

2013

Rapport 9442 © Brandteknik och Riskhantering,
Lunds Tekniska Högskola, Lund 2013

Johan Blomstrand Martén
Per Boström
Johan Henningsson
Mattias Spelmans



**LUNDS
UNIVERSITET**
Lunds Tekniska Högskola



Brandteknisk riskvärdering av Storsjöteatern i Östersund

Brandteknisk riskvärdering av Storsjöteatern i Östersund

Författare

Johan Blomstrand Martén

Per Boström

Johan Henningsson

Mattias Spelmans

Handledare

Johan Bergström

Lund 2013

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

Titel/Title

Brandteknisk riskvärdering av Storsjöteatern i Östersund
Fire safety evaluation of Storsjöteatern in Östersund

Rapport/Report

9442 © Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2013

Författare/Authors

Johan Blomstrand Martén
Per Boström
Johan Henningsson
Mattias Spelmans

Nyckelord

Brandteknisk riskvärdering, Simulex, FDS, CFAST, @RISK, Storsjöteatern, Östersund, personsäkerhet, kritiska förhållanden, känslighetsanalys, riskanalys.

Keywords

Fire safety evaluation, Simulex, FDS, CFAST, @RISK, Storsjöteatern, Östersund, human safety, critical conditions, sensitivity analysis, risk analysis.

Antal sidor/Number of pages

133

Bilder/Pictures

Samtliga bilder är tagna av författarna om ingen källa anges.
All photos are taken by the authors, if no other source is given.

Språk/Language

Svenska/Swedish

Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering

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

Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety

Lund University
P.O Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden
Telephone: +46 46-222 73 60
Homepage: www.brand.lth.se
E-mail: brand@brand.lth.se

Abstract

This report is a fire safety evaluation of Storsjöteatern in Östersund, Sweden, which is a theatre combined with conference rooms. Only human evacuation safety is taken into consideration in the report. There is no emphasis regarding economic and environmental aspects or the durability of the building after evacuation has taken place. The objective was to achieve a satisfying evacuation of the building in case of fire. The analysis began with an evaluation of the building and its existing fire protection. Possible fire scenarios were estimated and evaluated in regard to probability and consequence. Three fire scenarios were picked out for further investigation because of their significance regarding evacuation safety. Two of the scenarios were handled with a probabilistic approach and one scenario was handled with a deterministic approach. The fire safety of certain sections of the building was found insufficient regarding the objective of satisfying evacuation. The evaluation resulted in several proposed actions to enhance the fire safety of the building. The actions were validated contrary the objective to prove that they made evacuation safe in the analyzed scenarios.

Förord

Författarna vill tacka följande personer för handledning och hjälp i samband med denna rapport:

Johan Bergström, universitetslektor vid avdelningen för brandteknik och riskhantering på LTH, för värdefull handledning under arbetets gång.

Teresia Gustafsson, brandingenjör hos Räddningstjänsten Jämtland, för logistik och hjälp vid platsbesöket.

Nils Johansson, doktorand vid avdelningen för brandteknik och riskhantering på LTH, för hjälp med tvåzonsmodeller.

Lars Karlsson, avdelningsansvarig för Storsjöteatern, för hjälp vid platsbesöket och under arbetets gång.

Stefan Nilsson, representant från Östersunds kommun, för hjälp vid platsbesöket.

Räddningstjänsten Jämtland, för kost och logi under besöket i Östersund.

Nomenklatur

A_d	Area på öppningar för inluft [m ²]
A_E	Area på brandgasluckor [m ²]
A_w	Area på väggar och tak som berörs av brandgaserna [m ²]
b	Undre brännbarhetsgränsen [-]
c_p	Luftens specifika värmekapacitet [kJ/(kg K)]
C_d	Öppningsfaktor [-]
D	Diameter [m]
g	Tyngdaccelerationen [m/s ²]
h	Värmekonduktivitet [kW/m ² K]
H_E	Takhöjd [m]
L	Flamhöjd [m]
\dot{m}_e	Massflöde ut ur lokalen [kg/s]
\dot{m}_p	Massflöde från plymen [kg/s]
\dot{q}''	Värmeflöde [W/m ²]
Q	Syrets totala energi i lokalen [MJ]
\dot{Q}	Effektutveckling [kW]
t	Tid [s]
T	Temperatur [K]
T_a	Luftens temperatur [K]
T_g	Brandgasernas temperatur [K]
V	Lokalens volym [m ³]
\dot{V}_e	Fläktens volymflöde [m ³ /s]
α	Tillväxthastighet [kW/s ²]
ΔP	Tryckskillnad över öppningar [Pa]
ε	Emissionstal [-]
ρ_a	Luftens densitet [kg/m ³]
ρ_g	Brandgasernas densitet [kg/m ³]
σ	Stefan-Boltzmanns konstant [W/m ² K ⁴]
ϕ	Synfaktor [-]
χ	Förbränningseffektivitet [-]

Sammanfattning

Följande rapport utvärderar personsäkerheten vid händelse av brand i Storsjöteatern i Östersund. Rapporten utgör ett moment i kursen Brandteknisk riskvärdering som är en obligatorisk kurs på brandingenjörsprogrammet på Lunds Tekniska Högskola. I rapporten utvärderas endast personsäkerheten och ingen hänsyn tas till ekonomiska och miljömässiga aspekter eller byggnadens integritet efter att utrymning har skett.

Storsjöteatern är en samlingsplats för kulturevenemang i centrala Östersund. I lokalerna sker tillställningar av många olika slag, bland annat konserter, filmvisningar, banketter, föreläsningar och teaterföreställningar. Personantalet i lokalerna varierar och flera evenemang kan ske samtidigt i olika lokaler.

Arbetet inleddes med genomgång av byggnaden och dess befintliga brandskydd, där möjliga brandscenarier studerades. Utifrån statistik över bränder i liknande byggnader och kvalitativa resonemang gjordes en grovanalys där tre brandscenarier valdes ut för vidare analys. Scenarierna som valdes var de som hade högst sammanvägd sannolikhet och konsekvens och dessa var även representativa för andra scenarier. Scenarierna var brand i Studioscenen, brand i Studiofoajén och brand i teaterfoajén.

De två förstnämnda scenarierna behandlades med en probabilistisk metod där sannolikhetsfördelningar användes för att beskriva de viktigaste parametrarna medan det tredje scenariot behandlades med en deterministisk metod, där istället värsta troliga värden användes.

I analysen av scenarierna användes simulerings- och modelleringsprogram som FDS, CFAST, Simulex och @RISK. Personsäkerheten ansågs inte vara tillräcklig i något av de tre undersökta scenarierna, varför åtgärder undersöktes och validerades. Åtgärderna delades in två kategorier; åtgärder som *ska* genomföras för att säkerställa säker utrymning i de undersökta scenarierna och åtgärder som *bör* genomföras för att generellt förbättra brandsäkerheten i byggnaden, enligt följande:

Åtgärder som *ska* genomföras för att säkerställa säker utrymning i de undersökta scenarierna:

- Utrymningsvägar får inte under några omständigheter vara blockerade.
- Utbilda personalen inom systematiskt brandskydd och vilken roll de har i en utrymningssituation, exempelvis att uppmana besökare att utrymma vid brandlarm och visa var utrymningsvägar finns.
- Installera mekanisk brandgasventilation i Studioscenen som är kopplad till brandlarmcentralen och aktiveras vid detektion av brand. Ventilationen ska ha ett flöde på minst 7 m³/s. Regelbundna tester av den mekaniska brandgasventilationens funktion ska genomföras.
- Installera automatiska dörrstängare för samtliga dörrar i Studiofoajén. Dessa ska vara kopplade till brandlarmcentralen och aktiveras vid detektion av brand. Inga föremål får begränsa dörrarnas möjlighet att stängas. Regelbundna tester av de automatiska dörrstängarnas funktion ska genomföras.
- Installera brandgasventilation i form av brandgasluckor, med en total area på minst 12 m² i teaterfoajén och cafeteria. Brandgasventilationen ska vara kopplad till brandlarmcentralen och aktiveras vid detektion av brand.
- Installera dörröppnare vid dörrarna i huvudentrén och den gamla huvudentrén för att säkerställa en tillräcklig mängd tilluft för brandgasventilationen. Dörröppnarna ska vara kopplade till brandlarmcentralen och aktiveras vid detektion av brand.
- Om brandgasspjäll saknas ska sådana spjäll installeras i ventilationskanalerna som leder till den angränsande fastigheten för att förhindra brandgasspridning, förutsatt att åtgärden inte inkräktar på befintliga system.

Åtgärder som *bör* genomföras för att generellt förbättra brandsäkerheten i byggnaden:

- Informera de ansvariga för evenemang att utrymningsvägar och dörrar med dörrstängare inte får blockeras.
- Införa ett system för att kontrollera att utrymningsvägar och dörrar med dörrstängare inte är blockerade vid evenemang.
- Installera belysning i slussen i teatersalongens främre utrymningsväg.
- Förbättra utrymningsvägen i teatersalongens sydvästra hörn genom att göra dörren lättare att öppna, till exempel genom en panikregel, och bredda trappan på väg ner till dörren.
- Gör Studiofoajén till en egen brandcell.

