrin eller meshgränser förhindrade mätningen. Vid dessa platser ändrades mätuppställningen något.

B.5 Scenario 1 – Brand i garderoben

Nedan redogörs FDS-simuleringen av *scenario 1 – Brand i garderoben*. Totalt gjordes det tre simuleringar i FDS för detta scenario. En för grundscenariot, en för att ta fram aktiveringstiden för sprinklers och en för att utvärdera åtgärdsförslaget sänkt aktiveringstemperatur för sprinklers.

B.5.1 Bränsle

Som tidigare nämnt i *Bilaga A - Handberäkningar* utgörs bränslet av de kläder som hängs in i garderoben under föreställning. Då FDS kräver att det är ett enskilt material slogs de framtagna värdena ihop till ett representerande material. Eftersom inga yieldvärden för bomull och ull hittades fördelades massan för dessa material jämnt över polyester och nylon.

Viktdata hämtas från tabell 16 i *Bilaga A – Handberäkningar* och den nya viktfördelningen visas nedan i tabell 19.

Tabell 19 visar den sammanslagna vikten och viktfraktionen för polyester och nylon, även yieldvärden visas. (SFPE, 2015)

Material	Vikt [kg]	Viktfraktion [-]	Soot yield [g/g]	CO yield [g/g]
Polyester	9,215	0,7028	0,091	0,070
Nylon	3,895	0,2971	0,075	0,038

Det representerande materialet skapades sedan genom att beräkna medelvärden utifrån yldvärdena ovan i tabell 19. Den kemiska formeln som användes till reaktionen i FDS är den för polyester. Detta eftersom det viktmässigt är en större andel polyester än nylon efter sammanslagningen. Indataparametrarna som slutligen använts vid simuleringarna för garderobsbranden kan ses i tabell 20 nedan.

Tabell 20 visar indata för bränslet som används i simuleringarna.

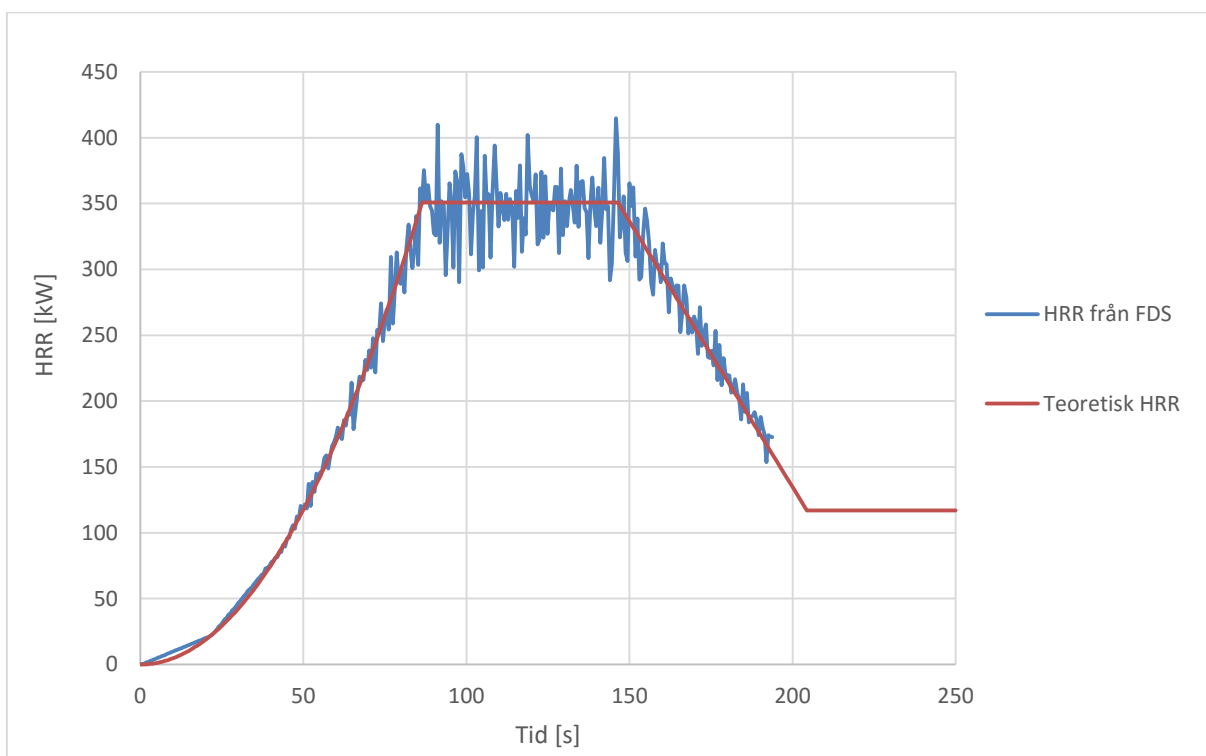
Kemisk formel	C ₁₀ H ₈ O ₄
CO yield, y_{co} [g/g]	0,060
Soot yield, y_{soot} [g/g]	0,086

B.5.2 Effektutveckling

Som tidigare nämnt ansågs branden tillväxa enligt en αt^2 -kurva med alfavärdet *fast*, $\alpha=0,047$ kW/s². Branden begränsas sedan genom aktivering av sprinkler, vilket sker efter 86 sekunder.

För att modellera sprinklerpåverkan används en metod där effektutvecklingen antas vara konstant i en minut efter aktivering. Efter detta minskas effektutvecklingen till en tredjedel där den sedan hålls konstant. (Staffansson, 2010)

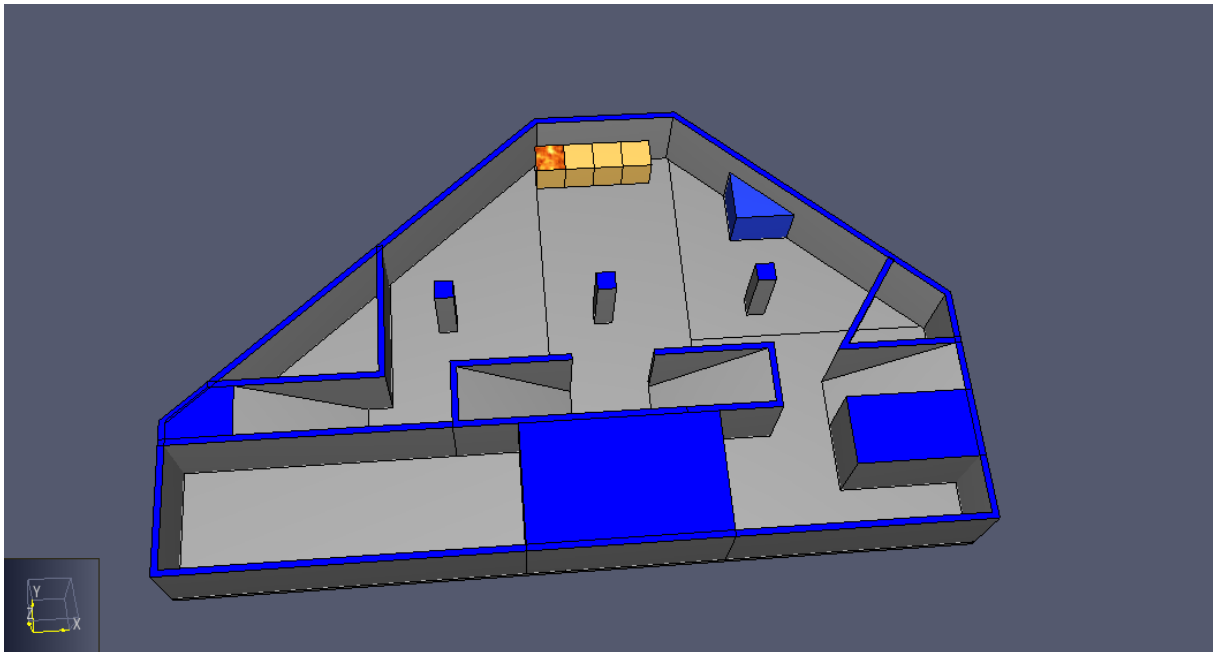
Effektutvecklingen från FDS samt den teoretiska effektutvecklingen kan ses i figur 29. I figuren slutar *HRR från FDS* efter cirka 190 sekunder. Det är på grund av att simuleringen avbröts. Men eftersom alla i lokalen redan hade utrymt vid denna tidpunkt har det ingen inverkan på resultatet.



Figur 29 visar teoretisk effektutveckling samt effektutvecklingen från FDS i garderoben.

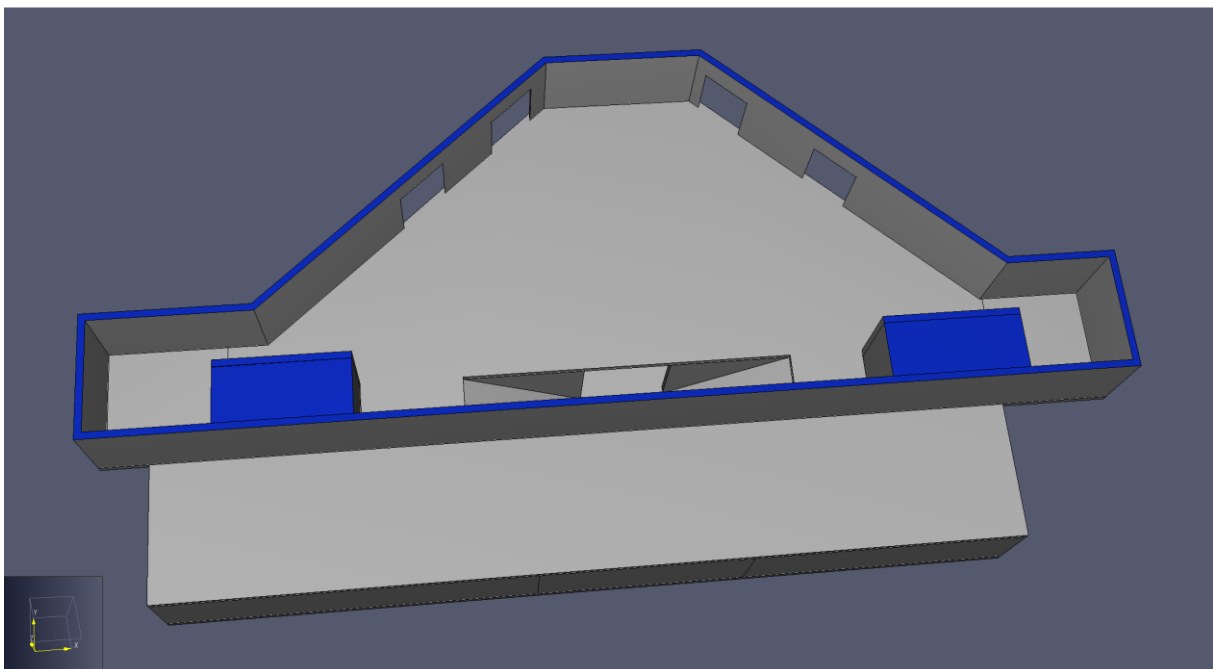
B.5.3 Geometri

Nedan ges en översiktlig bild av geometrin som användes vid simuleringen. Figuren är tagen från Pyrosim. Figur 30 föreställer källarplan där garderoben finns. Branden kan tydligt ses i övre delen av figuren.



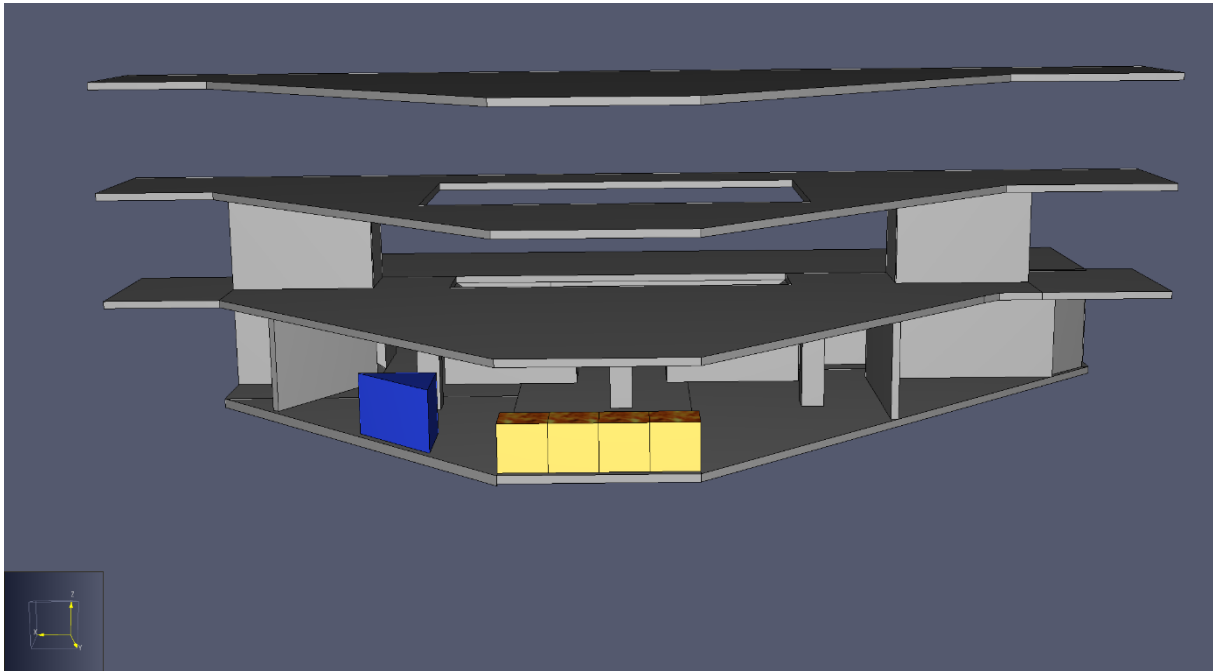
Figur 30 visar geometrin som använts vid simulering. Figuren visar källarplan och garderob, branden kan ses överst i figuren.

Figur 3 visar entréplan. Här syns det tydligt var trappor och dörrar är belägna.



Figur 31 visar geometrin som använts vid simulering. Figuren visar entréplan.

Figur 32 ger en överskådlig bild av alla tre plan som användes vid simuleringen. Väggarna är borttagna för att åskådliggöra uppbyggnaden.



Figur 32 visar en översiktlig bild över hela geometrin.

B.5.4 Sprinkleraktivering

Då det fanns sprinklers installerade i källaren behövdes aktiveringstiden för dessa tas fram. Först användes programmet Detact-T2 för att få ett approximativt värde. Det gav 146 sekunder vilket ej ansågs vara rimligt. Därför simulerades aktiveringstiden även i FDS.

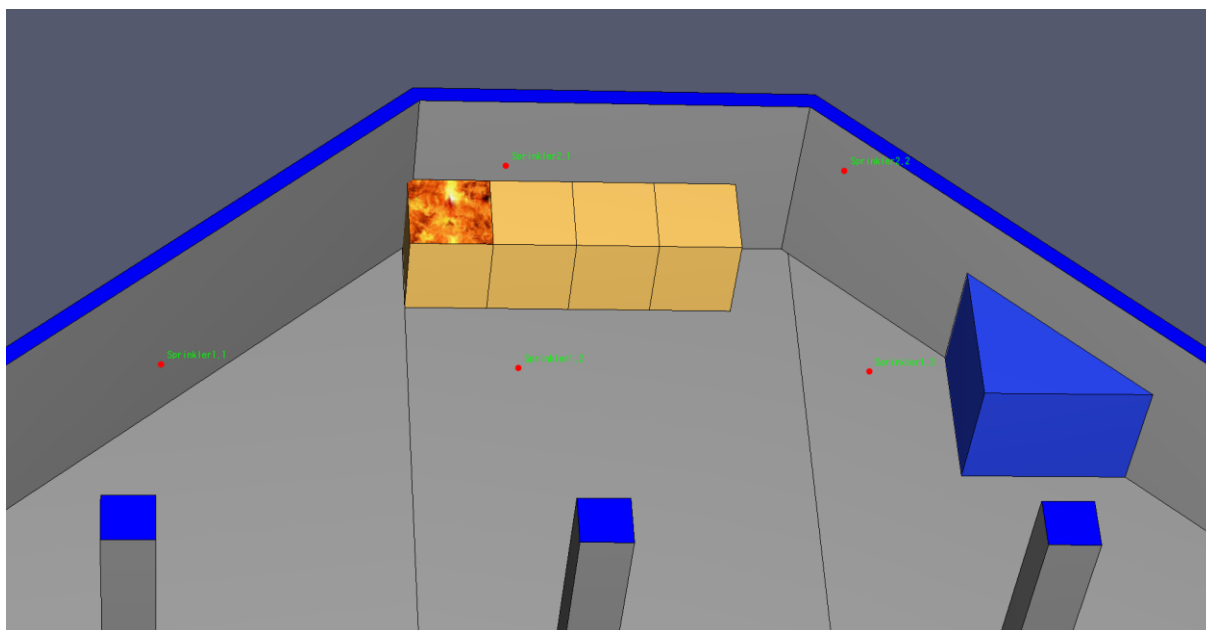
Denna simulering använde samma effektutveckling och geometri som grundscenariot. Här begränsades dock inte effektutvecklingen utan branden fortsatte att tillväxa.

Indataparametrarna för de sprinklers som användes presenteras i tabell 21.

Tabell 21 visar indataparametrar för sprinklers

RTI [(ms)^{1/2}]	50
Aktiveringstemperatur [°C]	68

Eftersom sprinklerhuvudenas exakta placering var okänd gjordes antaganden om deras placering. Det gav en sprinklerplacering enligt figur 33.



Figur 33 visar placeringen av sprinklerhuvudena i FDS.

Simuleringen gav aktiveringstider enligt tabell 22.

Tabell 22 visar aktiveringstid för de individuella sprinklerhuvudena.

Sprinklerhuvud	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2
Aktiveringstid [s]	101	86	118	56	120

Antagandena kring placeringen ledde till att sprinklerhuvud 1.2 placerades ovanför branden, med en orimligt låg aktiveringstid som följd. För att vara konservativa antogs därför sprinkleraktivering först ske då den andra sprinklern i simuleringen aktiverades. Detta skedde då efter 86 sekunder.

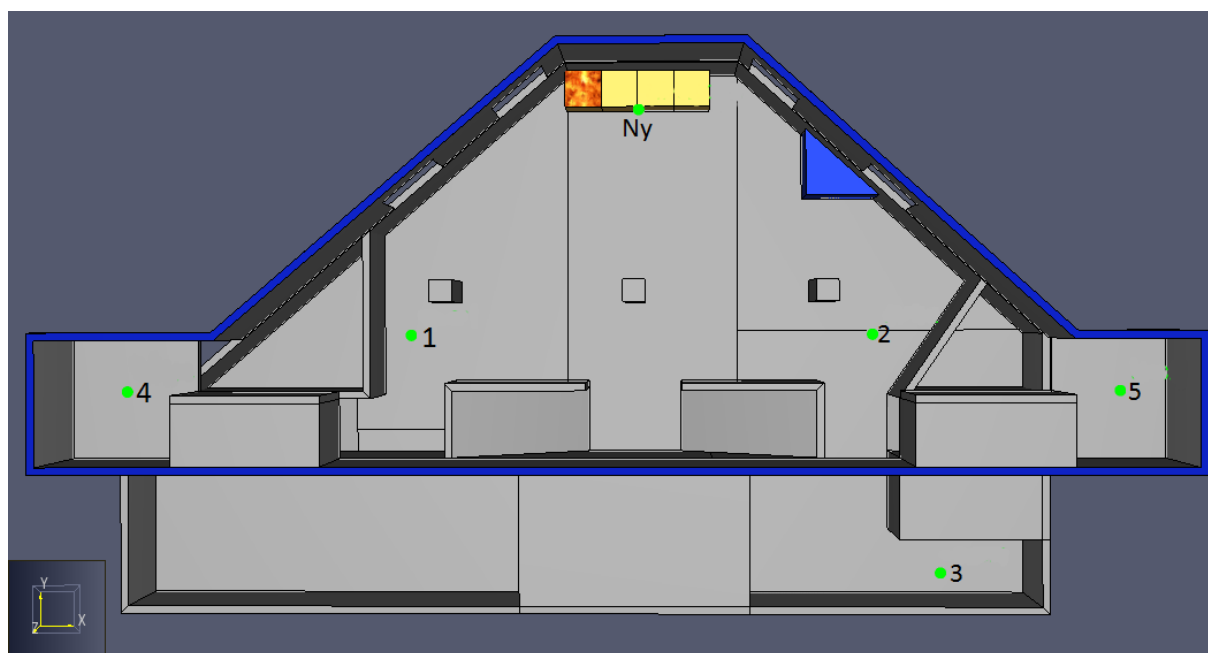
B.5.5 Detektoraktivering

I simulering gjordes även mätningar för att fastställa tiden till detektoraktivering. Då typen av rökdetektor samt detektionsnivån var okänd användes tre olika typer vid simuleringen. Efter konsultation med handledare valdes tre fördefinierade modeller från Pyrosim. (Wahlqvist, 2016) De tre presenteras i tabell 23 nedan.

Tabell 23 visar indata till rökdetektorerna som användes i garderobsscenarioet

	Cleary Photoelectric	Cleary Ionizing	Heskestad's Ionizing
Alpha C	1.0	0.8	-
Beta C	-0.8	-0.9	-
Alpha E	1.8	2.5	-
Beta E	-1.0	-0.7	-
Characteristic length [m]	-	-	1.81

Placeringen av rökdetektorerna är enligt de ritningar som finns över brandskyddet. Hur detektorerna placerades i Pyrosim kan ses i figur 34. I simulering användes alltså tre detektorer vid varje markerad punkt. Punkten som är markerad med *Ny* sattes in av gruppen som ett potentiellt åtgärdsförslag för att sänka aktiveringstiden och därmed utrymningstiden.



Figur 34 visar placeringen av rökdetektorerna som användes i simuleringen. De två på kanterna ligger på entréplan.

Det visade sig att detektorn markerad 1 aktiverades först. Aktiveringstiden mättes för tre olika värden, 2, 4 och 6, på intensitetsminskning per meter [% /m]. Det visade sig att aktiveringstiderna hade en differens på en sekund vid ett enskilt tillfälle, nämligen i *Heskestads Ionizing*-modellen där det varierade mellan nivå 2 och 4 % /m. I övrigt hade samtliga tre nivåer samma aktiveringstider. Utöver dessa tre aktiveringsnivåer så simulerades tre olika typer av rökdetektorer. Ett medelvärde för dessa tre olika typer användes sedan som tid till detektoraktivering. Tiderna för detektorplaceringen presenteras i tabell 24.

Tabell 24 visar tid till aktivering för de olika rökdetektortyperna

	Tid [s]
Cleary Photoelectric	37
Cleary Ionizing	37
Heskestads Ionizing	33
Medelvärde	36

B.5.6 Resultat²

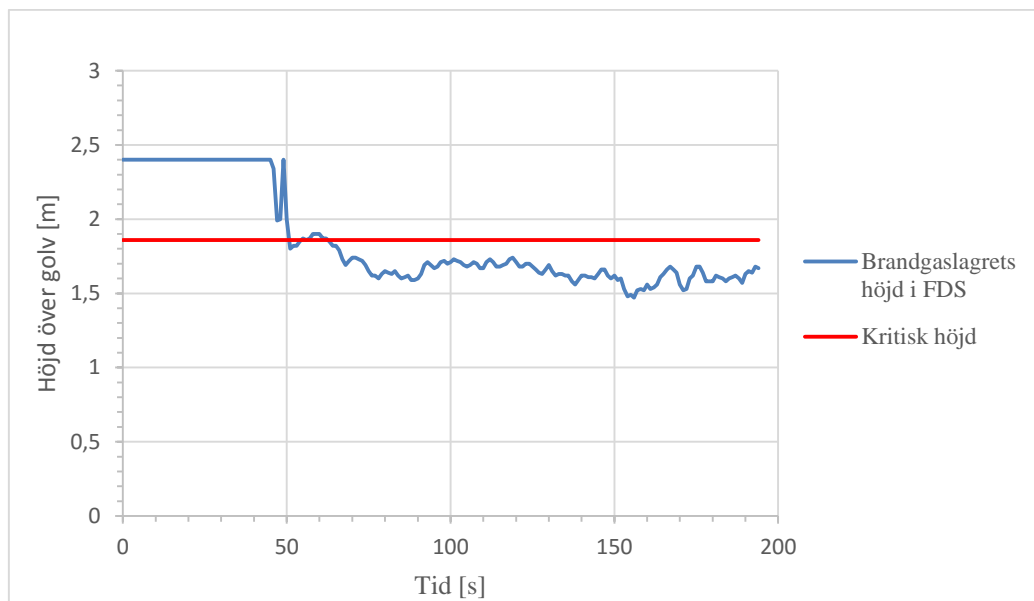
Nedan presenteras resultatet från de mätningar som gjorts i FDS. Först presenteras en sammanfattning över tiden till kritiska förhållanden i form av tabell 25. Sedan presenteras figurer och tabeller för parametrarna individuellt.

Tabell 25 visar resultat från mätningarna i FDS. Enbart den lägsta tiden från varje typ av mätning är med i tabellen.

	Typ	Tid [s]
Sikt	Slicefile	90
	Linjerökdetektor	55
	Volymmätning	45
Brandgaslagrets höjd	Linjemätning	51
Temperatur	Slicefile	>Simulerad tid
Strålning	Punktmätning	>Simulerad tid
Toxicitet	Punktmätningar	>Simulerad tid

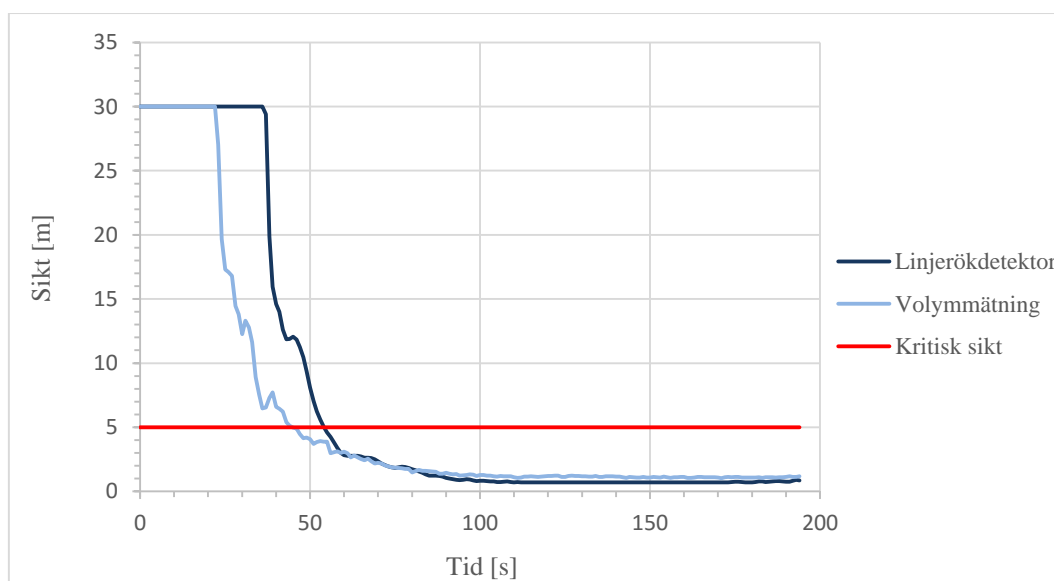
Brandgaslagrets höjd över tiden kan ses i figur 35 nedan. Den device som gav tidigast utslag var placerad framför dörren i mitten av rummet. Att den börjar på 2.4 meter beror på att devices övre gräns av misstag sattes på denna höjd, det påverkar dock enbart första delen av grafen.

² Samtliga mätningar är utförda i källarutrymmet. Då det sker rökspridning genom trappuppgångarna borde även utrymningsförhållandena ha mätts där. Om resultatet från rapporten ska användas bör detta därför utredas först.



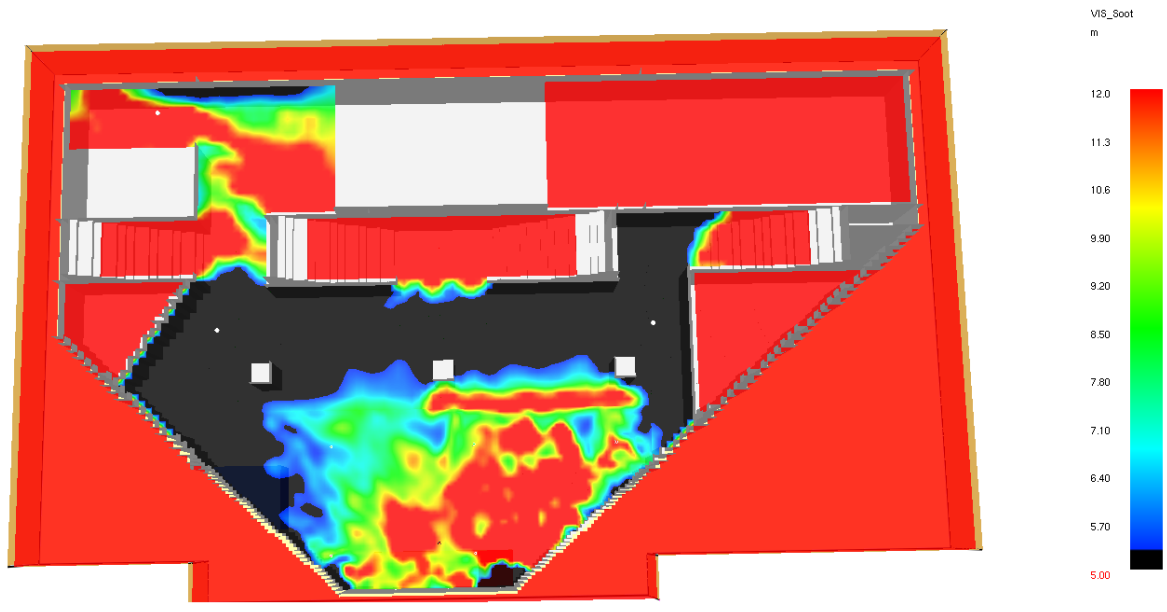
Figur 35 visar brandgaslagrets höjd under brandförloppet.