Åtgärderna rangordnades i fallande ordning efter vilka åtgärder som ansågs viktigast. För att förbättra brandsäkerheten ytterligare rekommenderas att de brandscenarier som inte valdes för vidare analys undersöks vidare.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Mål och syfte	1
1.2 Avgränsningar	1
2. Objektsbeskrivning	3
2.1 Överblick	3
2.2 Källarplan	4
2.3 Bottenplan	5
2.3.1 Teaterscenen.....	5
2.3.2 Studioscenen.....	6
2.3.3 Studiofoajén.....	6
2.3.4 Fredssalen och Thoméesalen.....	7
2.3.5 Kongressfoajén.....	7
2.3.6 Garderoben.....	8
2.4 Plan 1	9
2.4.1 Teaterfoajén.....	9
2.4.2 Cafeterian.....	10
2.4.3 Teatersalongen.....	10
3. Befintligt brandskydd	11
3.1 Teaterscenens brandskydd	11
3.2 Fastighetsindelning	11
3.3 Detektion och utrymningslarm	11
3.4 Utrymningsvägar	11
3.5 Brandgasventilation och ventilationssystem	11
3.6 Rutiner och systematiskt brandskyddsarbete	11
3.7 Övrigt brandskydd	12
3.8 Observerade brister	12
4. Metod	15
4.1 Grovanalys	15
4.2 Val av brandscenarier	16
4.3 Beräkning av tillgänglig tid	17
4.4 Beräkning av utrymningstid	17
4.4.1 Varseblivning.....	17
4.4.2 Beslut och reaktion.....	18
4.4.3 Förflyttning.....	18
4.5 Beräkning av tidsmarginal	18
4.6 Två kvantitativa metoder	18
4.6.1 Probabilistisk analys.....	18
4.6.2 Deterministisk analys.....	20
5. Grovanalys av brandscenarier	21
5.1 Källarplan	21
5.1.1 Transformatorrum.....	21
5.1.2 Scenkällaren.....	21
5.1.3 Kök tillhörande Studioscenen.....	21
5.1.4 Snickeri.....	21
5.2 Bottenplan	22
5.2.1 Teaterscenen.....	22
5.2.2 Inlastning.....	22
5.2.3 Garderob vid huvudentrén.....	22
5.2.4 Pentry vid logerna.....	22

5.2.5	Expedition	23
5.2.6	Fredssalen	23
5.2.7	Thoméesalen	23
5.2.8	Scen i Studioscenen	23
5.2.9	Grupprum	23
5.2.10	Obevakad garderob i Kongressfoajén.....	24
5.2.11	Bar i Studioscenen	24
5.2.12	Obevakad garderob i Studiofoajén	24
5.2.13	Skyddsrum	24
5.2.14	Fläktrum bredvid skyddsrummet.....	24
5.3	Plan 1	25
5.3.1	Teatersalongen.....	25
5.3.2	Teaterfoajén	25
5.3.3	Cafeterian	25
5.3.4	Rökrummet.....	25
5.4	Vindsplan	26
5.4.1	Fläktrum ovanför teaterscenen.....	26
5.5	Sammanfattning av grovanalys	26
5.6	Val av brandscenarier.....	27
6.	Brandscenario 1 – Scen i Studioscenen.....	29
6.1	Beskrivning	29
6.2	Ventilation	29
6.3	Brandens tillväxthastighet och maxeffekt	29
6.4	Tillgänglig tid för säker utrymning	30
6.5	Utrymningstid.....	32
6.5.1	Varseblivningstid	32
6.5.2	Beslut- och reaktionstid	32
6.5.3	Förflyttningstid	33
6.6	Beräkning av tidsmarginal	36
6.7	Validering av CFAST-simuleringar.....	36
6.8	Känslighetsanalys	37
6.8.1	Felfungerande detektor	37
6.8.2	Ventilation.....	37
6.9	Åtgärder.....	38
6.9.1	Dimensionering och validering	38
6.9.2	Känslighetsanalys av åtgärder	39
6.9.3	Sammanfattning av åtgärder	42
6.10	Reflektioner	43
7.	Brandscenario 2 – Obevakad garderob i Studiofoajén.....	45
7.1	Beskrivning	45
7.2	Ventilation	45
7.3	Händelseträäd	45
7.4	Brandens maxeffekt och tillväxthastighet	47
7.5	Tillgänglig tid för säker utrymning	48
7.6	Utrymningstid.....	49
7.6.1	Varseblivningstid	49
7.6.2	Beslut- och reaktionstid	49
7.6.3	Förflyttningstid	50
7.7	Beräkning av tidsmarginal	52
7.7.1	Riskvärdering.....	52
7.8	Validering av CFAST-simuleringar.....	52
7.9	Känslighetsanalys	53

7.9.1	Antal personer.....	53
7.9.2	Ventilation.....	53
7.10	Åtgärder.....	54
7.10.1	Dimensionering och validering.....	54
7.10.2	Känslighetsanalys av åtgärder.....	55
7.10.3	Sammanfattning åtgärder.....	55
7.11	Reflektioner	56
8.	Brandscenario 3 - Teaterfoajén	57
8.1	Beskrivning	57
8.2	Ventilation	58
8.3	Brandens tillväxthastighet och maxeffekt	58
8.4	Tillgänglig tid för säker utrymning	59
8.5	Utrymningstid.....	59
8.5.1	Varseblivningstid	59
8.5.2	Beslut- och reaktionstid	59
8.5.3	Förflyttningstid	59
8.6	Beräkning av tidsmarginal	61
8.7	Validering av CFD-simulering.....	61
8.8	Känslighetsanalys	61
8.8.1	Tid till brandspridning.....	61
8.8.2	Gridoberoende.....	61
8.8.3	Bedömning av glasväggarnas integritet.....	62
8.9	Åtgärder.....	62
8.9.1	Dimensionering och validering	62
8.9.2	Känslighetsanalys av åtgärder	66
8.9.3	Sammanfattning av åtgärder	67
8.10	Reflektioner	68
9.	Diskussion	69
10.	Sammanfattande åtgärder	71
11.	Referenser	73
Bilaga A - Teori	I	
A.1	Effektutveckling.....	I
A.2	Energimängd vid begränsad syretillgång.....	I
A.3	Brandspridning.....	I
A.4	Mekanisk brandgasventilation	III
A.5	Brandgasluckor.....	IV
A.6	DETECT-T2	IV
A.7	Tvåzonsmodeller.....	V
A.7.1	CFAST	VI
A.8	Simulex.....	VI
A.9	CFD och FDS.....	VI
A.10	Monte Carlo och @RISK.....	VII
Bilaga B - Handberäkningar.....	IX	
B.1	Scenario 1 - Scen i Studioscenen	IX
B.1.1	Mekanisk brandgasventilation	IX
B.1.2	Strålningsberäkningar.....	IX
B.2	Scenario 2 - Obevakad garderob i Studiofoajén	IX
B.2.1	Energimängd vid begränsad syretillgång.....	IX
B.3	Scenario 3 - Teaterfoajén.....	X
B.3.1	Brandgasluckor	X

Bilaga C – Resultat Brandscenario 1, scen i Studioscenen	XI
C.1 Analys av felfungerande detektor	XI
Bilaga D – Resultat Brandscenario 2, obevakad garderob i Studiofoajén	XIII
D.1 Analytiska samband	XIII
D.2 Monte Carlo-simuleringar	XVI
Bilaga E – Resultat Brandscenario 3, teaterfoajén	XXI
E.1 Tillvägagångssätt vid FDS-simulering av Scenario 3	XXI
E.1.1 Resultat.....	XXII
E.2 Känslighetsanalys av tid till brandspridning och cellstorlek	XXV
Bilaga F – Indata för simuleringar	XXIX
F.1 Scenario 1 – Scen i Studioscenen	XXIX
F.1.1 CFAST	XXIX
F.1.2 Validering av CFAST-simuleringar.....	XXX
F.2 Scenario 2 – Obevakad garderob i Studiofoajén	XXXII
F.2.1 CFAST	XXXII
F.2.2 Validering av CFAST-simuleringar.....	XXXIV
F.3 Scenario 3 – Teaterfoajén	XXXVI

1. Inledning

I följande avsnitt presenteras rapportens mål, syfte och avgränsningar. Rapporten utgör ett moment i kursen Brandteknisk riskvärdering, VBR054, på Lunds Tekniska Högskola och genomförs på vårterminen i årskurs tre. Syftet med kursen är att knyta ihop kunskaper från denna kurs med kunskaper från tidigare kurser och tillämpa dessa för att undersöka personsäkerheten vid brand i en byggnad.

1.1 Mål och syfte

Målet med rapporten är att göra en brandteknisk riskvärdering av Storsjöteatern i Östersund. Kontroller kommer att utföras för att se om samtliga som vistas i byggnaden hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppnås vid händelse av brand. Vid bristande personsäkerhet kommer åtgärder att undersökas och föreslås för att förbättra personsäkerheten i byggnaden.

1.2 Avgränsningar

I rapporten kommer endast personsäkerheten på Storsjöteatern att utvärderas vid brand. Ingen hänsyn kommer således att tas till ekonomiska och miljömässiga aspekter eller byggnadens integritet efter utrymning har skett. Således är endast det tidiga brandförloppet intressant för analysen. Endast lokaler tillhörande Storsjöteatern kommer att analyseras och inga angränsande verksamheter kommer tas i beaktning, då dessa är brandtekniskt avskilda från teatern, har egna brandlarm och till större del egna utrymningsvägar. Endast en utrymningsväg är gemensam för Storsjöteatern och angränsande verksamheter, men den kommer endast användas samtidigt vid separata larm från respektive verksamhet. Gemensam utrymning anses inte vara något problem då ett begränsat antal personer från hotellet förväntas använda utrymningsvägen.

2. Objektsbeskrivning

Storsjöteatern är en samlingsplats för kulturevenemang i centrala Östersund. I bygganden sker det tillställningar av varierande slag, bland annat konserter, filmvisningar, banketter, föreläsningar och teaterföreställningar. Byggnaden ägs av Östersund kommun men kommunen anlitar företaget OSD i Östersund AB för att sköta driften. Byggnaden började uppföras 1976 och togs i bruk 1978.

2.1 Överblick

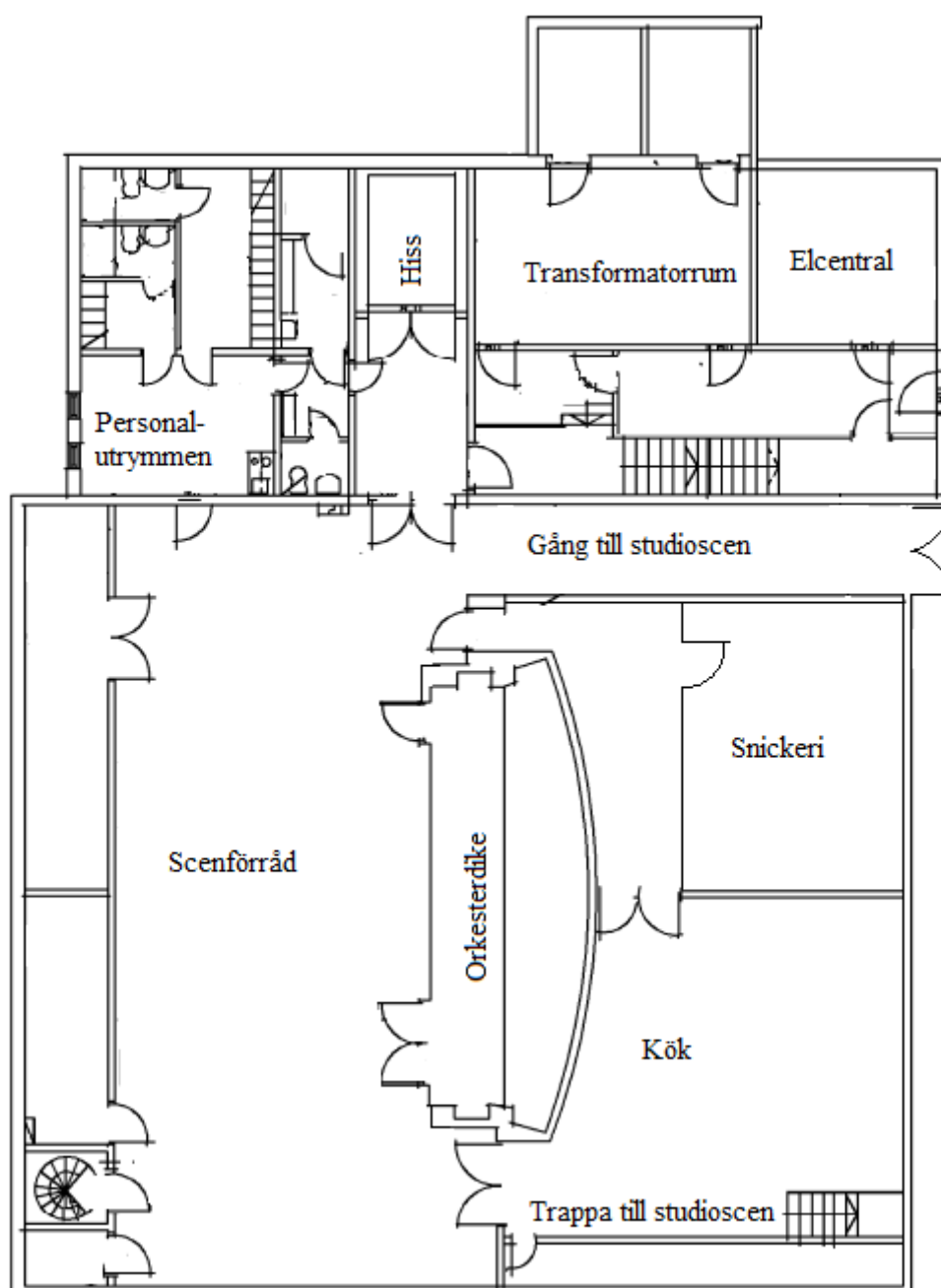
Storsjöteatern angränsar till två andra fastigheter, se figur 1. Teatern utgör den högre delen av byggnaden till vänster i bilden samt den lägre inglasade delen. Den inglasade byggnaden ovanpå teatern är en påbyggnad uppförd 2007 som rymmer Länsförsäkringar Jämtlands kontor. Kontoren har ingen anslutning till teatern och behandlas därför inte vidare i rapporten. Tegelbyggnaden till höger i figuren är Clarion Hotell Grand Östersund. Fastighetsgränsen mellan teatern och hotellet finns markerad i figur 3 och 16. Teatern och hotellet har ett gemensamt trapphus för utrymning mot innergården och genom hotellets foajé. Med motivering enligt avsnitt 1.2 *Avgränsningar* tas ingen hänsyn till Hotell Grand Östersund och dess gäster i rapporten.



Figur 1: Överblick av Storsjöteatern, Länsförsäkringar Jämtlands kontor samt Clarion Hotell Grand Östersund.

2.2 Källarplan

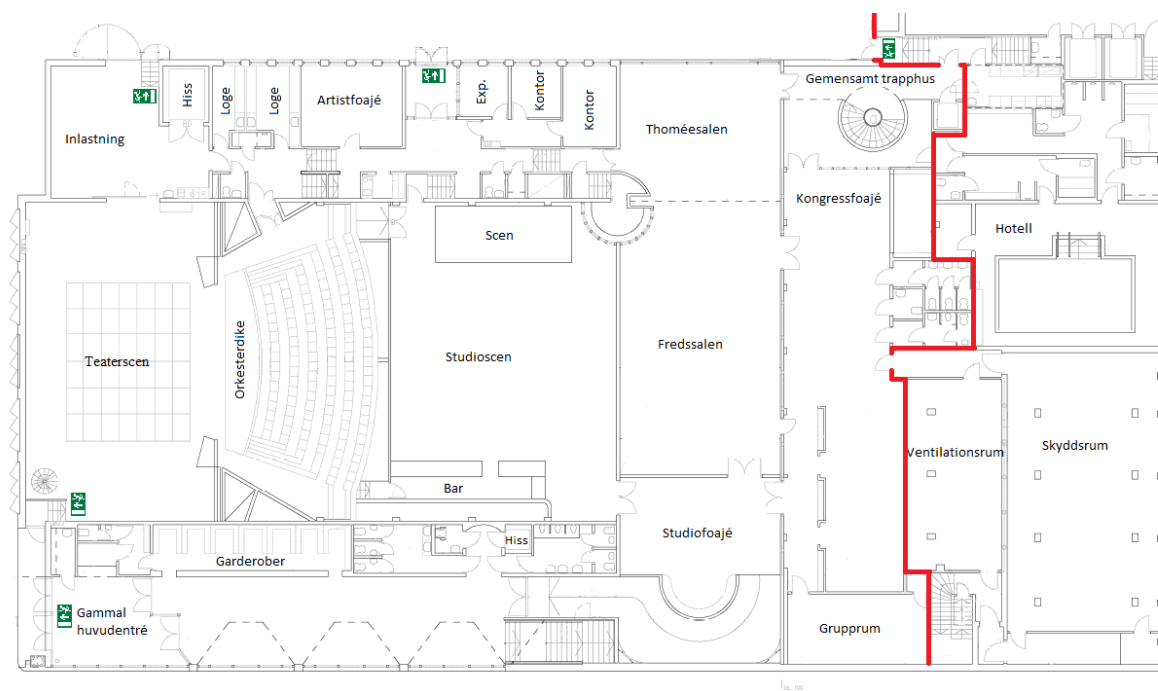
Källarplanet återfinns ett halvt plan nedanför bottenplanet och utgörs till största delen av utrymmet under teaterscenen och teatersalongen, vilket visas i figur 2. I källaren finns flera utrymmen som teaterpersonalen nyttjar samt en elcentral och ett transformatorrum. Det finns ett snickeri för enklare dekorarbeten och ett kök för tillagning av mat till Studioscenen. I scenkällaren som ligger under teaterscenen förvaras rekvisita till föreställningar samt diverse annat material. I dessa lokaler förväntas det endast vistas teater- och serveringspersonal, som antas ha god lokalkännedom.



Figur 2: Skiss av källarplanet.

2.3 Bottenplan

På bottenplan finns teaterscenen, tre kongresslokaler, ett flertal garderobser för gästerna samt ett antal loger och kontor till teaterpersonal, se figur 3. Det finns fem nödutgångar som leder ut ur byggnaden på detta plan varav en är den gamla huvudentrén. Nedan följer en mer ingående beskrivning av de ur brandteknisk synvinkel mer intressanta lokalerna.



Figur 3: Skiss av bottenplanet. Den markerade linjen visar fastighetsgränsen mellan teatern och hotellet.

2.3.1 Teaterscenen

På teaterscenen spelas de stora föreställningarna upp. Scenen har en area på 190 m² och en takhöjd på 16 meter. Möbleringen varierar mycket, allt från enkla uppsättningar utan dekor till stora uppsättningar med avancerad dekor, se figur 4 och 5 för en överblick. Framför scenen finns orkesterdiket som kan höjas och sänkas mekaniskt. Tillträde till scenen sker främst genom inlastningsrummet men det finns även en spiraltrappa i sydvästra hörnet som sammankopplar scenen med scenkällaren. Utrymning från scenen sker via en nödutgång i inlastningsrummet eller via en nödutgång i sydvästra hörnet som leder ut ur byggnaden.



Figur 4: Vy över scenen vid dekorskifte.



Figur 5: Klart för föreställning i teatersalongen.

2.3.2 Studioscenen

Lokalen under teatersalongen benämns som Studioscenen, se figur 6 och 7. Rummet nyttjas till föreställningar, skolsittningar, filmvisningar och banketter. Antalet personer som vistas i lokalen varierar från upp till 150 personer vid banketter och filmvisningar till 90 personer vid skolsittningar (Östersund turist & kongress). Möbleringen varieras beroende på typ av evenemang. Det finns viss permanent möblering så som en bar och en scen. Vid baren finns en anslutning ner till köket på källarplanet. Det finns ytterligare en förbindelse till källarplanet i nordvästra hörnet av rummet, som leder till scenkällaren. Entré till Studioscenen sker via en dörr från Studiofoajén, vilken skymtas i figur 7. Utrymning av Studioscenen sker via entrédörren ut till Studiofoajén eller via en dörr i nordvästra hörnet av rummet som leder upp till personalutrymmena, vilken kan ses i figur 7.



Figur 6: Långbord uppställda i Studioscenen.



Figur 7: Ingången från Studiofoajén.

2.3.3 Studiofoajén

Studiofoajén fungerar som förhall till Studioscenen, Fredssalen, Thoméesalen och Kongressfoajén. Här finns det ett par garderobers så att gästerna har möjlighet att hänga av sig sina ytterplagg, som observeras i figur 9. Studiofoajén är den normala passagen för personer som gästar de olika samlingslokalerna på bottenplan och den är därför väsentlig ur utrymningssynpunkt. Utrymning från Studiofoajén sker via en lutande ramp som leder upp till utrymmet vid den stora garderoben, se figur 8.



Figur 8: Rampen som leder upp till garderoben vid huvudentrén.