För att mäta sikten användes som tidigare nämnt tre metoder. En slicefile, volymmätningar vid dörrarna samt linjerökdetektorer vid dörrarna. Mätningarna är tagna på två meters höjd. Figur 36 visar siktförhållandena enligt volymmätningarna och linjerökdetektorerna. Enbart de med snabbast aktiveringstid är med i figuren.



Figur 36 visar siktförhållandena i rummet enligt volymmätning och linjerökdetektorerna.

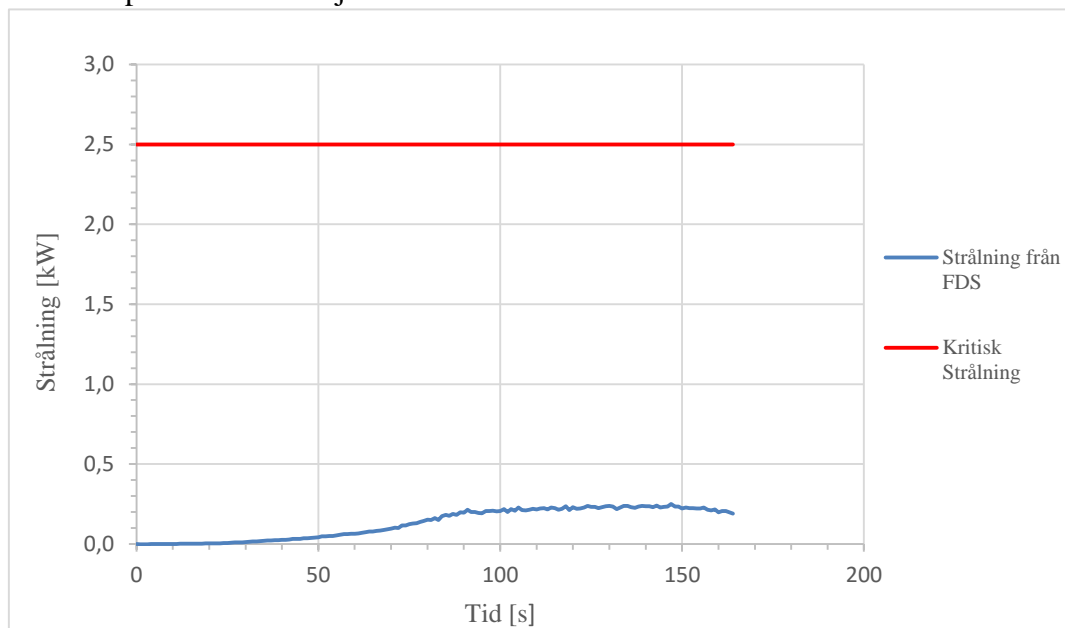
Dessa resultat jämfördes sedan med slicefilen som visas i figur 37. Slicefilen är tagen 2 meter över golvet. Resultatet från slicefilen ansågs vara mer tillförlitlig, då den ger en överblick över förhållandena i hela rummet, och användes därför för att bestämma tid till kritiska förhållanden.



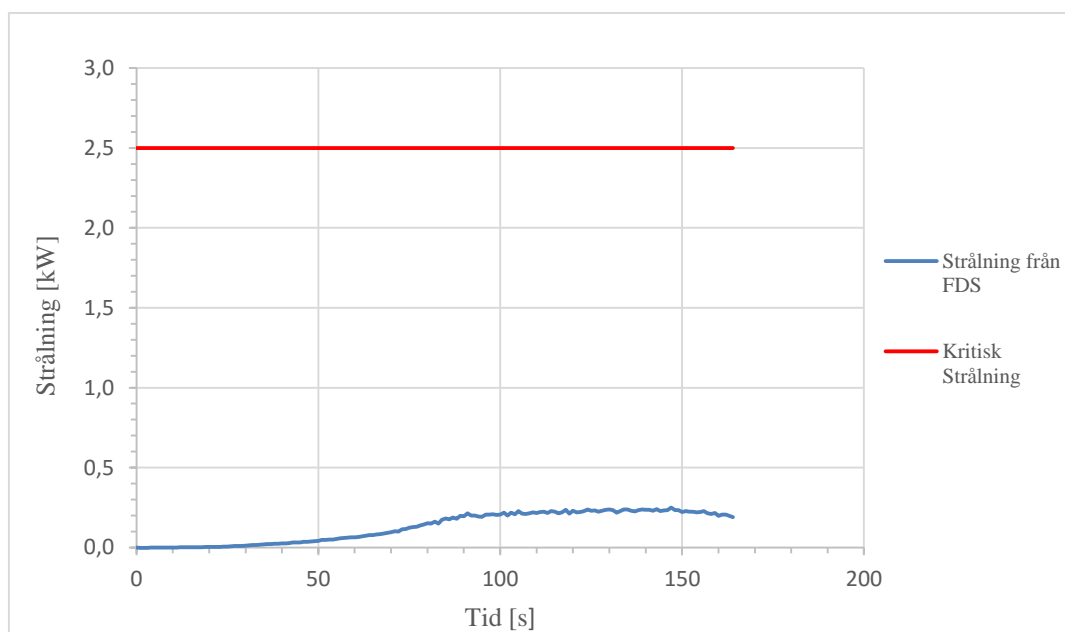
Figur 37 visar slicefile över siktförhållandena efter 90 sekunder då de ansågs vara kritiska. De svarta partierna är områden där sikten är sämre än 5 meter.

Kritisk sikt bedöms ske då de upplysta utrymningskyltarna blockeras av brandgaserna och ej kan ses från fem meters håll. Då det ej går att läsa ut sikten direkt ur slicefilen är det gruppens egen bedömning som avgör tiden till kritiska förhållanden. Det anses ske efter 90 sekunder.

Strålningen mättes med punktmätningar i FDS. Mätinstrumenten var placerade framför de tre dörrarna på 1.5 meters höjd. Resultatet kan ses i

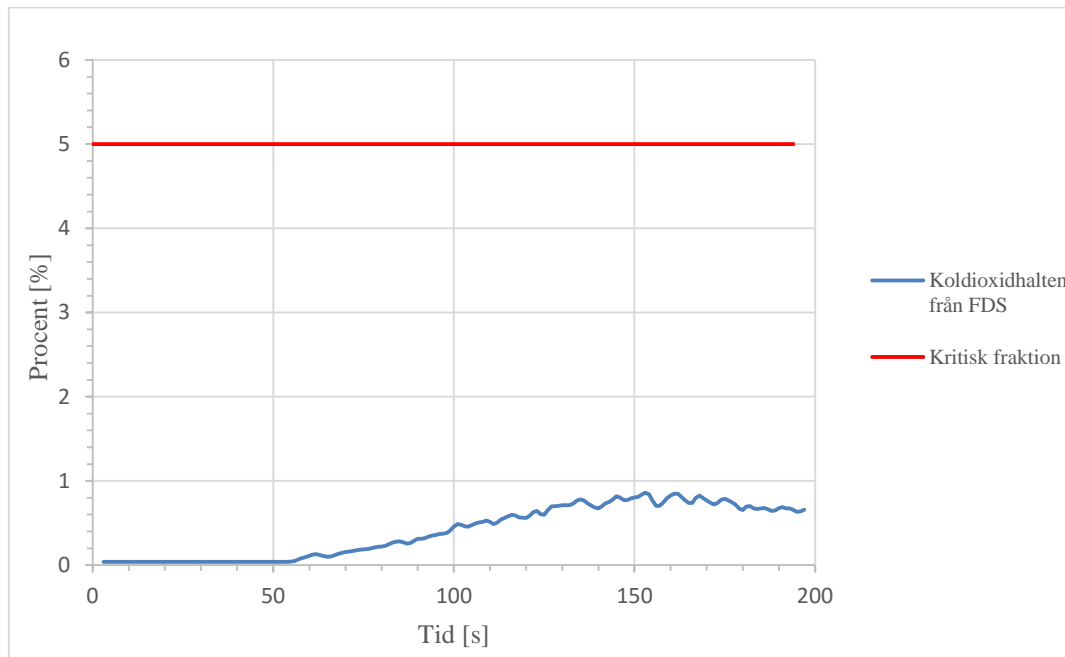


figur 38.



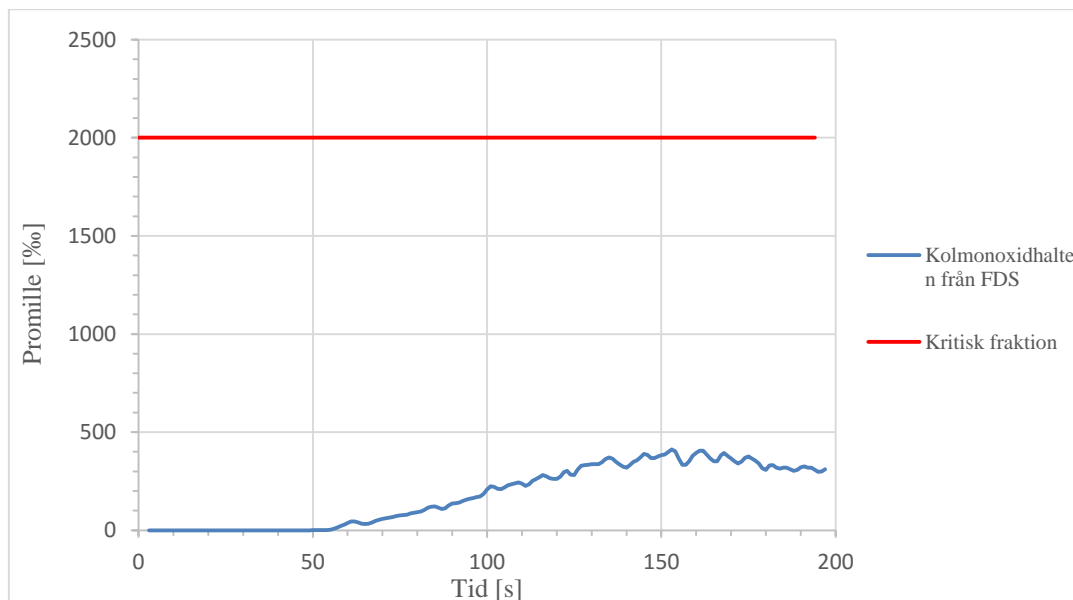
Figur 38 visar den uppmätta strålningen i FDS.

För att utvärdera hur de toxiska förhållandena i lokalen var mättes koldioxid- och kolmonoxidhalten. Resultatet från koldioxidmätningen presenteras i figur 39. Det syns tydligt att den uppmätta halten är långt under den kritiska.



Figur 39 visar den uppmätta koldioxidhalten som i FDS.

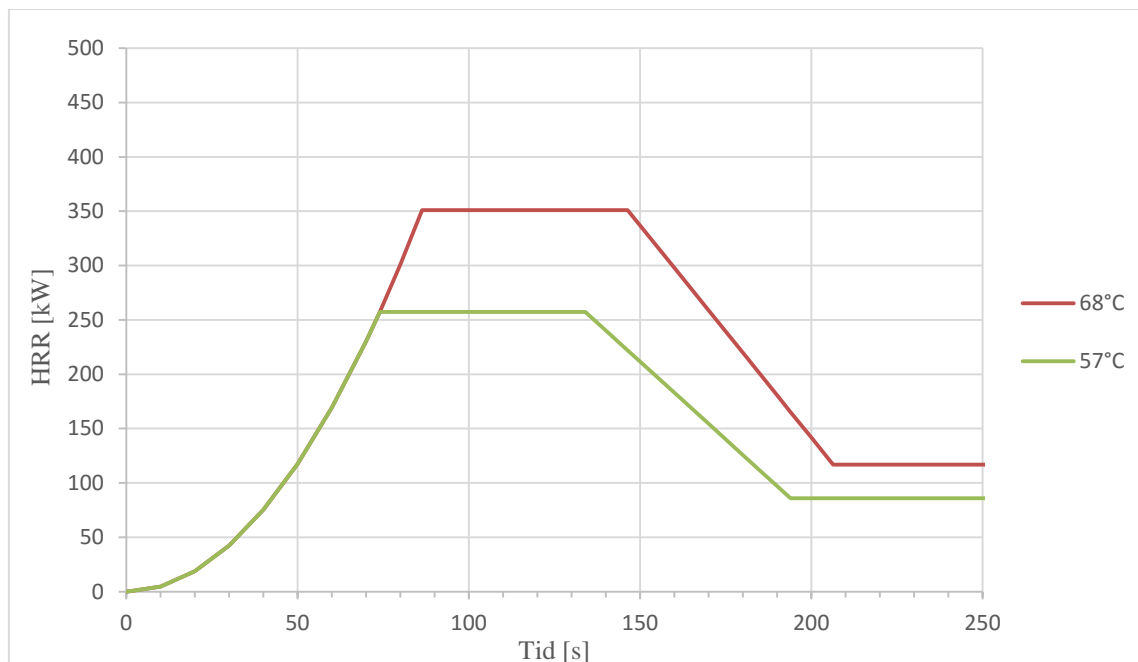
I figur 40 presenteras kolmonoxidmätningen. Även här är resultatet långt under den kritiska nivån.



Figur 40 visar den kolmonoxidhalt som uppmättes i FDS.