Figur 9: Vy över garderoberna och ingången till Studioscenen.

2.3.4 Fredssalen och Thoméesalen

Lokalen bredvid Studioscenen kallas Fredssalen och används främst som konferens- och möteslokal, se figur 10 och 11. Rummet kan delas upp i två salar med hjälp av en skjutvägg och då kallas den mindre salen för Thoméesalen. Förutom konferenser och möten anordnas det även filmvisningar, skolsittningar och banketter i denna sal. Under dessa evenemang kan det vistas upp till 150 gäster i Fredssalen och 50 gäster i Thoméesalen (Östersund turist & kongress). Möbleringen varierar beroende på evenemang och det kan vara långbord vid sittningar såväl som stolsrader vid filmvisningar. Det finns två av varandra oberoende utrymningsvägar från vardera salen. Ingång till Freds- och Thoméesalen sker normalt via Studiofoajén.



Figur 10: Fredssalen är möblerad för möte.



Figur 11: Dörren mellan Fredssalen och Studiofoajén.

2.3.5 Kongressfoajén

I Kongressfoajén har gästerna möjlighet att mingla under pauser. Lokalen är belägen intill Fredssalen och lokalerna är förbundna med två dörrar. Möblemang i Kongressfoajén består av sittgrupper med bord och stolar, vilket ses till vänster i figur 12. I lokalen finns det även en liten garderobsdel där gästerna har möjlighet att hänga sina ytterkläder, se figur 13. Entré till Kongressfoajén sker via Studiofoajén. Utrymning från Kongressfoajén sker dels via Studiofoajén och dels via det gemensamma trapphuset.



Figur 12: Sittplatser samt skylt som visar utgången mot Studiofoajén.



Figur 13: Dörren mot det gemensamma trapphuset samt garderobsdelen.

2.3.6 Garderoben

Vid föreställningar har teatergästerna möjlighet att lämna sina ytterkläder till förvaring i garderoben, till höger i figur 14. Garderoben ligger i anslutning till den gamla huvudentrén på bottenplan. Sedan den nya huvudentrén togs i bruk behöver gästerna först gå ned en våning för att lämna sina jackor i garderoben och sedan gå upp igen för att ta sig till teatersalongen, se figur 15. Garderoben har plats för ca 400 jackor och är alltid bevakad av teaterpersonal¹.



Figur 14: Vy över gamla huvudentrén, till höger syns garderoben.

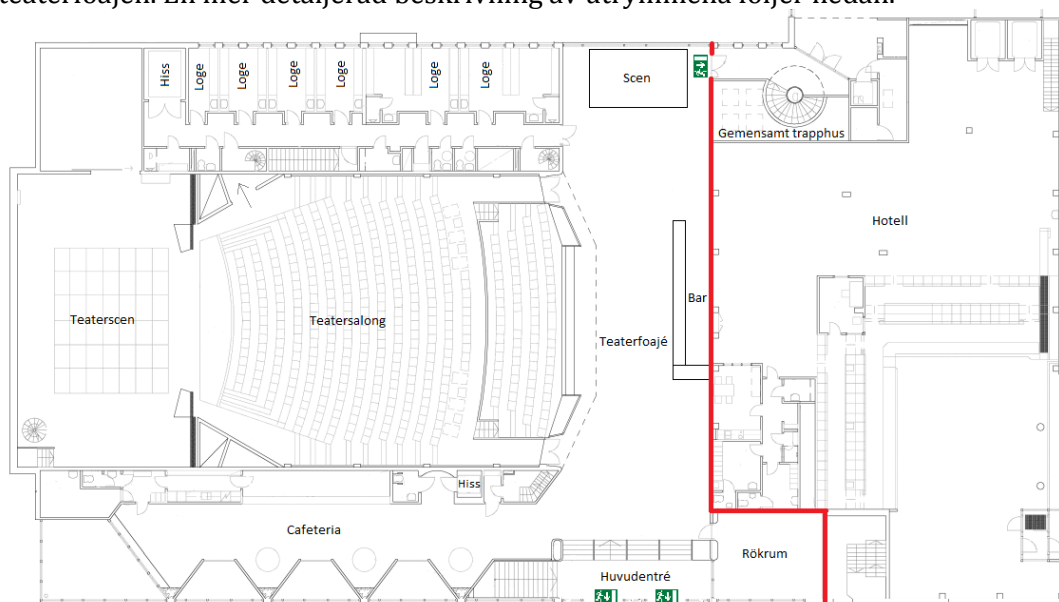


Figur 15: Dörren ned till Studiofoajén samt trappan upp till huvudentrén.

¹ Lars Karlsson, avdelningsansvarig, OSD i Östersund AB, samtal 2013-02-11.

2.4 Plan 1

Figur 16 visar en skiss av plan 1. På plan 1 finns huvudentrén som är den ordinarie ingången för besökare till de olika lokalerna i Storsjöteatern. Här finns även teaterfoajén som är sammankopplad med cafeterian. Resten av planet består av teatersalongen samt en korridor med loger till artister. Ingång till teatersalongen sker via två dörrar från teaterfoajén. En mer detaljerad beskrivning av utrymmena följer nedan.



Figur 16: Skiss av plan 1. Den markerade linjen visar fastighetsgränsen mellan teatern och hotellet.

2.4.1 Teaterfoajén

Foajén är en plats där gästerna från teatersalongen har en möjlighet att mingla vid pauser, se figur 17. Här finns en bar för servering av dryck och tilltugg, se figur 18, samt ett antal sittplatser och ståbord. I foajén finns det även en scen då lokalen också går att hyra för bland annat skolsittningar och filmvisningar. Vid en skolsittning finns det plats för 90 personer och vid en filmvisning kan det vara 150 besökare (Östersund turist & kongress). Vid föreställning i teatersalongen sker dock inga evenemang i teaterfoajén². Från foajén finns det två utrymningsvägar, antingen via huvudentrén eller via det gemensamma trapphuset.



Figur 17: Många bord och stolar i teaterfoajén.

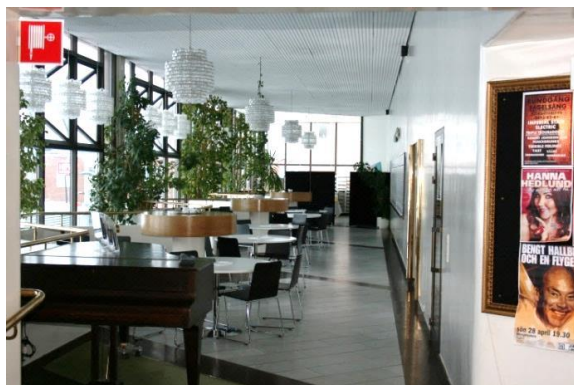


Figur 18: Baren i teaterfoajén.

² Lars Karlsson, avdelningsansvarig, OSD i Östersund AB, samtal 2013-02-11.

2.4.2 Cafeterian

Cafeterian är en mingellokal som är sammanbunden med teaterfoajén, se figur 19 och 20. I anslutning till cafeterian finns det en bar och ett litet diskrum. I cafeterian står det en flygel och det finns även bord och stolar med plats för cirka 30 personer. Utrymning från cafeterian sker via huvudentrén.



Figur 19: Cafeterian sett från teaterfoajén.



Figur 20: Bord och stolar står utplacerade i cafeterian.

2.4.3 Teatersalongen

Salongen är teaterns hjärta och det är här de stora föreställningarna visas. Figur 21 och 22 visar teatersalongen sett från scenen. Lokalen har plats för 426 sittande besökare, varav tre platser är anpassade för personer med funktionsnedsättning. Entré till salongen sker via dörrar i vardera änden av teaterfoajén. Utrymning sker dels via dörrarna upp till teaterfoajén och dels via en dörr i salongens lägre del som leder till kontorsdelen, se figur 3 och 16.



Figur 21: Teatersalongen sett från scenen.



Figur 22: En av dörrarna som leder ut till teaterfoajén.

3. Befintligt brandskydd

Nedan följer en beskrivning av det befintliga brandskyddet på Storsjöteatern.

3.1 Teaterscenens brandskydd

Under pågående föreställningar avskiljs scenen från inlastningen med en brandport. Det finns även en brandskyddsridå för att avskilja scenen från resten av salongen, som vaktmästaren eller annan ansvarig ur personalen ska fälla ned vid en eventuell brand genom en tryckknapp på scenen eller från kontrollrummet. Brandskyddsridån kyls med en sprinkler som är placerad ovanför, vilket är ett krav om scenen är större än 120 m² (Brandteknik). Besiktning av brandskyddsridån sker för att säkerställa dess funktion.

3.2 Fastighetsindelning

Fastighetsindelningen är tredimensionell där teaterlokalerna skiljs från hotellet och kontorsbyggnaden. Bjälklag och väggar mellan hotellet och teatern har brandteknisk klass REI 60.

3.3 Detektion och utrymningslarm

Branddetektion sker med rök- och värmedetektorer som är kopplade till centralapparaten. Vid detektion har vaktmästaren en minut på sig att kvittera larmet och därefter två minuter för att kontrollera orsaken till larmet innan räddningstjänsten larmas. Larmet aktiveras samtidigt i hela teaterbyggnaden. Vid teaterföreställningar med rök- eller pyrotekniska specialeffekter stängs detektorerna i salongen av i högst 90 minuter och under tiden finns brandvakter. Utrymningslarmet har ett talat meddelande tillsammans med en siren och provkörs fyra gånger per år av Östersunds kommun.

3.4 Utrymningsvägar

Storsjöteatern har ett flertal utrymningsvägar som visas i figur 3. Utrymningsdörrarna har varierande bredder från 0,9 till 1,8 meter och är tydligt utmärkta. Dörrarna öppnas med vanliga dörrhantag förutom huvudentrén som har panikreglar.

3.5 Brandgasventilation och ventilationssystem

I teatersalongen finns brandgasventilation i form av luckor som är placerade på väggen ovanför teaterscenen. Brandgasventilationen styrs manuellt av räddningstjänsten från centralapparaten och är fullt öppen två till tre minuter efter aktivering. Besiktning sker årligen.