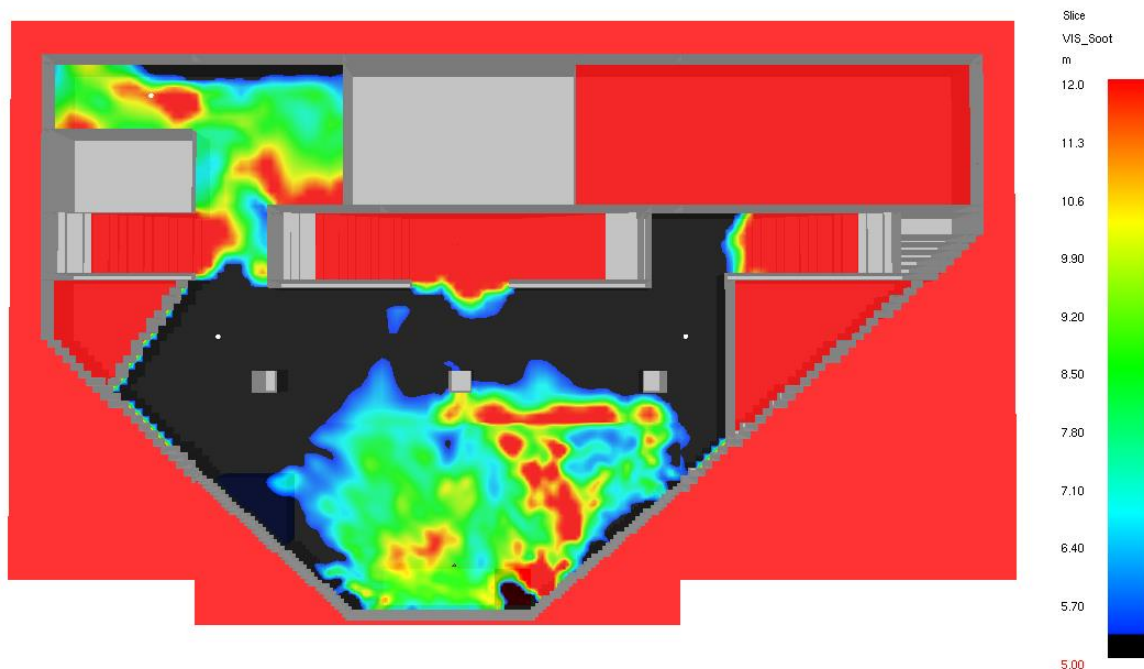
B.5.7 Åtgärdsförslag – Sänkt aktiveringstemperatur för sprinkler

För att begränsa de negativa effekterna av ett brandförlopp lades åtgärdsförslaget att sänka aktiveringstiden för sprinkler fram. Aktiveringstemperaturen sattes nu till 57°C. Resultatet av detta på effektutvecklingen kan ses i figur 41 nedan.



Figur 41 visar effektutvecklingen med sänkt aktiveringstemperatur för sprinklers.

Detta gav en längre tid till kritiska förhållanden då sikten nu blev kritisk efter 96 sekunder. Figur 42 visar en slicefile över sikten efter 96 sekunder.



Figur 42 visar slicefile över sikten efter 96 sekunder. De svarta partierna är områden där sikten är sämre än 5 meter.

B.6 Scenario 6 – Brand på balkongen

Nedan redogörs för FDS-simuleringen av *scenario 6 - Brand på Balkongen*. I detta scenario gjordes enbart en simulering som var för grundscenariot.

B.6.1 Bränsle

I detta scenario antas en anlagd brand starta i en av stolarna på balkongen. Stolarna har en träram med stoppning av flexibelt polyuretanskum. Då reaktionen ska utgöras av ett enda material i FDS behöver stolen representeras som ett ämne. Den exakta viktfördelningen av materialen var okänd. Därför gjordes förenklingen att polyuretanskummet och träet utgjorde 50 % vardera utav den totala vikten.

Ytterligare ett antagande var att det flexibla polyuretanskummet var obehandlad (GM21), vilket innebär att inga brandskyddsmedel eller ökad elasticitet finns i stoppningen. Enligt uppgifter från China Teatern så har en del stolars stoppning bytts ut mot kallsaum, en typ av brandhärdad polyuretan. Men då inga uppgifter fanns om hur stor del som bytts ut gjordes det konservativa antagandet ovan

Yieldvärden för både flexibelt polyuretanskum (GM21) och trä (furu) hämtades från *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* och kan ses nedan i tabell 26.

Tabell 26 visar yieldvärden och kemisk formel för flexibelt polyuretanskum och furu. (SFPE, 2015)

Material	Polyuretanskum	Furu
Kemisk formel	$C_{25}H_{42}O_6N_2$	$CH_{1,7}O_{0,74}N_{0,002}$
CO yield, y_{co} [g/g]	0,010	0,005
Soot yield, y_{soot} [g/g]	0,131	0,015

Då yieldvärden och kemisk formel är kända kan reaktionen till FDS skapas. Som tidigare nämnt antas viktfördelning vara lika fördelat över de båda materialen. Detta antagande ledde till det sammanslagna ämnet med egenskaper som presenteras i tabell 27.

Tabell 27 visar kemisk formel och egenskaper för det ämne som ska representera en stol i salongen i FDS.

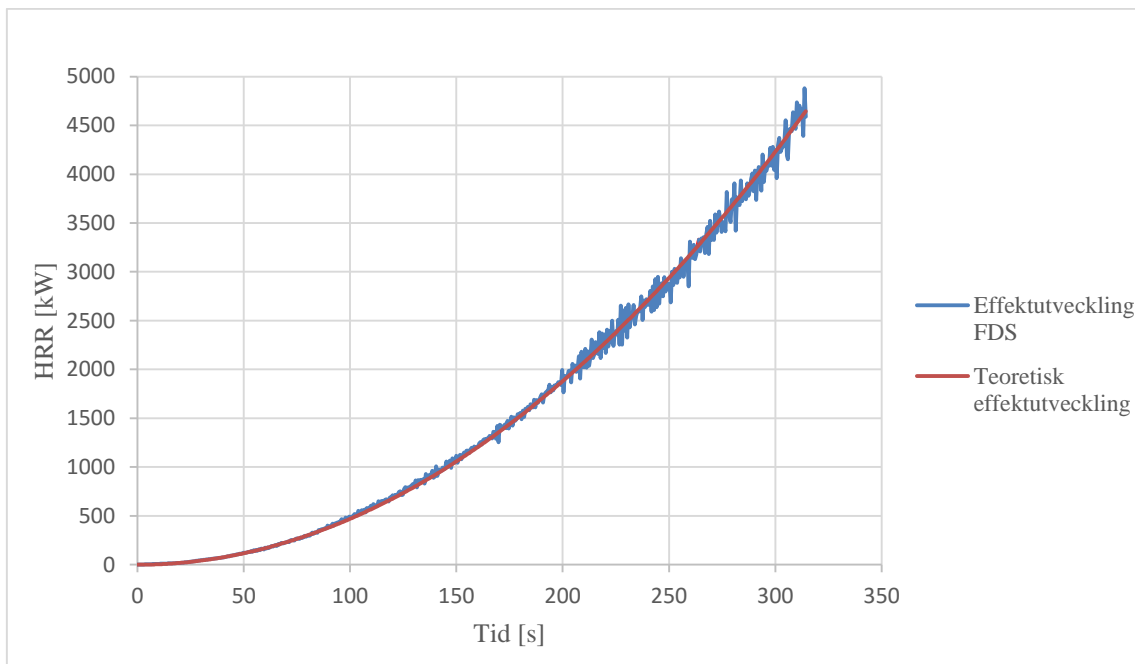
Kemisk formel	$CH_{1,7}O_{0,52}N_{0,041}$
CO yield, y_{co} [g/g]	0,0075
Soot yield, y_{soot} [g/g]	0,091 ³

B.6.2 Effektutveckling

Som tidigare nämnt ansågs branden även i detta scenario tillväxa enligt en αt^2 -kurva med alfavärdet fast, $\alpha=0,047 \text{ kW/s}^2$. Grunden för detta ligger i ett flertal test ifrån *Initial Fires* med liknande stolar som de i China Teatern. Alfavärdena för dessa ligger mellan Medium och

³ Detta värde har i efterhand upptäckts vara felräknat. Det egentliga värdet ska vara 0,073g/g, vilket innebär att värdet i nuläget är konservativt. Men då det redan finns stora osäkerheter i antagandena samt att det ger ett konservativare resultat kommer det ej att undersökas närmre.

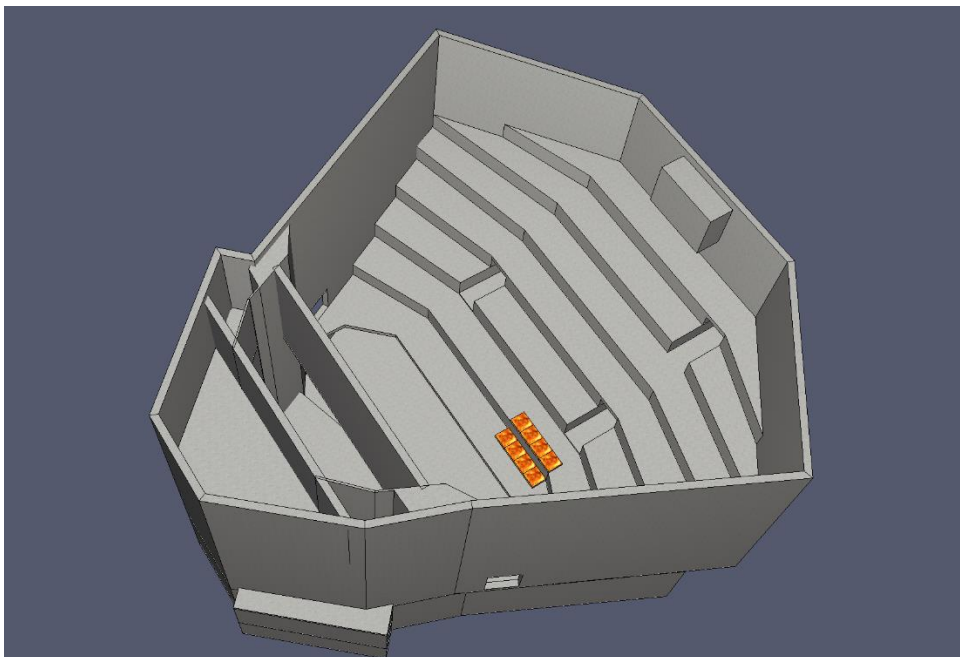
Fast, därför antogs det konservativa värdet Fast till simuleringen. Det gav en effektutveckling enligt figur 43.



Figur 43 visar den teoretisk effektutveckling samt effektutvecklingen från FDS i salongen.

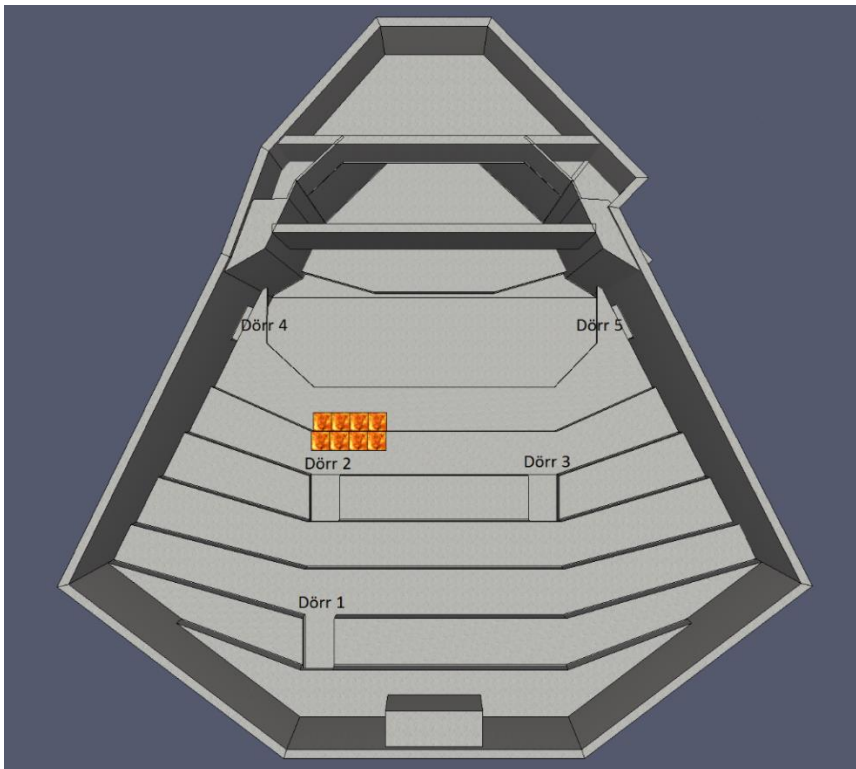
B.6.3 Geometri

För att skapa en bild av hur geometrin som används vid simuleringen ser ut presenteras figurer tagna från Pyrosim nedan. Figur 44 visar övergripande hur geometrin är uppbyggd.



Figur 44 visar en översiktlig bild över geometrin som användes vid simuleringen av balkongscenariot.

Figur 45 visar geometrin ovanifrån. Nödutgångarna som leder bort från balkongen är markerade i figuren, denna terminologi kommer att användas i följande delar för att referera till de individuella dörrarna.



Figur 45 visar geometrin ovanifrån. Nödutgångarna är markerade och numrerade.

B.6.4 Resultat

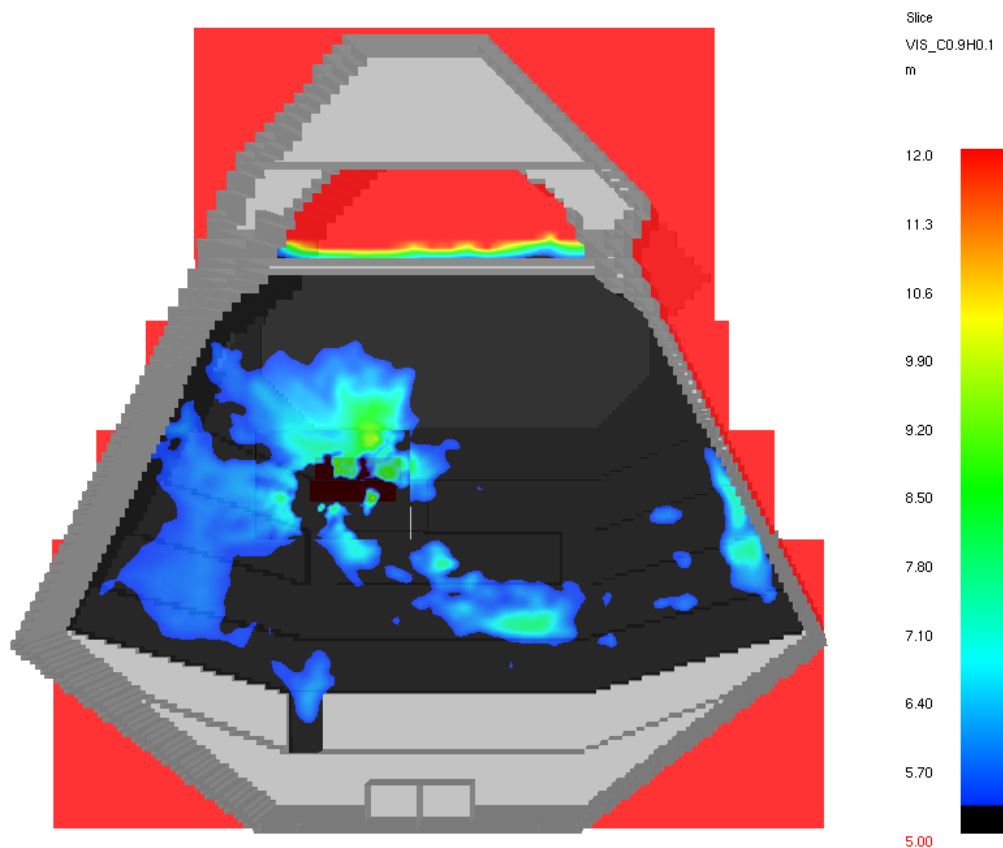
De mätningar som görs för att avgöra tiden till kritiska förhållanden görs vid de platser där köbildning antas ske, det vill säga vid nödutgångarna. I detta scenario ligger nödutgångarna på olika höjd i lokalen, vilket innebär att de kommer utsättas för kritiska förhållande vid olika tidpunkter. För att ta hänsyn till detta presenteras därför tiden till kritiska förhållande för enskilt för varje dörr.