Storsjöteaterns ventilationssystem består av ett till- och frånluftssystem som till viss del är förenad med ventilationen från Clarion Hotell Grand Östersund. Ventilationssystemet saknar brandspjäll men stängs av automatiskt vid en brand då de vanliga rök- eller värmedetektorerna aktiveras.

3.6 Rutiner och systematiskt brandskyddsarbete

Tillsyn av Storsjöteaterns lokaler sker regelbundet av Räddningstjänsten Jämtland. Östersunds kommun ansvarar för att brandskyddet regelbundet kontrolleras. Personalen på teatern har ingen utbildning inom brandskydd och inga övningar görs. Anledningen till detta är att personalen ständigt ändras mellan olika evenemang³.

³ Lars Karlsson, avdelningsansvarig, OSD i Östersund AB, samtal 2013-02-11.

3.7 Övrigt brandskydd

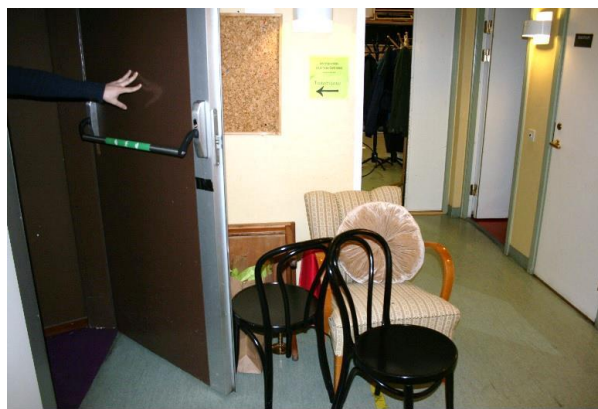
Ett antal handbrandsläckare finns utplacerade på strategiska platser i lokalerna. Det finns även detektorer utplacerade på strategiska platser i fastigheten, vilket gör att byggnaden har ett fullgott detektionssystem. Draperierna i teatersalongen är impregnerade med brandskyddsmedel för att bättre kunna motstå en eventuell brand⁴.

3.8 Observerade brister

Under studiebesöket på teatern observerades brister i brandskyddet. Senare under samma dag som studiebesöket skedde skulle en ny föreställning visas vilket gjorde att omfattande städ- och flyttningsarbete pågick och det fanns utrymningsvägar som var helt eller delvis blockerade av bland annat möbler. Vid den tiden på dagen rörde sig endast personal i byggnaden men utrymningsvägarna bör ändå hållas fria. Utrymningsvägen bredvid inlastningen till teaterscenen var vid besöket helt blockerad, vilket kan ses i figur 23.



Figur 23: Blockerad utrymningsväg vid inlastningen till teaterscenen.



Figur 24: Blockerad utrymningsväg mot kontor och loger från teatersalongen

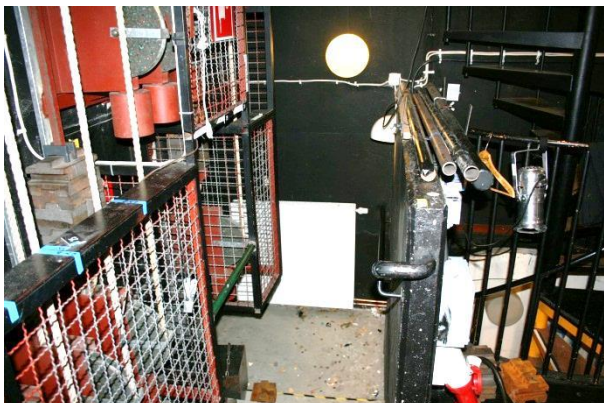
Även utrymningsvägen i den nedre delen av teatersalongen var blockerad då möbler på utsidan förhindrade öppning, se figur 24. På insidan av utrymningsvägen var elkablar dragna, vilka kan utgöra en risk för att snubbla vid utrymning, se figur 25. Dörren leder dessutom via en helt obelyst sluss ut i korridoren vid logerna vilket är olämpligt då låg belysningsnivå förlänger utrymningstiden (Frantzich, 2001).



Figur 25: Utrymningsväg från nedre delen av teatersalongen.

⁴ Lars Karlsson, avdelningsansvarig, OSD i Östersund AB, samtal 2013-02-11.

Den andra utrymningsvägen från scenen, i motsatt ända från inlastningen är också problematisk. Bredden på utrymningsvägen är endast 0,6 meter och var svår att låsa upp då vredet var trögt. För att dörren ska smälta in i fasaden är utsidan beklädd med stenplattor vilket gör det tungt att öppna dörren även när den är upplåst. Utrymningsvägen och dörrbeslaget visas i figur 26 och 27.



Figur 26: Utrymningsväg från teaterscenen.



Figur 27: Dörrbeslag till utrymningsväg från scenen.

4. Metod

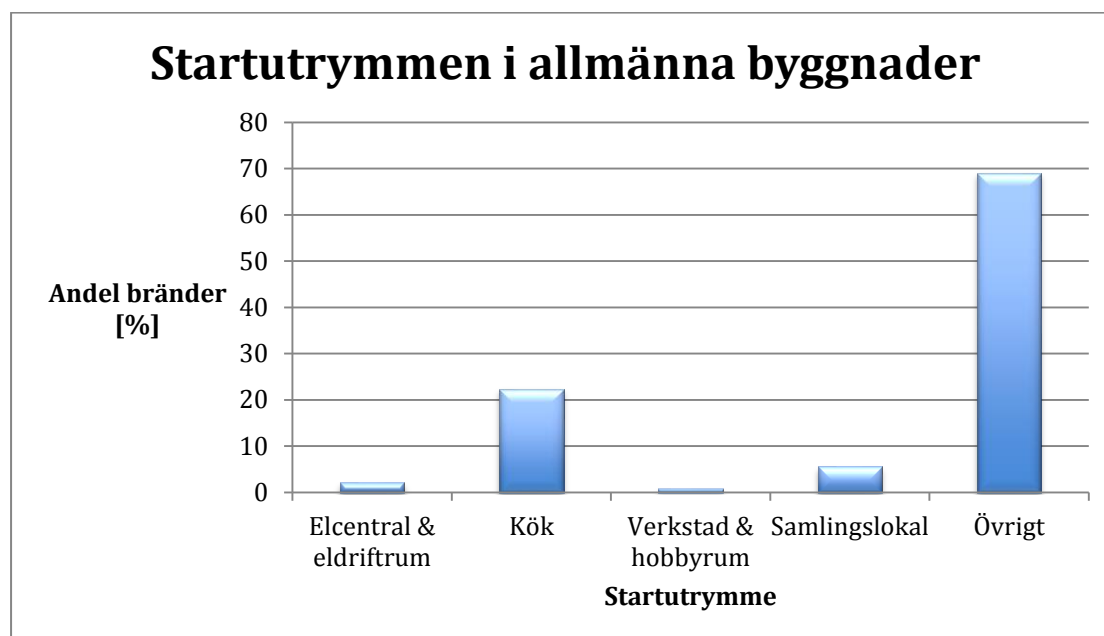
Nedan beskrivs de metoder som har använts för att analysera personsäkerheten vid händelse av brand i Storsjöteaterns lokaler.

4.1 Grovanalys

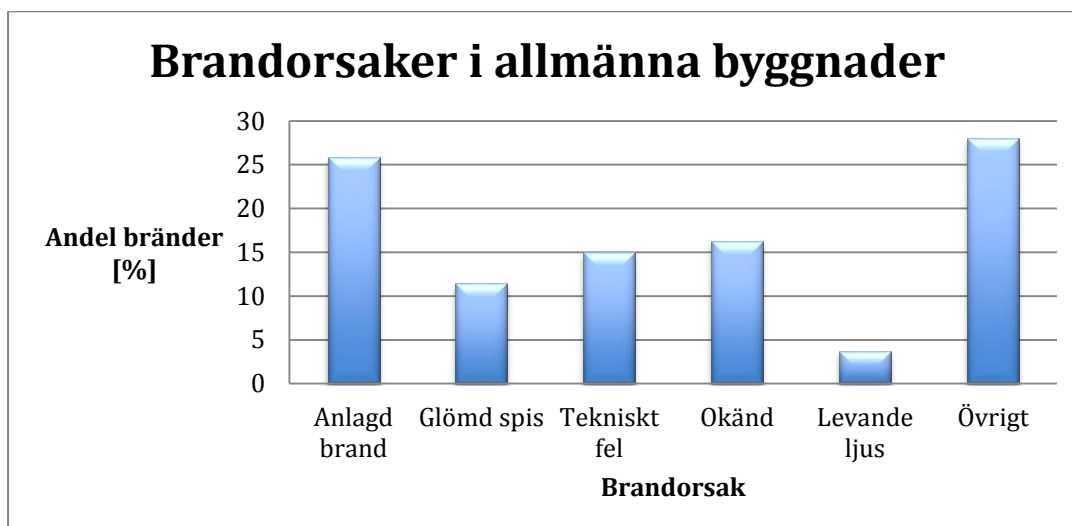
Analysen inleddes med en identifiering av tänkbara brandscenarier. Specifik statistik krävs för att föra ett kvantitativt resonemang gällande bedömningen av brandsceniernas sannolikhet och konsekvens. Då ingen sådan statistik fanns att tillgå användes ett kvalitativt och därmed mer subjektivt tillvägagångssätt för uppskattning av brandsceniernas sannolikhet och konsekvens. Brandscenierna bedömdes efter sannolikhet och konsekvens enligt skalan nedan. Graderingen är endast inbördes relativ och är därför inte ett absolut mått på sannolikhet och konsekvens.

- Mycket hög
- Hög
- Medel
- Låg
- Mycket låg

Sannolikheten för de olika scenarierna bedömdes med utgångspunkt från statistik över startutrymmen samt brandorsaker i allmänna byggnader, se figur 28 och 29, och egna resonemang.



Figur 28: Fördelning över startutrymmen för brand i allmänna byggnader mellan åren 1998 och 2011 (MSB).



Figur 29: Fördelning över brandorsaker i allmänna byggnader mellan åren 1998 och 2011 (MSB).

Vid bränder i allmänna byggnader mellan åren 1998 och 2011 var det vanligaste startutrymmet kök, se figur 28. Det kan konstateras att förekomsten av bränder i kök var betydligt högre än i andra utrymmen. Sannolikheten för brand i kök bedömdes därför vara mycket hög när brandscenerierna utvärderades i grovanalysen. Det kan observeras i figur 29 att anlagd brand är den vanligast förekommande brandorsaken i allmänna byggnader under åren 1998-2011 följt av okänd orsak och tekniskt fel.

Vid bedömning av konsekvens togs några viktiga aspekter i beaktning. De presenteras nedan med den aspekt som påverkade konsekvensen mest överst:

1. Om branden var belägen i alternativt blockerade en utrymningsväg eller inte.
2. Antalet personer som vistades i och kring brandens startlokal.
3. Hur stor brandbelastning och vilka material som fanns i lokalen.

Efter att brandsceneriernas sannolikhet och konsekvens bedömts rangordnades de i en riskmatris.

4.2 Val av brandscenerier

Utifrån riskmatrisen valdes de scenarier som bedömdes vara värst ur utrymningsynpunkt för en mer genomgående granskning. Vid valet av dessa scenarier låg tyngden på konsekvensen, eftersom scenarier med hög sannolikhet och låg konsekvens inte var intressanta ur utrymningsynpunkt. De scenarier med mycket låg och låg konsekvens ansågs påverka få människor, vilket innebar att även dessa scenarier blev ointressanta i ett utrymningsperspektiv. Hänsyn togs även till att i största möjliga mån täcka in konsekvensen av andra scenarier med de scenarier som valdes för vidare undersökning. Detta tillvägagångssätt kallas att täcka in scenariorymden. Begreppet scenariorymd innefattar alla scenarier som kan inträffa i det aktuella systemet (Johansson & Jönsson, 2007).

4.3 Beräkning av tillgänglig tid

När valet av brandscenarier var utfört påbörjades en mer genomgående granskning av de utvalda scenarierna. För att bedöma hur lång tid personer hade på sig att utrymma vid de olika scenarierna användes acceptanskriterier, se tabell 1, hämtade från Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BBRAD 1. För att en tillfredsställande utrymning skulle kunna genomföras behövdes kriterium 1 eller 2 samt kriterium 3-6 vara uppfyllda, vilket innebar att utrymning genom brandgaser i vissa fall kunde accepteras (Boverket 1). Vid beräkning av tillgänglig tid för utrymning användes modelleringsprogram för att avgöra när acceptanskriterierna ej längre uppfylldes och kritiska förhållanden därmed hade uppnåtts.

Tabell 1: Nivå för kritisk påverkan vid analys av utrymningssäkerhet (Boverket 1).

Kriterium	Nivå
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv	Lägst $1,6 + 0,1 \times \text{rumshöjden}$
2. Siktbarhet, 2,0 m ovan golv	Minst 10,0 m i utrymmen $> 100 \text{ m}^2$ Minst 5,0 m i utrymmen $\leq 100 \text{ m}^2$. Kriteriet kan även tillämpas för situationer där köbildning inträffar i ett tidigt skede vid den plats kön uppstår.
3. Värmedos	Max 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m^2
4. Temperatur	Max 80°C
5. Värmestrålning	Max $2,5 \text{ kW/m}^2$
6. Toxicitet, 2,0 m ovan golv	Kolmonoxidkoncentration (CO) $< 2000 \text{ ppm}$ Koldioxidkoncentration (CO_2) $< 5 \%$ Syrgaskoncentration $> 15 \%$

4.4 Beräkning av utrymningstid

Vid händelse av brand och utrymning reagerar olika individer på olika sätt. Att utrymma en byggnad är för många en ovanlig situation och därför kan det vara svårt att veta hur samtliga individer reagerar. För att ta hänsyn till dessa fenomen när tid för utrymning skulle beräknas användes en modell där utrymningen delades upp i tre olika stadier som kallas varseblivning, beslut och reaktion samt förflyttning. Alla individer genomgår dessa tre stadier vid en nödsituation som resulterar i en utrymning. Summan av de tre stadierna blir utrymningstiden, se ekvation 1 (Frantzich, 2001).

$$t_{\text{utrymning}} = t_{\text{varseblivning}} + t_{\text{beslut och reaktion}} + t_{\text{förflyttning}} \quad (1)$$

4.4.1 Varseblivning

Varseblivning är den tid det tar från att branden startar till att individen blir medveten om händelsen. Detta kan till exempel ske genom att individen ser branden eller hör ett utrymningslarm (Frantzich, 2001). För att beräkna varseblivningstiden uppskattades tiden till detektoraktivering med hjälp av modelleringsprogram. Detektoraktivering antogs ske vid en temperaturökning på 13°C , vilket är ett vanligt antagande (Nilsson & Holmstedt, 2008). Då detektoraktivering skett ansågs varseblivningsstadiet vara över.

4.4.2 Beslut och reaktion

När individen blir medveten om händelsen påbörjas stadiet "beslut och reaktion". Här avses den tid det tar innan individen börjar förflytta sig mot en utrymningsväg. Under detta stadie är varje individ unik. Alla beter sig olika och kan genomföra en mängd olika aktiviteter innan själva utrymningen påbörjas (Frantzich, 2001).

Tiden för beslut- och reaktionsstadiet grundades på schablontider för vissa typer av byggnader eller lokaler, hämtade från litteratur, och egna resonemang angående speciella förutsättningar i varje scenario. Några faktorer som påverkade bedömningen av tiden för beslut- och reaktionsstadiet var följande:

- Beslut- och reaktionsstadiet är generellt sett kortare för talat meddelande än för andra larmtyper så som larmklockor (Andersson & Wadensten, 2002).
- Servering av alkohol förlänger tiden för besluts- och reaktionsstadiet. Alkohol gör individen sömnigare, påverkar dess kognitiva funktioner och dess förmåga att tänka klart (Tokley, 2009).

4.4.3 Förflyttning

Förflyttningen, som är det sista stadiet i utrymningen, avser den tid det tar för individen att ta sig till en säker plats. Skillnaden mellan de olika individerna är inte lika stor och osäker under detta stadie som under stadiet "beslut och reaktion" (Frantzich, 2001). För att beräkna tiden för förflyttningsstadiet användes utrymningsprogrammet Simulex, som beskrivs i bilaga A.

Gånghastigheten för personerna i programmet sattes till 1,3 m/s, vilket är ett vanligt använt värde vid utrymningssimuleringar. I simuleringarna använde 70 % av personerna huvudentrén som utrymningsväg och 30 % använde den alternativa utrymningsvägen, vilket är en vanlig uppskattning som görs vid utrymningssimuleringar (Andersson & Wadensten, 2002). Ingen hänsyn togs till att personer kan ha varierande gånghastigheter då köbildning uppstod i ett tidigt skede.

4.5 Beräkning av tidsmarginal

För att en utrymning skulle kunna genomföras på ett säkert sätt behövde den tillgängliga tiden vara större än den tid det tog att utrymma. Tidsmarginalen beräknades således med hjälp av ekvation 2 nedan.

$$t_{\text{tidsmarginal}} = t_{\text{tillgänglig}} - t_{\text{utrymning}} \quad (2)$$

4.6 Två kvantitativa metoder

Två olika typer av kvantitativa metoder för beräkning av tidsmarginalen användes i denna rapport och de beskrivs närmare nedan.

4.6.1 Probabilistisk analys

Två av de identifierade scenarierna analyserades med en probabilistisk analys. Vid en probabilistisk analys används sannolikhetsfördelningar för ingående variabler för att ta hänsyn till osäkerheten i varje variabel. Detta innebär att resultaten erhålls i form av sannolikheter (Nystedt, 2000). Fördelningar motiverades med hjälp av litteratur och egna resonemang kring varje variabel.

En inledande känslighetsanalys gjordes i varje scenario för att kontrollera om brandens maxeffekt eller tillväxthastighet hade störst inverkan på den tillgängliga tiden och därför skulle undersökas vidare.

För varje scenario som behandlades probabilistiskt utfördes simuleringar i tvåzonsmodellen CFAST, som beskrivs i bilaga A. I programmet varierades antingen brandens maxeffekt eller tillväxthastighet, för att ta fram ett analytiskt samband för tillgänglig tid. Det analytiska sambandet erhöles genom regressionsanalys av resultaten för tillgänglig tid från CFAST. I de fall där kritiska förhållanden aldrig uppnåddes gjordes ingen vidare fördjupning av scenariot. Istället drogs då slutsatsen att utrymning kunde ske säkert. I de fall där kritiska förhållanden uppnåddes gjordes en mer ingående utredning med hjälp av det framtagna analytiska sambandet för tillgänglig tid.

Det analytiska sambandet för varseblivningstiden togs också fram genom regressionsanalys, på samma sätt som sambandet för tillgänglig tid. Tiden till detektoraktivering uppskattades med hjälp av CFAST, där samma variabel varierades som användes i undersökningen av tillgänglig tid.

En fördelning på beslut- och reaktionstid bestämdes med hjälp av schablonvärden och egna resonemang med utgångspunkt från varje scenario.

Förflyttningstiden togs fram med hjälp av simuleringar i Simulex. Antalet personer var den variabel som varierades vid simulering av förflyttningstiden. Ett analytiskt samband erhöles genom regressionsanalys av resultaten för förflyttningstiden.

För att fortplanta alla osäkerheter i de ingående variablerna till slutresultatet, i form av tidsmarginalen, användes programmet @RISK. Alla framtagna fördelningar fördes in i ekvation 2 och itererades 5000 gånger i programmet med metoden Monte Carlo. För beskrivning av @RISK och Monte Carlo-metoden, se bilaga A.

Resultatet av de probabilistiska analyserna visade i hur stor andel av de 5000 itereringarna som en säker utrymning kunde genomföras. Resultatet visade även vilken ingående fördelning som till störst del påverkade resultatet. Känslighetsanalyser utfördes för att undersöka hur beroende resultatet var av olika parametrar. En riskvärdering gjordes och åtgärder föreslogs om andelen fall med negativ tidsmarginal var oacceptabelt hög. Termen "oacceptabelt hög" bedömdes utifrån varje scenario. Åtgärderna som föreslogs innebar en ny fördelning på den tillgängliga tiden och tillämpades, precis som tidigare, i ekvation 2 och simulerades med metoden Monte Carlo. Om andelen fall med negativ tidsmarginal fortfarande var oacceptabelt hög föreslogs en annan åtgärd och processen återupprepades. Om tidsmarginalen däremot bedömdes som acceptabel ansågs åtgärden vara verifierad.