Tiden till kritiska förhållanden för den översta dörren, dörr 1, presenteras i tabell 28.

Tabell 28 visar de kritiska förhållandena för dörr 1.

Dörr 1	Typ	Tid [s]
Sikt	Slicefil	255
	Volymmätning	226
	Linjerökdetektor	199
Brandgaslagrets höjd	Linjemätning	197
Temperatur	Slicefil	390
Strålning	Punktmätning	>Simulerad tid
Toxicitet	Punktmätning	>Simulerad tid

Enligt tabellen är det brandgaslagrets höjd som först når kritiska förhållanden. Men eftersom detta kriterium kan accepteras så länge den kritiska temperaturen ej uppnås är det istället tiden till kritisk sikt som är gränssättande. För att avgöra om de uppmätta tiderna var rimliga jämfördes de med en slicefile över sikten. Då slicefilen ansåg vara mer tillförlitlig används denna tid som tid till kritiska förhållanden vid dörr 1. Slicefilen över sikten vid 255 sekunder kan ses i figur 46.



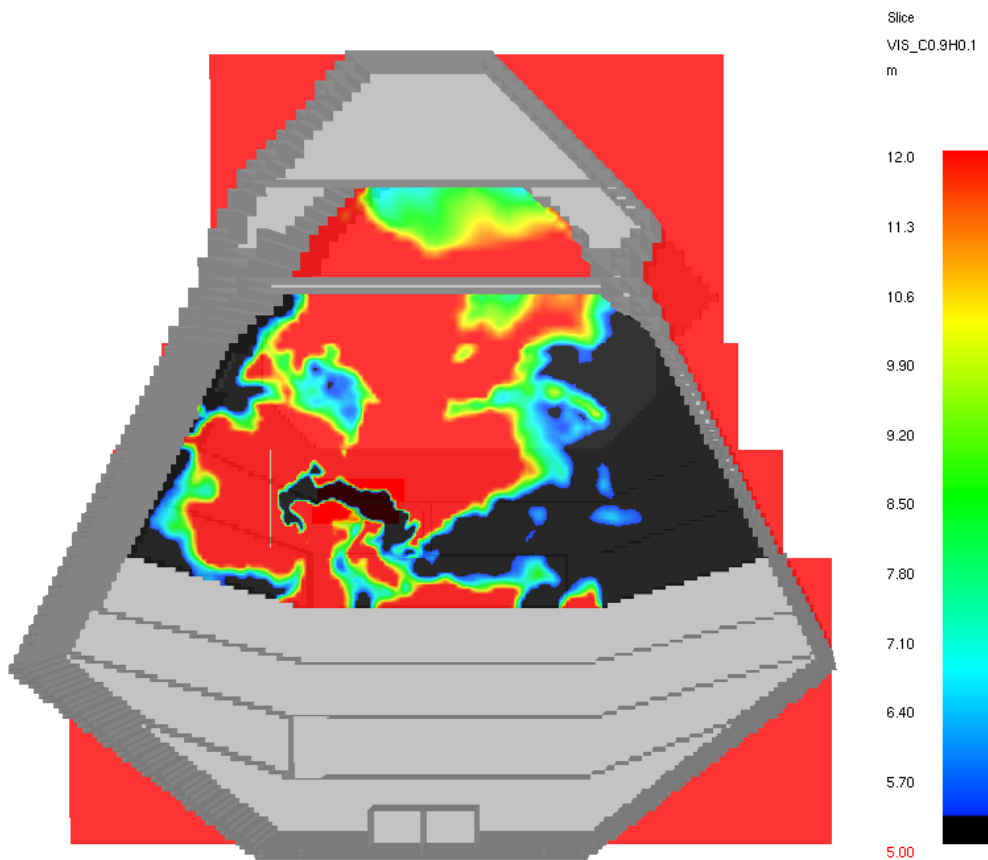
Figur 46 visar siktförhållandena vid den översta dörren efter 255 sekunder. De svarta partierna är områden där sikten är sämre än 5 meter.

Tabell 29 visar tiden till kritiska förhållanden för dörr 3.

Tabell 29 visar de kritiska förhållanden för dörr 3.

Dörr 3	Typ	Tid [s]
Sikt	Slice	350
	Volymmätning	>Simulerad tid
	Linjerökdetektor	310
Brandgaslagrets höjd	Linjemätning	281
Temperatur	Slice	>Simulerad tid
Strålning	Punktmätning	>Simulerad tid
Toxicitet	Punktmätning	>Simulerad tid

Även här avgörs tiden till kritiska förhållanden av slicefilen. Figur 47 visar slicefilen vid dörr 3 efter 350 sekunder.



Figur 47 visar siktförhållandena vid den översta dörren efter 350 sekunder. De svarta partierna är områden där sikten är sämre än 5 meter.

Tabell 30 visar tiden till kritiska förhållanden för dörr 4 och dörr 5. Vid dessa dörrar uppnås inte kritiska förhållanden under den tid som simulerats.

Tabell 30 visar kritiska förhållanden för dörr 4 och 5.

Dörr 4 & 5	Typ	Tid [s]
Sikt	Slice	>Simulerad tid
	Volymmätning	-
	Linjerökdetektor	271
Brandgaslagrets höjd	Linjemätning	>Simulerad tid
Temperatur	Slicefil	>Simulerad tid
Strålning	Punktmätning	>Simulerad tid
Toxicitet	Punktmätning	>Simulerad tid

Att linjerökdetektorn reagerar vid 271 sekunder beror på att brandgaslagret sjunker ner nära väggen och aktiverar detektorn. När slicefilen över samma område studeras kan ingen sådan siktminskning ses.

B.7 Verifiering och validering

För att avgöra hur tillförlitlig en simulering är görs en validering. Det görs genom att ett antal olika parametrar verifieras och jämförs mot FDS giltighetsområde.

B.7.1 Cellstorlek/Gridberoende

Som tidigare nämnt så är det cellstorleken som avgör hur precist resultatet blir. För att avgöra om cellstorleken är tillräckligt fin brukar normalt nodkonvergens undersökas. Detta innebär att flera simuleringar görs med en allt finare cellstorlek tills att ingen skillnad i resultatet kan ses.

I denna rapport har nodkonvergens ej undersökt då detta är mycket resurskrävande. Istället används en metod där man beräknar hur grov mesh som använts. Denna bygger på att man beräknar den karakteristiska diametern med hjälp av ekvation 4 nedan. (McGrattan, et al., 2015)

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} T_{\infty} c_p \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad \text{Ekvation 4}$$

Där:

D^*	Karakteristisk diameter	[-]
\dot{Q}	Brandens maximala effektutveckling	[kW]
ρ_{∞}	Densiteten i omgivande luft	[kg/m ³]
T_{∞}	Temperaturen i omgivande luft	[K]
g	Tyngdaccelerationen	[m/s ²]

Den karakteristiska diametern delas sedan med cellstorleken och resultatet bör ligga inom intervallet 4 till 16, se ekvation 5. (McGrattan, et al., 2015)

$$4 < \frac{D^*}{\delta x} < 16 \quad \text{Ekvation 5}$$

För *Scenario 1 – Brand i garderoben* blev resultatet följande:

$$\frac{D^*}{\delta x} = \frac{1}{\delta x} \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} T_{\infty} c_p \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} = \frac{1}{0.1} \left(\frac{347}{1.2 * 293 * 1.0 * \sqrt{9.81}} \right)^{\frac{2}{5}} = 6.30$$

Vilket innebär att den ligger inom det rekommenderade området. Anledningen till att det blir relativt lågt är att sprinkleraktiveringen begränsar effektutvecklingen vid 347 kW.

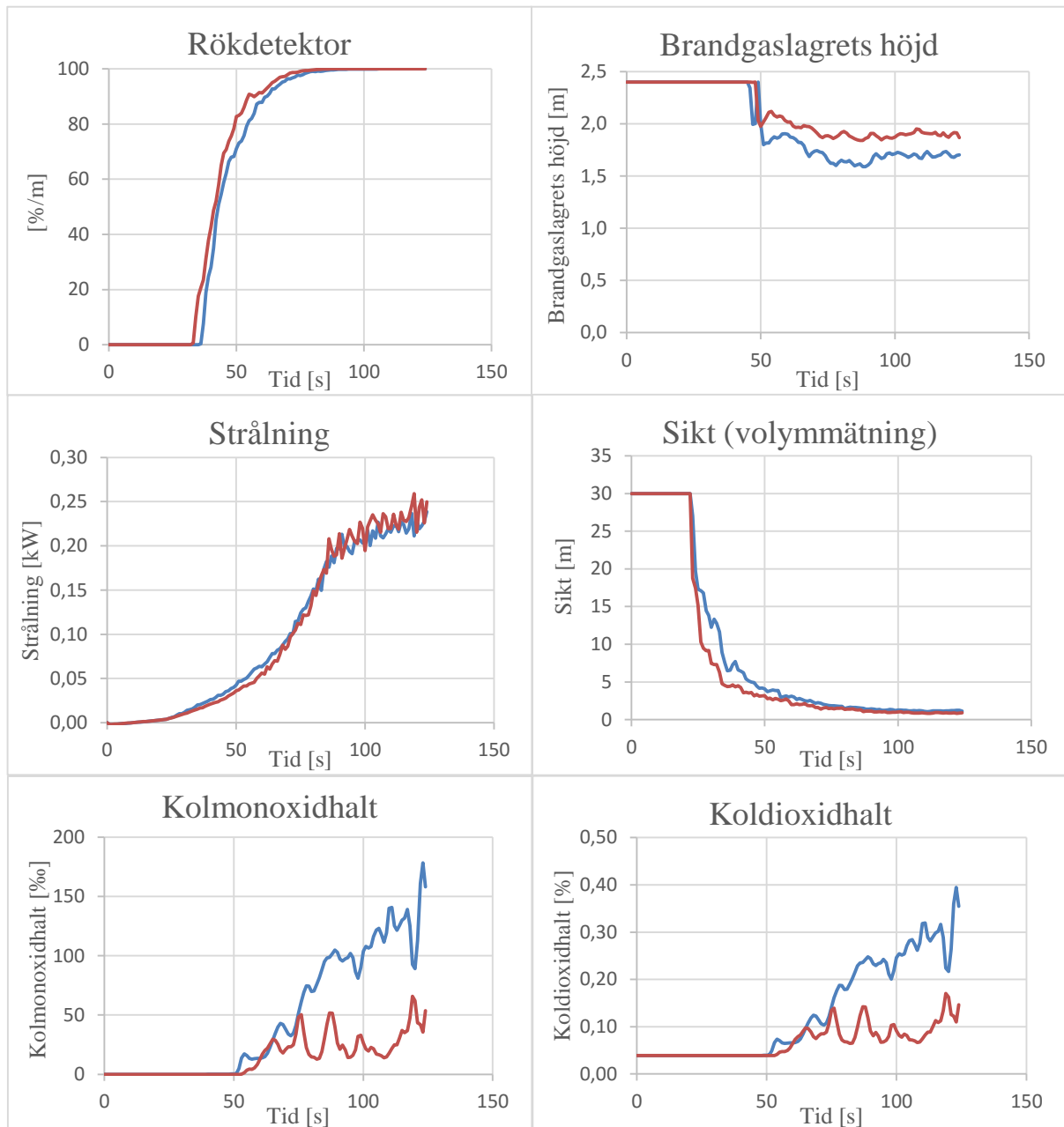
För *scenario 6 – Brand på balkongen* blev resultatet:

$$\frac{D^*}{\delta x} = \frac{1}{\delta x} \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} T_{\infty} c_p \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} = \frac{1}{0.1} \left(\frac{4500}{1.2 * 293 * 1.0 * \sqrt{9.81}} \right)^{\frac{2}{5}} = 17.56$$

Vilket är högre än den övre gränsen. Det medför dock inget negativt utan visar istället att vi har en mycket fin cellstorlek i detta scenario, därför accepteras meshstorleken utan vidare analys.

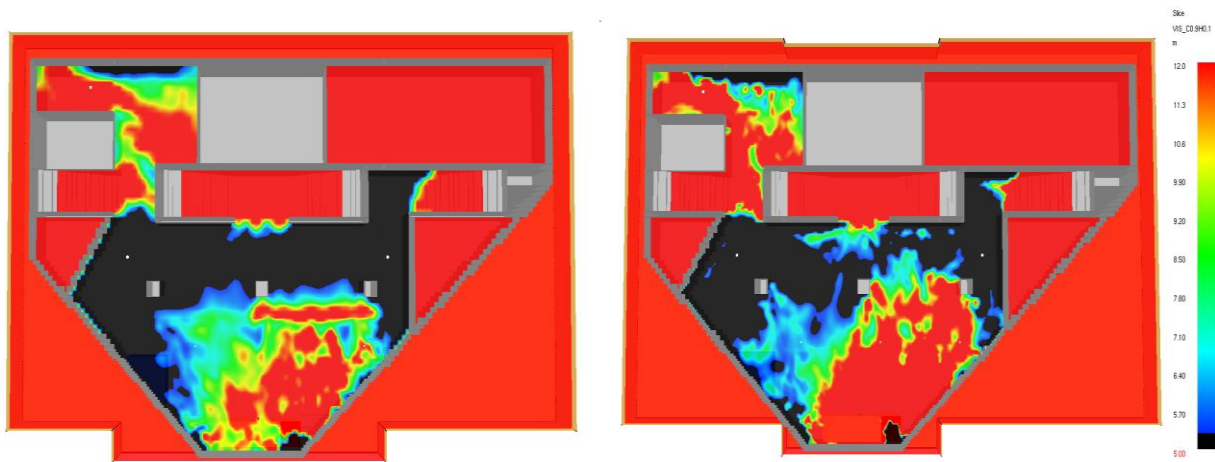
Eftersom $\frac{D^*}{\delta x}$ blev så pass lågt i *Scenario 1 – Brand i garderob* utfördes ytterligare en simulering, med en finare mesh, för att undersöka hur det påverkar resultatet. I denna simulering ändrades cellstorleken för meshen närmast branden från 10cm till 5 cm och för mesherna längre bort från branden ändrades cellstorleken från 20cm till 10cm.

I figur 48 nedan jämförs de flesta av parametrarna som uppmätts i simuleringen. Den grova simuleringen representeras av de blå linjerna och den fina av de röda.



Figur 48 visar hur de olika parametrarna varierar med cellstorleken. De blå linjerna markerar den grova simuleringen och de röda linjerna markerar den fina.

För parametrarna brandgaslagrets höjd, kolmonoxid- och koldioxidhalt varierar resultatet något. I dessa fall fås dock ett konservativare resultat från den grövre simuleringen. Det är enbart för sikten som den finare simuleringen ger en tidigare tid till kritiska förhållanden. För att avgöra om det är av betydelse studeras även slicefiler över sikten från de bägge simuleringarna, se figur 49.



Figur 49 visar skillnaden i sikt för den grova, till vänster, och den fina simuleringen, till höger, av garderobsbranden. Slicefilen är tagen efter 90 sekunder.

I slicefilerna ses tydligt att siktförhållandena, till skillnad från vad volymmätningen visar, är bättre i den fina simuleringen. Detta ger att även tiden till kritiska siktförhållanden blir konservativt uppskattad i den grövre simuleringen.

Utifrån dessa resultat accepteras den grövre meshstorleken och används vid simuleringarna i *scenario 1 – Brand i garderoben*.

B.7.2 Brandens dimension

Branden måste ha rätt dimension i förhållande till effektutvecklingen för att branden ska uppföra sig realistiskt. En brand med för stor area i förhållande till effekten kommer att brytas upp i mindre separata flammor. En brand med för liten area i förhållande till effektutvecklingen kommer istället att bilda en jetflamma. Det innebär att bränsleströmmens rörelsemängd kommer att kontrollera förloppet snarare än tyngdkraften. Omgivande luftflöden kommer då att påverka flamman i mindre utsträckning och resultatet blir inte realistiskt. (Back, et al., 2013)

För att avgöra om dimensionen är rimlig beräknas den dimensionslösa effektutvecklingen enligt ekvation 6 nedan. För naturliga rumsbränder bör \dot{Q}^* ligga mellan 0,3 och 2,5. (Back, et al., 2013)

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g D D^2}} \quad \text{Ekvation 6}$$

Där:

\dot{Q}^*	Dimensionslösa effektutvecklingen	[-]
\dot{Q}	Brandens maximala effektutveckling	[kW]
ρ_{∞}	Densiteten i omgivande luft	[kg/m ³]
T_{∞}	Temperaturen i omgivande luft	[K]
g	Tyngdaccelerationen	[m/s ²]
D	Ekvivalent bränslediameter	[m]

För *scenario 1 – Brand i garderoben* blev resultatet följande:

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g D D^2}} = \frac{347}{1.2 * 1 * 293 * \sqrt{9.81 * 1 * 1^2}} = 0.32$$

Vilket innebär att den ligger inom det rekommenderade området även om arean är något stor i förhållande till effektutvecklingen.

För *scenario 6 – Brand på balkongen* blev resultatet:

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g D D^2}} = \frac{4500}{1.2 * 1 * 293 * \sqrt{9.81 * \sqrt{2 * 8} * \sqrt{2 * 8}^2}} = 0.30$$

Återigen ligger värdet inom det rekommenderade området och återigen är arean något stor. Eftersom den dimensionslösa effektutvecklingen ligger inom intervallet i båda fallen anses bränsleyornas dimensioner därför vara rimliga.

B.7.3 Effektutveckling

Effektutvecklingen spelar en avgörande roll för resultatet. Att den stämmer är därför mycket viktigt och måste kontrolleras. För att se hur väl den simulerade effektutvecklingen stämmer överens med den teoretiska hänvisas läsaren till figur 29 och figur 43 i denna bilaga.

B.7.4 Ventilationskontroll

För att kontrollera om branden i *cenario 1 – Brand i garderoben* blir ventilationskontrollerad har beräkningar utförts i *Bilaga A – Handberäkningar*.

För *scenario 6 – Brand på balkongen* har ett kvalitativt resonemang förts för varför ventilationskontroll inte inträffar. Detta scenario har en liknande effektutveckling som i scenario 1, men lokalen är större och har fler öppningar. Därför kommer syretillförseln att vara bättre och ventilationskontroll kommer ej inträffa.

Ett annat sätt att undersöka om branden är underventilerad är att jämföra den simulerade effekten med den teoretiska. Om den simulerade effekten markant understiger den teoretiska tyder det på att den är underventilerad och att simuleringen bör göras om med en lägre effektutveckling. (Back, et al., 2013)

Återigen hänvisas läsaren till figur 29 och figur 43 i denna bilaga. Studeras dessa figurer syns det tydligt att den simulerade effektutvecklingen stämmer väl överens med den teoretiska.

B.7.5 Flamtemperatur

Flamtemperaturen bör även kontrolleras så att den ligger inom intervallet 700-1200°C. (Back, et al., 2013)

	Typ av mätning	Temperatur [°C]
Scenario 1 – Brand i garderoben	Volymmätning	841 - 998
Scenario 6 – Brand på balkongen	Slicefile	750 - 1000

B.8 Förenklingar och antaganden

Förutom de antaganden som redan nämnts har även en rad andra antaganden och förenklingar gjorts vid simuleringarna av de två scenarierna.

➤ Geometrin:

- Då geometrierna byggs upp med kartesiska koordinater har de förenklats för att följa gridkonventionen. Detta leder till att byggnaden får ett något annorlunda utseende i simuleringen.
- Cellstorleken begränsar även hur fina inredningsdetaljer som kan simuleras. Föremål som är mindre eller smalare än en cellstorlek, till exempel en nödutgångsskylt, måste därför anpassas eller tas bort. Denna process blir lätt tidskrävande och förbises därför.
- Takhöjden i garderobsscenarioet var okänd. Därför antogs den, genom granskning av bilder från platsbesöket, till 2,6 meter.
- I salongsscenarioet användes CAD-ritningar för att uppskatta och rita upp geometrin. En del förenklingar gjordes under denna process, den mest framträdande av dessa är att gradängen är uppbyggd som en grov trappa, se figur 44.

➤ Branden:

- I simuleringen av garderobsbranden antas det enbart vara kläder som brinner. Runt garderoberna finns det i verkligheten en disk av trä. I simuleringen tas ingen hänsyn till denna.
- Var en eventuell brand startar är givetvis okänt. Placeringen av bränderna har därför antagits till platser som ansågs rimliga.

➤ Syretillförsel antas ske kontinuerligt till följd av att dörrar med automatisk stängning hålls öppna av de som utrymmer.

➤ Nodkonvergens: Vid simulering i FDS bör nodkonvergens undersökas. Det innebär att meshen förfinas tills att ingen skillnad kan ses i resultatet. Detta är tids- och resurskrävande och har därför inte utförts i denna rapport. Istället används $\frac{D^*}{\delta x}$ metoden beskriven ovan.

B.9 Begränsningar i FDS

Som tidigare nämnt är cellstorleken avgörande för hur bra resultatet från en simulering blir. Den önskade upplösningen kan dock inte alltid uppnås då en halvering av cellstorleken resulterar i att simuleringstiden ökar med en faktor 16. Den tillgängliga datorkraften är därför en klar begränsning vid denna typ av arbete. (McGrattan, et al., 2015)

Undermodellen som beräknar strålningen i FDS kräver även mycket datorkraft och begränsas därför av den tillgängliga kapaciteten. Modellen bygger på att strålning skickas ut från varje cell genom ett, av användaren förinställt, antal strålar. Hur krävande modellen är beror då på mängden strålar. Att använda för få strålar leder dock till att enbart enskilda punkter träffas, vilket innebär att modellen ej är tillförlitlig då antalet strålar är för litet. (McGrattan, et al., 2015)

Förbränningen sker genom ytterligare en undermodell. Denna bygger på en enstegsreaktion där användaren definierar alla ingående parametrar på förhand. Detta är en mycket enkel modell som ej lämpar sig för material som är uppbyggda av flera olika ämnen. Modellen har även problem vid underventilerade förhållanden och är därför inte tillförlitlig då detta sker. (McGrattan, et al., 2015)

Simuleringar i FDS är uppbyggt med kartesiska koordinater. Detta begränsar användaren möjlighet att rita upp geometrin och medför oftast att antaganden måste göras för att få geometrierna att stämma överens med verkligheten.

För att avgöra vilka parametrar som är tillförlitliga har flera valideringsstudier gjorts. I tabell 31 presenteras en sammanställning av flera olika valideringsstudier gjord av USA:s kärnkraftsmyndighet NUREG. (RES & EPRI, 2007)

Tabell 31 visar en sammanställning av flera olika valideringsstudier av FDS. (RES & EPRI, 2007)

Parameter	Parameters tillförlitlighet	
Hot gas layer temperature ("upper layer temperature")	Room of Origin	OK
	Adjacent Room	OK
Hot gas layer height ("layer interface height")		OK
Ceiling jet temperature ("target/gas temperature")		OK
Plume temperature		Försiktighet
Flame height		Försiktighet
Oxygen concentration		OK
Smoke concentration		Försiktighet*
Room pressure		OK
Target temperature		Försiktighet
Radiant heat flux		Försiktighet
Total heat flux		Försiktighet
Wall temperature		Försiktighet

För mer information kring FDS begränsningar och olika parametrars tillförlitlighet hänvisas läsaren till FDS användarmanual. (McGrattan, et al., 2015)

Bilaga C – Utrymning

I denna bilaga presenteras indataparametrar till pathfinder samt hur utrymningen påverkas av eventuella åtgärdsförslag. Ingående parametrar för åtgärdsförslagen och hur säkerhetsmarginalen påverkas av dessa finns i denna bilaga.

C.1 Indata Pathfinder

I pathfindersimuleringarna används en geometri som är en direkt skiss av planritningarna för de tre offentliga planen. Detta för att göra modellen så verklighetstrogen som möjligt. Samtliga personer, rörelsehindrade exkluderat, har tilldelats gånghastigheten 1,19 m/s och axelbredden 45,58 cm då dessa ansågs rimliga av gruppen och är standardiserade i pathfinderprogrammet. Då majoriteten av besökarna antas vara vuxna ses dessa värden som representativa. Undantag har gjorts för rörelsehindrade som har tilldelats en hastighet på 0,75 m/s och bredden 65 cm. (Medistore, 2016)

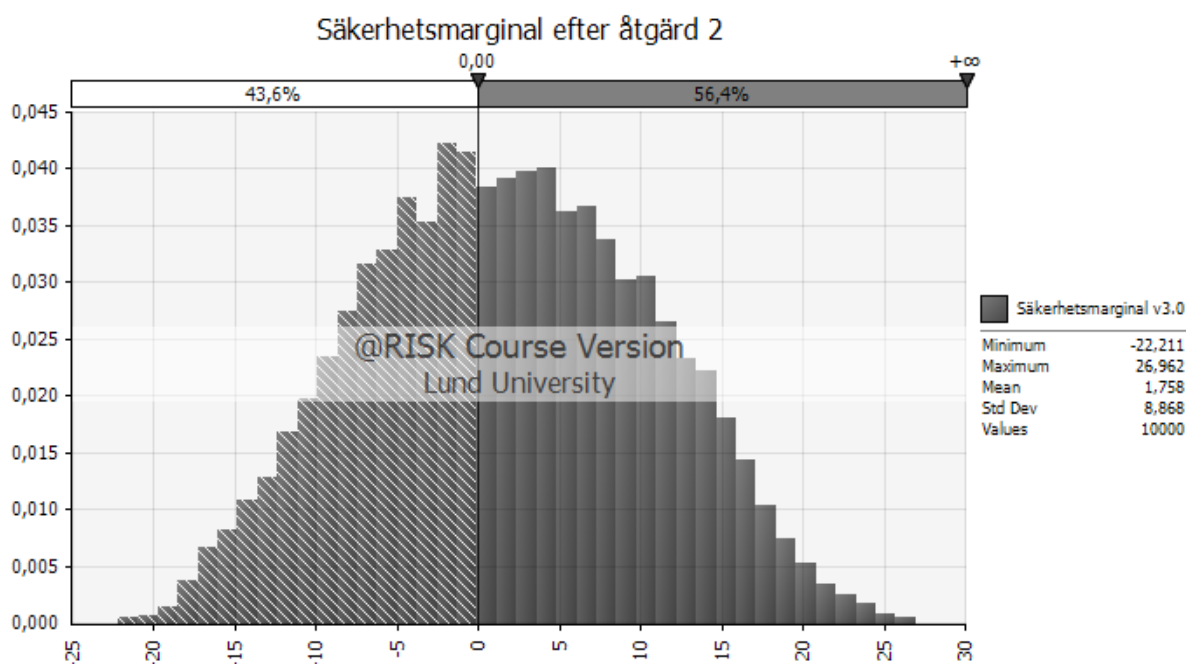
C.2 Scenario 1 – Brand i garderoben

Åtgärd 2 innebär att en extra nödutgång till via tunneln till Bern skyltas och används. De ingående parametrarna och deras fördelningar som använts kan ses nedan i tabell 32.

Tabell 32 visar fördelningar och kommentarer för Åtgärd 2 – Extra nödutgång.

Varseblivningstid [s]	Triang(25;36;40)	Oförändrad
Förberedelsetid [s]	Uniform(5;30)	Oförändrad
Förflyttningstid [s]	Uniform(30;60) Uniform(30;44)	Den extra nödutgången medför snabbare utrymning då 200 personer vistas i garderoben. I försök med 100 personer blir tiden oförändrad.
Tid till kritiska Förhållanden [s]	90	Oförändrad

Ovanstående fördelningar från tabell 32 gav den säkerhetsmarginal som presenteras i figur 50.