Åtgärdens känslighet för förändringar av förutsättningarna kontrollerades i en känslighetsanalys, där värdet på brandens maxeffekt ökades. Om åtgärden gjorde att tidsmarginalen ansågs acceptabel även efter känslighetsanalysen fastställdes åtgärdsförslaget.

4.6.1.1 Händelseträdsmetodik

Vid fördjupning av ett av scenarierna som behandlades probabilistiskt användes händelseträdsmetodik. Metodiken utgår från en starthändelse, till exempel att en brand uppkommer. Beroende på olika händelser formas en mängd delscenarier. Med hjälp av sannolikheter för varje händelse erhålls en sannolikhet för varje delscenario (Nystedt, 2000).

I scenariot där denna metod användes var starthändelsen en brand och händelserna var olika dörrkonfigurationer. Metoden användes för att hänsyn skulle tas till de olika dörrkonfigurationernas påverkan på brandgasspridningen.

Tidsmarginalen för varje delscenario erhöles enligt arbetsättet som beskrevs i avsnitt 4.5 *Beräkning av tidsmarginal*. Resultatet för hela scenariot beräknades genom att multiplicera sannolikheten för varje delscenario med andelen fall där säker utrymningen kunde genomföras och sedan summera dessa. Då erhöles sannolikheten att säker utrymning kunde genomföras i scenariot.

4.6.2 Deterministisk analys

Ett av de identifierade scenarierna analyserades med en deterministisk analys. Vid en deterministisk analys används punktskattningar på alla variabler, vilket innebär att enstaka värden erhöles som resultat (Nystedt, 2000). Punktskattningarna motsvarade värden för ett "värsta troligt" brand- och utrymningsscenario. Det deterministiska tillvägagångssättet användes då lokalens geometri inte tillät att tvåzonsmodeller användes för att simulera tillgänglig tid, enligt kriterierna i tabell 10 i bilaga A. Istället användes modelleringsprogrammet FDS, som beskrivs i bilaga A, vilket var mer tidskrävande och därför omöjliggjordes ett stort antal upprepade simuleringar.

Tiden till detektoraktivering beräknades också med modelleringsprogrammet FDS. Denna tid användes som varseblivningstid i ekvation 1. För tillvägagångssätt för beslut- och reaktionstid samt förflyttningstid, se avsnitt 4.4.2 *Beslut och reaktion* samt 4.4.3 *Förflyttning*. Då tillgänglig tid och tid för utrymning beräknats erhöles tidsmarginalen genom ekvation 2.

Resultatet av den deterministiska analysen gav en konservativ skattning av tidsmarginalen då höga men inte orimliga värden på de ingående variablerna användes. Osäkerheterna i de ingående variablerna behandlades endast till viss del då "värsta troliga" värden valdes. Därför krävdes en diskussion av hur dessa osäkerheter påverkade resultatet vid en deterministisk analys.

Om tidsmarginalen var negativ föreslogs en åtgärd. Åtgärden simulerades i FDS och gav en ny punktskattning för den tillgängliga tiden. Med hjälp av den nya punktskattningen erhöles ett nytt värde på tidsmarginalen. Om tidsmarginalen blev negativ föreslogs en ny åtgärd och processen upprepades. Blev tidsmarginalen positiv ansågs åtgärden vara verifierad.

En känslighetsanalys av åtgärden utfördes genom att antingen höja brandens maxeffekt eller blockera en nödutgång och ändra andelen som valde en viss utrymningsväg. Om tidsmarginalen förblev positiv fastställdes åtgärdsförslaget.

5. Grovanalys av brandscenarier

Nedan följer en grovanalys av möjliga brandscenarier som kan uppstå i Storsjöteaterns lokaler. En mer ingående beskrivning av tillvägagångssättet ges i avsnitt 4.1 *Grovanalys*.

5.1 Källarplan

Här beskrivs brandscenarierna för de utrymmen som är placerade på källarplanet.

5.1.1 Transformatorrum

Då tekniska fel är en vanlig brandorsak i allmänna byggnader är det förhållandevis sannolikt att en brand startar i transformatorrummet. En brand i detta rum kan vara svårupptäckt, på grund av avsaknaden av detektorer. Eftersom rummet är placerat i källarplanet, där väldigt få personer vistas vanligtvis, kommer detta scenario inte påverka en utrymning nämnvärt.

Sannolikhet: Medel

Konsekvens: Låg

5.1.2 Scenkällaren

I scenkällaren lagras stora mängder material, vilket gör att brandbelastningen i detta utrymme blir väldigt hög. Rummet är dock inte tillgängligt för allmänheten, vilket gör att sannolikheten för en eventuell brand inte är särskilt hög. Vid brand kommer en del av brandgaserna att spridas upp till teaterscenen genom springor i taket. Det antas dock inte vara tillräckligt för att påverka en utrymning av teatersalongen ovanför negativt.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Låg

5.1.3 Kök tillhörande Studioscenen

Sannolikheten att en brand startar i ett kök är mycket hög, se figur 28. Vid en brand i köket kommer en viss brandgasspridning att ske till Studioscenen, som ansluter till köket via en trappa. Denna spridning kommer dock inte vara tillräcklig för att påverka utrymningen, dels på grund av den låga brandbelastningen i köket och dels på grund av avståndet som brandgaserna ska färdas för att nå gästerna i studioscenen.

Sannolikhet: Mycket hög

Konsekvens: Mycket låg

5.1.4 Snickeri

I snickeriet utförs diverse dekorarbete. Här finns många antändningskällor, så som maskiner, och miljön är mycket dammig. Därför bedöms sannolikheten för en brand vara hög. Brandbelastningen är relativt hög, då det finns mycket material som bearbetas i rummet. Vid brand sker spridningen av brandgaser via köket tillhörande Studioscenen. Då brandbelastningen är högre än i köket, men avståndet som brandgaserna ska färdas är längre, ges samma konsekvens som för scenariot ovan.

Sannolikhet: Hög

Konsekvens: Mycket låg

5.2 Bottenplan

Här beskrivs brandscenarierna för de utrymmen som är placerade på bottenplanet.

5.2.1 Teaterscenen

På scenen i teatersalongen utförs en mängd olika shower, med både blandad brandbelastning och antändningsrisk. Risken att en brand ska starta här bedöms vara relativt hög, då det är en dammig miljö, det finns många maskiner som kan bli varma och det förekommer användande av pyroteknik. Vid brand på teaterscenen anses det att utrymningen för scenpersonalen eller besökarna i salongen inte påverkas nämnvärt. Utrymningsvägarna är många och breda samtidigt som scenen kan bli en egen brandcell. Dessutom är utrymmena stora, vilket gör att det krävs stora mängder brandgaser för att påverka utrymningen.

Sannolikhet: Hög

Konsekvenser: Låg

5.2.2 Inlastning

Vid inlastningen förvaras en del rekvisita, som riskerar att både ge en hög brandbelastning samt blockera den naturliga utrymningsvägen för scenpersonalen vid brand. Branden påverkar dock inte gästerna i teatersalongen tack vare den brandklassade skjutporten vid scenen, vilket gör att konsekvensen anses vara låg. Här finns inga uppenbara tändkällor och det vistas scenpersonal i utrymmet, vilket gör att sannolikheten bedöms vara låg.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Låg

5.2.3 Garderob vid huvudentrén

Vid en fullsatt föreställning kommer brandbelastningen i garderoben vara hög. Eftersom garderoben är bevakad genom hela föreställningen och dessutom försedd med detektorer kommer en eventuell brand upptäckas i ett tidigt skede och en första släckinstats kan påbörjas. Sannolikheten att en brand utbryter i garderoben bedöms därför vara mycket låg. Om branden inte släcks kan dock utrymningen från plan 1 påverkas och konsekvenserna kan bli mycket stora på grund av den höga brandbelastningen.

Sannolikhet: Mycket låg

Konsekvens: Mycket hög

5.2.4 Pentry vid logerna

Som tidigare konstaterats är sannolikheten för att en brand ska starta i ett kök mycket hög. Brandbelastningen i pentryt är låg och utrymmet är försett med en detektor. Därför anses en brand i pentryt inte påverka utrymningen nämnvärt, trots att pentryt är placerat nära den ordinarie nödutgången för scenpersonalen.

Sannolikhet: Mycket hög

Konsekvens: Låg

5.2.5 Expedition

Brandbelastningen i expeditionen är relativt låg och består mest av papper och ett skrivbord. Utrymmet ligger dock precis intill den ordinarie nödutgången för scenpersonalen, vilket gör att en viss brandgasspridning kommer ske till utrymningsvägen. Brandgasspridningen bedöms dock inte vara tillräcklig för att påverka utrymningen nämnvärt, då brandbelastningen är låg och få människor vistas i den berörda delen av byggnaden. Här finns inga uppenbara tändkällor och det vistas teaterpersonal i utrymmet, vilket gör att sannolikheten bedöms vara låg.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Låg

5.2.6 Fredssalen

Det mest sannolika anses vara att en brand uppkommer framme vid scenen i Fredssalen, där den större delen av elektroniken finns. Vid en sådan brand blockeras den ordinarie utrymningsvägen för gästerna i salen. Det, i kombination med det stora antalet gäster i salen, gör att det finns en risk att utrymningen ska påverkas av en brand.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Medel

5.2.7 Thoméesalen

Detta är ett relativt litet utrymme med plats för många gäster. En eventuell brand i Thoméesalen skulle innebära att utrymmet kan rökfyllas snabbt. Därför finns det en risk att utrymningen påverkas. Sannolikheten för att en brand startar bedöms vara låg då lokalen saknar uppenbara tändkällor.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Medel

5.2.8 Scen i Studioscenen

Lokalen Studioscenen är relativt litet sett till det antal gäster, 150 stycken, som tillåts i utrymmet. Dessutom är det lågt i tak, vilket gör att utrymmet kan rökfyllas snabbt. Brandbelastningen och antändningsrisken på scenen varierar, men kan vara hög vid vissa aktiviteter. Både väggar och tak är svartmålade i Studioscenen och kan därmed bidra till att sikten blir nedsatt vid en utrymning. Sett till alla dessa faktorer anses det finnas en betydande risk för att utrymningen påverkas negativt vid en brand på eller i anslutning till scenen i Studioscenen.