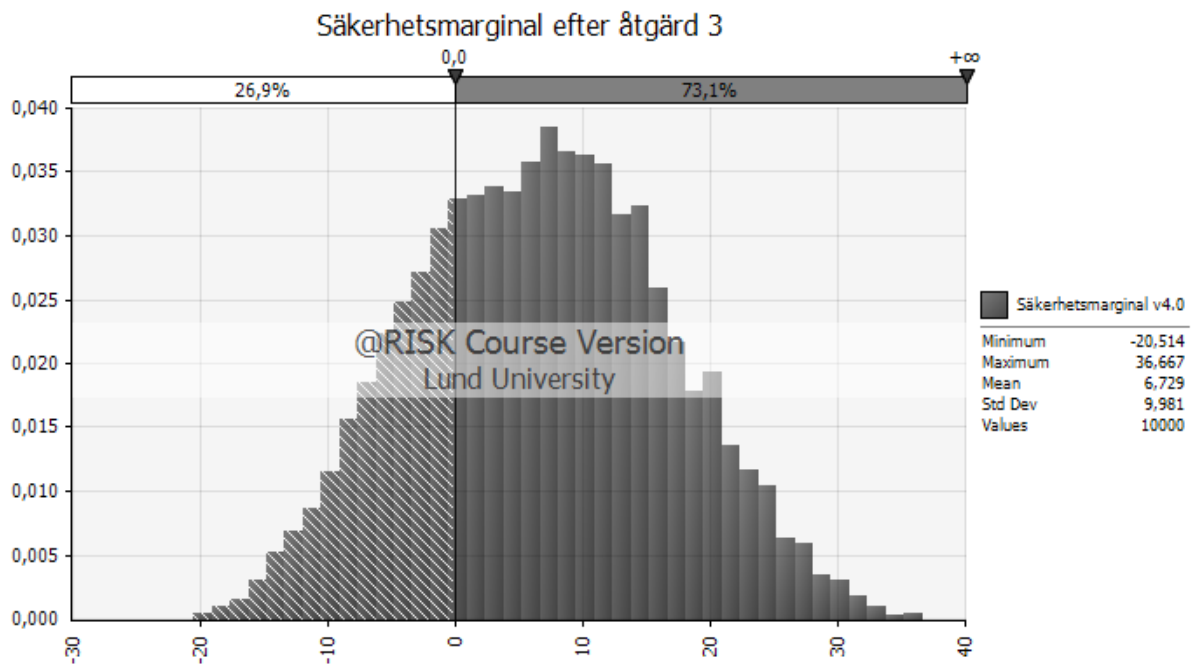
Figur 50 visar säkerhetsmarginalen efter en extra nödutgång finns till användning.

Åtgärd 3 innebär att det installeras en ny rökdetektor i garderoben, precis vid kläderna, så att en eventuell brand upptäcks fortare än vad det gör i nuläget. Varseblivningstiden blir på så vis betydligt kortare eftersom detektorn aktiveras efter 14 sekunder. Brandens eventuella placering kan leda till en försämrad detektionstid. Maxvärdet i fördelningen sätts som tio sekunder efter den uppmätta detektionstiden. Detta eftersom brandens placering i garderoben kan variera till en viss grad, men inte så pass mycket att detektionstiden skulle bli dubbelt så stor. En uniformfördelning väljs eftersom en tid inte är mer trolig än den andra. Ingående parametrarna visas i tabell 33.

Tabell 33 visar fördelningar och kommentarer för Åtgärd 3 – Rökdetektor.

Varseblivningstid [s]	Triang(25;36;40) Uniform(14;24)	Placering av rökdetektor bland jackorna medför en snabbare detektion och därmed snabbare varseblivningstid.
Förberedelsetid [s]	Uniform(5;27,5)	Oförändrad
Förflyttningstid [s]	Uniform(30;60)	Oförändrad
Tid till kritiska Förhållanden [s]	90	Oförändrad

Förändringarna från tabell 33 gav följande säkerhetsmarginal som visas i figur 51.



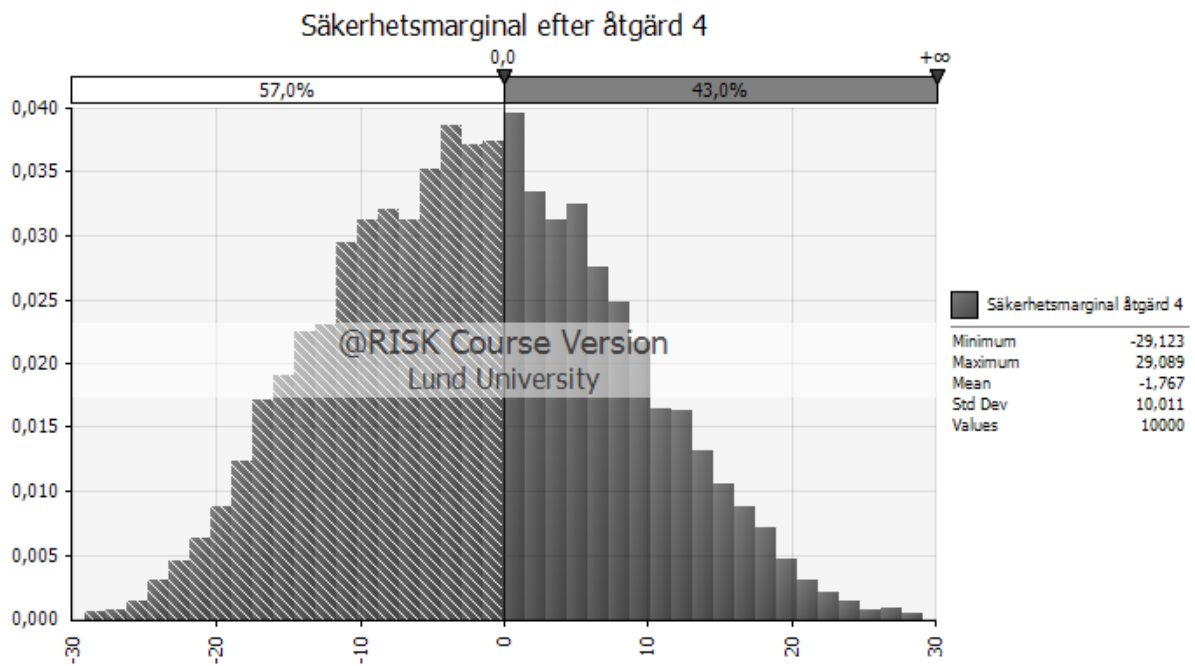
Figur 51 visar säkerhetsmarginalen efter den nya rökdetectorn installerats.

Det sista åtgärdsförslaget, Åtgärd 4 är att byta ut glasbulben i de sprinklerhuvuden belägna i garderoben till en orange bulb. Denna orangea bulb sänker aktiveringstemperaturen hos sprinklerhuvudet vilket innebär att den aktiverar snabbare. Förändringar i de ingående parametrarna till följd av bytet av glasbulb kan ses i tabell 34.

Tabell 34 visar fördelningar och kommentarer för Åtgärd 4 – Ny aktiveringstemperatur för sprinkler.

Varseblivningstid [s]	Triang(25;36;40)	Oförändrad
Förberedelsetid [s]	Uniform(5;30)	Oförändrad
Förflyttningstid [s]	Uniform(30;60)	Oförändrad
Tid till kritiska Förhållanden [s]	90 96	Lägre aktiveringstemperatur för sprinklerbulben medför tidigare aktivering och längre tid till kritiska förhållanden.

Förändringar i säkerhetsmarginalen efter byte av glasbulb kan ses nedan i figur 52.



Figur 52 visar säkerhetsmarginalen efter byte av glasbulb i sprinklerhuvud skett.

Bilaga D – FDS-kod

Nedan presenteras den kod som använts vid simuleringarna i FDS. Notera att koden som beskriver geometrin har tagits bort för att begränsa antalet sidor.

D.1 Scenario 1 – Brand i garderoben

I detta scenario gjordes fyra simuleringar. För att begränsa längden presenteras koden från grundfallet först. Denna färgkodas sedan för att visa vilka delar som ändrats i de övriga simuleringarna.

D.1.1 Grundscenariot

```
&HEAD CHID='GARDEROB6_1/'
```

```
&TIME T_END=600/
```

```
&MISC VISIBILITY_FACTOR=8/
```

```
&DUMP DT_DEVC=1.0, COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_RESTART=100.0/
```

```
-----  
MESH
```

```
-----  
&MESH ID='Mesh1', IJK=130,54,40, XB=9.0,22.0,10.8,16.2,0.0,4.0, MPI_PROCESS=0/
```

```
&MESH ID='Mesh2', IJK=45,75,20, XB=0.0,9.0,0.0,15.0,0.0,4.0, MPI_PROCESS=1/
```

```
&MESH ID='Mesh3', IJK=25,75,20, XB=22.0,27.0,0.0,15.0,0.0,4.0, MPI_PROCESS=1/
```

```
&MESH ID='Mesh4', IJK=65,54,20, XB=9.0,22.0,0.0,10.8,0.0,4.0, MPI_PROCESS=1/
```

```
&MESH ID='Mesh5', IJK=155,60,27, XB=-1.0,30.0,4.2,16.2,4.0,9.4, MPI_PROCESS=2/
```

```
-----  
PROPS
```

```
-----  
&PROP ID='Cleary Photoelectric P1',
```

```
  QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',
```

```
  ALPHA_E=1.8,
```

```
  BETA_E=-1.0,
```

```
  ALPHA_C=1.0,
```

```
  BETA_C=-0.8/
```

```
&PROP ID='Heskestad Ionization', QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION', LENGTH=1.8/
```

```
&PROP ID='Cleary Ionization II',
```

```
  QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',
```

```
  ALPHA_E=2.5,
```

```
  BETA_E=-0.7,
```

```
  ALPHA_C=0.8,
```

```
  BETA_C=-0.9/
```

&PROP ID='Sprinkler',
QUANTITY='LINK TEMPERATURE',
ACTIVATION_TEMPERATURE=68.0,
RTI=50.0/

DEVICES

&DEVC ID='SD-CP1', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=8.9,8.5,2.7/
&DEVC ID='SD-CP2', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=21.3,8.5,2.7/
&DEVC ID='SD-CP3', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=23.1,2.1,2.7/
&DEVC ID='SD-CP4', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=2.1,7.1,5.7/
&DEVC ID='SD-CP5', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=27.1,7.1,5.7/

&DEVC ID='SD-HI01', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=8.9,8.5,2.7/
&DEVC ID='SD-HI02', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=21.3,8.5,2.7/
&DEVC ID='SD-HI03', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=23.1,2.1,2.7/
&DEVC ID='SD-HI04', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=2.1,7.1,5.7/
&DEVC ID='SD-HI05', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=27.1,7.1,5.7/

&DEVC ID='SD-CI01', PROP_ID='Cleary Ionization I1', XYZ=8.9,8.5,2.7/
&DEVC ID='SD-CI02', PROP_ID='Cleary Ionization I1', XYZ=21.3,8.5,2.7/
&DEVC ID='SD-CI03', PROP_ID='Cleary Ionization I1', XYZ=23.1,2.1,2.7/
&DEVC ID='SD-CI04', PROP_ID='Cleary Ionization I1', XYZ=2.1,7.1,5.7/
&DEVC ID='SD-CI05', PROP_ID='Cleary Ionization I1', XYZ=27.1,7.1,5.7/

&DEVC ID='NY-SD-CI06', PROP_ID='Cleary Ionization I1', XYZ=15.05,14.55,2.75/
&DEVC ID='NY-SD-HI06', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=15.05,14.55,2.75/
&DEVC ID='NY-SD-CP06', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=15.05,14.55,2.75/

&DEVC ID='LAYER1', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=15.0,15.0,6.0,6.0,0.3,2.7, SETPOINT=1.86, LATCH=FALSE./
&DEVC ID='LAYER2.1', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=8.9,8.9,8.0,8.0,0.3,2.7, SETPOINT=1.86, LATCH=FALSE./
&DEVC ID='LAYER2.2', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=15.0,15.0,8.0,8.0,0.3,2.7, SETPOINT=1.86, LATCH=FALSE./
&DEVC ID='LAYER2.3', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=20.9,20.9,8.0,8.0,0.3,2.7, SETPOINT=1.86, LATCH=FALSE./

&DEVC ID='BEAM1.1', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=15.3,15.3,10.6,5.6,2.2,2.2/
&DEVC ID='BEAM1.2', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=14.9,12.4,6.2,10.5,2.2,2.2/
&DEVC ID='BEAM1.3', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=14.9,17.4,6.2,10.5,2.2,2.2/
&DEVC ID='BEAM2.0', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=8.5,8.5,10.2,5.2,2.2,2.2/
&DEVC ID='BEAM3.1', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=21.6,21.6,10.7,5.7,2.2,2.2/
&DEVC ID='BEAM3.2', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=22.0,17.8,6.0,8.6,2.2,2.2/

&DEVC ID='CO-1', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=14.9,8.9,2.0/
&DEVC ID='CO-2', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=8.9,8.9,2.0/
&DEVC ID='CO-3', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=20.9,8.9,2.0/

&DEVC ID='CO2-1', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=14.9,8.9,2.0/
&DEVC ID='CO2-2', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=8.9,8.9,2.0/
&DEVC ID='CO2-3', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=20.9,8.9,2.0/

&DEVC ID='door 1 - visibility', XB=12.6,17.2, 7.2,10.2, 0.2,2.8, QUANTITY='VISIBILITY', STATISTICS='MIN'/
&DEVC ID='door 2 - visibility', XB=7.8,8.8, 5.2,7.8, 0.2,2.8, QUANTITY='VISIBILITY', STATISTICS='MIN'/
&DEVC ID='door 3 - visibility', XB=20,22, 4.2,7.8, 0.2,2.8, QUANTITY='VISIBILITY', STATISTICS='MIN'/

&DEVC ID='door 1 - HeatFlux', XYZ=14.9, 10.2, 1.7, QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', ORIENTATION=0,0.707,0.707/
&DEVC ID='door 2 - HeatFlux', XYZ=8.8, 6.0, 1.7, QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', ORIENTATION=0,0.707,0.707/
&DEVC ID='door 3 - HeatFlux', XYZ=21.0, 6.0, 1.7, QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', ORIENTATION=0,0.707,0.707/

&DEVC ID='Temperature - Fire', XB=13.0,14.0, 14.8,15.8, 1.4,3.4, QUANTITY='TEMPERATURE', STATISTICS='MAX'/

MATERIALS

&MATL ID='CONCRETE',
FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',
SPECIFIC_HEAT=1.04,
CONDUCTIVITY=1.8,
DENSITY=2280.0/

REACTION

&REAC ID='Garderobrand', FUEL='REAC_FUEL', FORMULA='C10H8O4', CO_YIELD=0.06, SOOT_YIELD=0.086/

SURFACES

&SURF ID='Concrete',
COLOR='GRAY 60',
BACKING='VOID',
MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
THICKNESS(1)=0.3/

```

&SURF ID='Burner1',
  COLOR='RED',
  TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',
  HRRPUA=347.9,
  RAMP_Q='Burner1_RAMP_Q'/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=21.5, F=0.0633/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=43.0, F=0.2499/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=64.5, F=0.5631/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=86.0, F=1.0/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=146.0, F=1.0/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=206.0, F=0.33/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=600.0, F=0.33/

&RADI RADIATION=.TRUE., NUMBER_RADIATION_ANGLES=200/
-----
OBSTACLES
-----

TRYCKAVLASTNING
-----
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-1.0,30.0,16.2,16.2,4.0,9.4/ Vent1
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=9.0,22.0,16.2,16.2,0.0,4.0/ Vent2
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-1.0,30.0,4.2,16.2,9.4,9.4/ Vent3
-----
BOUNDARY QUANTITIES
-----
&BNDF QUANTITY='RADIOMETER'/
-----

SLICE FILES
-----
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=2.2/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.2/
&SLCF QUANTITY='AEROSOL VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', PBX=14.4/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=14.4/

&TAIL/

```

D.1.2 Sprinkleraktivering

I denna simulering begränsades inte effektutvecklingen vid 86 sekunder utan fortsatte att tillväxa enligt α^2 -kurvan.

D.1.3 Åtgärdsförslag - Sänkt aktiveringstemperatur för sprinkler

SURFACES

```
&SURF ID='Burner1',
  COLOR='RED',
  TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',
  HRRPUA=264.4,
  RAMP_Q='Burner1_RAMP_Q/'
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=18.75, F=0.0625/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=37.5, F=0.2500/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=56.25, F=0.5624/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=75.0, F=1.0/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=146.0, F=1.0/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=206.0, F=0.33/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=600.0, F=0.33/
```

D.1.4 Validering av cellstorlek

MESH

```
&MESH ID='Mesh1', IJK=160,80,80, XB=11.0,19.0,12.2,16.2,0.0,4.0, MPI_PROCESS=0/
&MESH ID='Mesh2', IJK=110,150,40, XB=0.0,11.0,0.0,15.0,0.0,4.0, MPI_PROCESS=1/
&MESH ID='Mesh3', IJK=80,150,40, XB=19.0,27.0,0.0,15.0,0.0,4.0, MPI_PROCESS=2/
&MESH ID='Mesh4', IJK=80,120,40, XB=11.0,19.0,0.2,12.2,0.0,4.0, MPI_PROCESS=3/
&MESH ID='Mesh5', IJK=155,120,54, XB=-1.0,14.5,4.2,16.2,4.0,9.4, MPI_PROCESS=4/
&MESH ID='Mesh6', IJK=155,120,54, XB=14.5,30.0,4.2,16.2,4.0,9.4, MPI_PROCESS=5/
```

DEVICES

```
&DEVC ID='BEAM3.2a', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=22.0,19.0,6.0,7.9,2.2,2.2/
&DEVC ID='BEAM3.2b', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=19.0,17.8,7.9,8.6,2.2,2.2/
```

D.2 Scenario 6 – Brand i salongen

För detta scenario gjordes enbart en simulering.

```
&HEAD CHID='SALONG2_6'/  
&TIME T_END=600.0/  
&DUMP DT_DEVC=1.0, COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_RESTART=100.0, DT_PL3D=100/
```

```
&MISC VISIBILITY_FACTOR=8/
```

```
-----  
MESH
```

```
-----  
&MESH ID='Mesh01', IJK=68,48,144, XB=14.0,20.8,12.0,16.8,4.4,18.8/  
&MESH ID='Mesh02', IJK=85,64,72, XB=5.0,22.0,-0.8,12.0,4.4,18.8/  
&MESH ID='Mesh03', IJK=85,64,72, XB=22.0,39.0,-0.8,12.0,4.4,18.8/  
&MESH ID='Mesh04', IJK=35,24,72, XB=7.0,14.0,12.0,16.8,4.4,18.8/  
&MESH ID='Mesh05', IJK=80,24,72, XB=20.8,36.8,12.0,16.8,4.4,18.8/  
&MESH ID='Mesh06', IJK=128,24,72, XB=9.2,34.8,16.8,21.6,4.4,18.8/  
&MESH ID='Mesh07', IJK=57,32,36, XB=11.4,34.2,21.6,34.4,4.4,18.8/
```

```
-----  
PROPS
```

```
-----  
&PROP ID='Cleary Ionization II',
```

```
  QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',
```

```
  ALPHA_E=2.5,
```

```
  BETA_E=-0.7,
```

```
  ALPHA_C=0.8,
```

```
  BETA_C=-0.9/
```

```
&PROP ID='Cleary Photoelectric P1',
```

```
  QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',
```

```
  ALPHA_E=1.8,
```

```
  BETA_E=-1.0,
```

```
  ALPHA_C=1.0,
```

```
  BETA_C=-0.8/
```

```
&PROP ID='Heskestad Ionization', QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION', LENGTH=1.8/
```

```
-----  
DEVICES
```

```
-----  
&DEVC ID='BEAM1.1', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=11.8,16.2,7.5,5.2,11.1,11.1/
```

&DEVC ID='BEAM1.2', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=20.6,16.2,7.5,5.2,11.1,11.1/
DEVC ID='BEAM2.1', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=11.8,16.2,14.4,12.1,7.4,7.4/
DEVC ID='BEAM2.2', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=20.6,16.2,14.4,12.1,7.4,7.4/
&DEVC ID='BEAM3.1', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=32.2,27.8,14.4,12.1,7.4,7.4/
&DEVC ID='BEAM3.2', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=23.4,27.8,14.4,12.1,7.4,7.4/
&DEVC ID='BEAM4a', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=12.3001,11.8313,18.801,20.29,6.9,6.9/
&DEVC ID='BEAM4b', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=12.9229,12.30,16.801,18.799,6.9,6.9/
&DEVC ID='BEAM4c', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=13.2295,12.92,15.83,16.799,6.9,6.9/
&DEVC ID='BEAM5a', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=31.6999,32.1687,18.801,20.2897,6.9,6.9/
&DEVC ID='BEAM5b', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=31.0771,31.6999,16.8051,18.7931,6.9,6.9/
&DEVC ID='BEAM5c', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=30.7705,31.0771,15.8263,16.799,6.9,6.9/

&DEVC ID='SD-CI', PROP_ID='Cleary Ionization II', XYZ=16.2,30.6,5.0/
&DEVC ID='SD-CP', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=16.2,30.6,5.0/
&DEVC ID='SD-HI', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=16.2,30.6,5.0/

&DEVC ID='LAYER1', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=16.3,16.3,6.3,6.3,9.9,12.9/
DEVC ID='LAYER2', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=16.3,16.3,13.1,13.1,6.2,8.0/
&DEVC ID='LAYER3', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=27.7,27.7,13.1,13.1,6.2,8.0/
&DEVC ID='LAYER4', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=12.1,12.1,19.3,19.3,5.1,6.9/
&DEVC ID='LAYER5', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=31.9,31.9,19.3,19.3,5.1,6.9/

&DEVC ID='door 1 - HeatFlux', XYZ=16.3, 6.3, 11.7, QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', ORIENTATION=0.0,0.707,0.707/
DEVC ID='door 2 - HeatFlux', XYZ=16.25, 13.15, 8.05, QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', ORIENTATION=0.0,1/
&DEVC ID='door 3 - HeatFlux', XYZ=27.7, 13.1, 8.0, QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', ORIENTATION=-0.707,0.0,0.707/
&DEVC ID='door 4.1 - HeatFlux', XYZ=12.1, 19.3, 6.9, QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', ORIENTATION=0.707,-
0.707,0.0/
&DEVC ID='door 4.2 - HeatFlux', XYZ=12.1, 19.3, 6.9, QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', ORIENTATION=0.0,1/
&DEVC ID='door 5.1 - HeatFlux', XYZ=31.8, 19.3, 6.9, QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', ORIENTATION=-0.707,-
0.707,0.0/
&DEVC ID='door 5.2 - HeatFlux', XYZ=31.8, 19.3, 6.9, QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', ORIENTATION=0.0,1/

&DEVC ID='CO-1', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=16.3, 6.3, 11.7/
DEVC ID='CO-2', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=16.25, 13.15, 8.05/
&DEVC ID='CO-3', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=27.7, 13.1, 8.0/
&DEVC ID='CO-4', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=12.1, 19.3, 6.9/
&DEVC ID='CO-5', QUANTITY='carbon monoxide', XYZ=31.8, 19.3, 6.9/

&DEVC ID='CO2-1', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=16.3, 6.3, 11.7/
DEVC ID='CO2-2', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=16.25, 13.15, 8.05/
&DEVC ID='CO2-3', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=27.7, 13.1, 8.0/
&DEVC ID='CO2-4', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=12.1, 19.3, 6.9/

&DEVC ID='CO2-5', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=31.8, 19.3, 6.9/

&DEVC ID='door 1 - visibility', XB=14.4,18.0, 5.2,7.5, 9.9,12.1, QUANTITY='VISIBILITY', STATISTICS='MIN'/

DEVC ID='door 2 - visibility', XB=14.4,18.0, 12.1,14.4, 6.2,8.4, QUANTITY='VISIBILITY', STATISTICS='MIN'/

&DEVC ID='door 3 - visibility', XB=26.0,29.6, 12.1,14.4, 6.2,8.4, QUANTITY='VISIBILITY', STATISTICS='MIN'/

MATERIALS

&MATL ID='CONCRETE',

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

SPECIFIC_HEAT=1.04,

CONDUCTIVITY=1.8,

DENSITY=2280.0/

REACTION

&REAC ID='PU och Trä',

FUEL='REAC_FUEL',

C=1.0,

H=1.7,

O=0.52,

N=0.041,

CO_YIELD=0.0075,

SOOT_YIELD=0.091/

SURFACES

&SURF ID='Concrete',

COLOR='GRAY 60',

TEXTURE_MAP='psm_concrete.jpg',

TEXTURE_WIDTH=0.762,

TEXTURE_HEIGHT=0.762,

BACKING='VOID',

MATL_ID(1,1)='CONCRETE',

MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,

THICKNESS(1)=0.3/

```
&SURF ID='Burner1',
  COLOR='RED',
  TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',
  HRRPUA=2367.7,
  RAMP_Q='Burner1_RAMP_Q'/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=20, F=0.0079/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=40, F=0.0318/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=60, F=0.0715/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=80, F=0.0900/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=100, F=0.1172/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=120, F=0.1463/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=140, F=0.1635/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=160, F=0.1834/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=180, F=0.2026/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=200, F=0.2248/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=300, F=0.3300/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=400, F=0.5037/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=500, F=0.7270/
&RAMP ID='Burner1_RAMP_Q', T=600, F=1.0/
```

```
&SURF ID='Burner2',
  COLOR='RED',
  TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',
  HRRPUA=2198.5,
  RAMP_Q='Burner2_RAMP_Q'/
&RAMP ID='Burner2_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='Burner2_RAMP_Q', T=60, F=0.0/
&RAMP ID='Burner2_RAMP_Q', T=80, F=0.0196/
&RAMP ID='Burner2_RAMP_Q', T=100, F=0.0493/
&RAMP ID='Burner2_RAMP_Q', T=120, F=0.0806/
&RAMP ID='Burner2_RAMP_Q', T=140, F=0.0992/
&RAMP ID='Burner2_RAMP_Q', T=160, F=0.1205/
&RAMP ID='Burner2_RAMP_Q', T=180, F=0.1448/
&RAMP ID='Burner2_RAMP_Q', T=200, F=0.1651/
&RAMP ID='Burner2_RAMP_Q', T=300, F=0.2784/
&RAMP ID='Burner2_RAMP_Q', T=400, F=0.4655/
&RAMP ID='Burner2_RAMP_Q', T=500, F=0.7060/
&RAMP ID='Burner2_RAMP_Q', T=600, F=1.0/
```

&SURF ID='Burner3',
COLOR='RED',
TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',
HRRPUA=2021.1,
RAMP_Q='Burner3_RAMP_Q'/
&RAMP ID='Burner3_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='Burner3_RAMP_Q', T=120, F=0.0/
&RAMP ID='Burner3_RAMP_Q', T=140, F=0.0201/
&RAMP ID='Burner3_RAMP_Q', T=160, F=0.0434/
&RAMP ID='Burner3_RAMP_Q', T=180, F=0.0697/
&RAMP ID='Burner3_RAMP_Q', T=200, F=0.0919/
&RAMP ID='Burner3_RAMP_Q', T=300, F=0.2151/
&RAMP ID='Burner3_RAMP_Q', T=400, F=0.4186/
&RAMP ID='Burner3_RAMP_Q', T=500, F=0.6802/
&RAMP ID='Burner3_RAMP_Q', T=600, F=1.0/

&SURF ID='Burner4',
COLOR='RED',
TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',
HRRPUA=1880.1,
RAMP_Q='Burner4_RAMP_Q'/
&RAMP ID='Burner4_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='Burner4_RAMP_Q', T=180, F=0.0/
&RAMP ID='Burner4_RAMP_Q', T=200, F=0.0238/
&RAMP ID='Burner4_RAMP_Q', T=300, F=0.1563/
&RAMP ID='Burner4_RAMP_Q', T=400, F=0.3750/
&RAMP ID='Burner4_RAMP_Q', T=500, F=0.6562/
&RAMP ID='Burner4_RAMP_Q', T=600.0, F=1.0/

OBSTACLES

VENTS

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=11.4,34.2,21.6,34.4,18.8,18.8, COLOR='INVISIBLE'/ Vent1
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=9.2,34.8,16.8,21.6,18.8,18.8, COLOR='INVISIBLE'/ Vent2
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=7.0,36.8,12.0,16.8,18.8,18.8, COLOR='INVISIBLE'/ Vent3

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=5.0,39.0,-0.8,12.0,18.8,18.8, COLOR='INVISIBLE'/ Vent4
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=5.0,39.0,-0.8,-0.8,4.4,18.8, COLOR='INVISIBLE'/ Vent5
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=9.2,9.2,16.8,21.6,4.4,18.8, COLOR='INVISIBLE'/ Vent6
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=34.8,34.8,16.8,21.6,4.4,18.8, COLOR='INVISIBLE'/ Vent7

SLICE FILES

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=7.1/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=7.1/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=8.3/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=8.3/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=10.7/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=10.7/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=16.3/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=16.8/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=27.7/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=19.8/

&TAIL/