Sannolikhet: Medel

Konsekvens: Hög

5.2.9 Grupprum

Sannolikheten för att en brand ska inträffa i grupprummet bedöms vara låg, då uppenbara tändkällor saknas. Sannolikheten för anlagd brand bedöms också vara låg på grund av den låga brandbelastningen och rummets position i byggnaden. Det saknas detektor i rummet, vilket innebär att en brand kan pågå länge innan den upptäcks. Detta kan leda till ett väldigt snabbt brandförlopp när dörren till grupprummet väl öppnas och riskerar därmed att påverka en eller möjligtvis två nödutgångar.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Medel

5.2.10 Obevakad garderob i Kongressfoajén

Brandbelastningen i garderoben är relativt hög, men beror på antalet besökare i Kongressfoajén. Själva garderoben är obevakad, vilket innebär en lite större sannolikhet för att en brand ska inträffa här. Vid en eventuell brand blockeras en nödutgång, men den ordinarie nödutgången påverkas inte. Därför anses det att utrymningen inte kommer påverkas nämnvärt.

Sannolikhet: Medel

Konsekvens: Låg

5.2.11 Bar i Studioscenen

Lokalen Studioscenen är beskriven ovan. Baren har en lägre brandbelastning än scenen, vilket gör att en eventuell brand inte blir lika omfattande. Sannolikheten för att en brand ska inträffa i baren är mindre än på scenen, då det inte förekommer några brandfarliga aktiviteter i baren.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Medel

5.2.12 Obevakad garderob i Studiofoajén

Garderoben i Studiofoajén är obevakad och därmed finns det en risk att brand kan uppstå. Garderoben kan innehålla mycket kläder när Studioscenen är fullsatt, vilket innebär att brandbelastningen är hög. Om en brand inträffar i garderoben blockeras den ordinarie nödutgången för Studioscenen, Fredssalen och Kongressfoajén. Detta kan få stora konsekvenser för utrymningen om dessa utrymmen är fullsatta.

Sannolikhet: Medel

Konsekvens: Mycket hög

5.2.13 Skyddsrum

I skyddsrummet sker mycket förvaring, vilket gör att brandbelastningen kan vara hög. Dock vistas ingen normalt i rummet och där finns begränsat med elinstallationer. Dessutom ligger inte rummet i närheten av några utrymningsvägar. Därför anses det att utrymningen inte kommer påverkas vid en brand i skyddsrummet.

Sannolikhet: Mycket låg

Konsekvens: Mycket låg

5.2.14 Fläktrum bredvid skyddsrummet

Sannolikheten att en brand ska inträffa i fläktrummet är medelhög på grund av att det förekommer en hel del fläktar och maskiner i utrymmet. Brandbelastningen är dock inte särskilt hög och precis som skyddsrummet ligger inte fläktrummet i närheten av några nödutgångar. Därför påverkas inte utrymningen vid en brand.

Sannolikhet: Medel

Konsekvens: Mycket låg

5.3 Plan 1

Här beskrivs brandscenarierna för de utrymmen som är placerade på plan 1.

5.3.1 Teatersalongen

Det saknas information om klädseln på stolarna i teatersalongen, vilket gör att en brand där inte kan uteslutas. Dock är det troligt att stolarna är impregnerade med brandskyddsmedel då klädseln har bytts ut sedan byggnaden uppfördes. Det är mycket folk i rörelse i teatersalongen vilket höjer sannolikheten för en brand avsevärt. Lokalens stora volym gör att tar lång tid för hela teatersalongen och scenutrymmet att fyllas med brandgaser vilket ger lång tid för utrymning. Dessutom finns det gott om utrymningsvägar från salongen men med tanke på att lokalen tar in mycket folk anses ändå konsekvensen för en brand vara medelhög.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Medel

5.3.2 Teaterfoajén

I teaterfoajén finns det relativt mycket brännbart material såsom utrustning till scenen, stolar, bord, en soffa och en bar. En brand i teaterfoajén kan blockera den ordinarie utrymningsvägen för personerna i teatersalongen där över 400 personer kan vistas vid föreställning. Den höga brandbelastningen, blockeringen av den ordinarie utrymningsvägen och antalet personer som kan påverkas av branden gör att konsekvensen kan vara mycket hög. Teknik och ljussättning på scenen, anlagd brand och levande ljus vid borden och baren är möjliga tändkällor. Vid evenemang är dock teaterfoajén bevakad av personalen som finns i baren och därför bedöms sannolikheten att brand uppstår vara låg.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Mycket hög

5.3.3 Cafeterian

I cafeterian finns möjligheten för många personer att vistas, vilket till exempel kan ske i pausen av en föreställning. Med folk i rörelse är sannolikheten för uppkomsten av brand högre än vanligt, men samtidigt finns det ingen elektronisk utrustning eller dylikt där bränder kan starta. Möblemanget i cafeterian består av bord och stolar av trä och metall vilket medför en relativt låg brandbelastning. Cafeterians läge nära huvudentrén gör att utrymningen kan påverkas vid en eventuell brand. Den låga brandbelastningen antas göra att rökutvecklingen inte blir tillräcklig för att kunna rökfylla de stora utrymmena som finns i närheten av cafeterian.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Låg

5.3.4 Rökrummet

Trots namnet är det idag förbjudet att röka i rökrummet. Med sparsamt möblemanget och stenplattor på golvet anses inte rökrummet ha potentialen för en stor brand. Den höga takhöjden medför en lång tid för rökfyllnad och därmed lång utrymningstid. Rökrummet ligger nära huvudentrén men trots det anses konsekvensen vara låg för en eventuell brand då även foajén måste rökfyllas för att utgöra ett hinder för utrymning. Sannolikheten för att en brand uppkommer jämföras med liknande samlingslokaler och är därför låg.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Låg

5.4 Vindsplan

Här beskrivs brandscenarierna för de utrymmen som är placerade på vindsplanet.

5.4.1 Fläktrum ovanför teaterscenen

Precis som för det andra fläktrummet är sannolikheten för uppkomsten av brand medelhög på grund av de fläktar och maskiner som finns i rummet. Brandbelastningen är dock låg och eventuell brandgasspridning kommer inte påverka teatergästerna, som befinner sig tre våningar nedanför.

Sannolikhet: Medel

Konsekvens: Mycket låg

5.5 Sammanfattning av grovanalys

En sammanfattning av grovanalysen redovisas i riskmatrisen, se figur 30. Här sorteras de möjliga brandscenarierna med avseende på dess uppskattade sannolikhet och konsekvens.

Sannolikhet							
Mycket hög Hög Medel Låg Mycket låg	- Kök tillhörande Studioscenen	- Pentry vid loger					
	- Snickeri	- Teaterscenen					
	- Fläktrum ovanför teaterscenen - Fläktrum bredvid skyddsrum	- Obevakad garderob i Kongressfoajén - Transformatorrum		- Scen i Studioscenen	- Obevakad garderob i Studiofoajén		
		- Scenkällaren - Rökrummet - Expedition - Inlastning - Cafeterian	- Bar i Studioscenen - Fredssalen - Thoméesalen - Teatersalongen - Grupprum			- Teaterfoajén	
	- Skyddsrum					- Garderob vid huvudentrén	
	Mycket låg	Låg	Medel	Hög	Mycket hög	Konsekvens	

Figur 30: Riskmatris baserad på grovanalysen.

5.6 Val av brandscenarier

Utifrån figur 30 och metodiken som beskrivs i avsnitt 4.2 *Val av brandscenarier*, väljs följande tre brandscenarier ut för vidare granskning:

- Scen i Studioscenen
- Obevakad garderob i Studiofoajén
- Teaterfoajén

Följande scenario innefattas av branden bredvid scen i Studioscenen:

- Bar i Studioscenen
- Kök tillhörande Studioscenen

Anledningen till att scenen väljs som brandscenario istället för baren är att brandbelastningen är större samt att en utrymningsväg då kan blockeras av branden.

Följande scenarier innefattas av branden i teaterfoajén:

- Cafeterian
- Rökrummet
- Garderob vid huvudentrén

Alla dessa scenarier innefattar rökfylldhet i teaterfoajén och cafeteria, men brand i teaterfoajén bedöms ha en högre sammanvägd sannolikhet och konsekvens. Anledningarna till detta är att en brand där kan blockera utrymningsvägar som används av många personer och att brandbelastningen kan vara hög.

6. Brandscenario 1 – Scen i Studioscenen

Nedan utvärderas brandscenario 1 bredvid scenen i Studioscenen. Efter beskrivningen av scenariot genomförs simuleringar för att kontrollera om en säker utrymning kan genomföras. En probabilistisk analys genomförs enligt metodiken som beskrivs i avsnitt 4.6.1 *Probabilistisk analys*.

6.1 Beskrivning

I scenariot antas att ett evenemang för ett visst antal gäster hålls nere i Studioscenen och att lokalen är fylld med stolar och bord eftersom samtliga gäster ska ha en sittplats. Till höger om scenen hänger textilier från taket vilka skapar ett dolt utrymme bakom. Aktiviteterna i Studioscenen är varierande och i det dolda utrymmet kan det därför ibland finnas olika föremål som till exempel rekvisita, dekorer eller stolar i vilka en brand kan starta. Branden antas till en början vara dold bakom textilierna som hänger från taket och kan därför inte detekteras visuellt av personerna i lokalen i ett tidigt stadium.

Då lokalen har svart tak och svarta väggar kan sikten försämrats snabbare än i andra rum som är ljusare. Om brandgaslagret täcker lamporna i taket kan sikten vara dålig redan i ett tidigt stadium. Figur 31 och 32 visar hur Studioscenen ser ut.



Figur 31: Bild från Studioscenen.



Figur 32: Bild från Studioscenen.

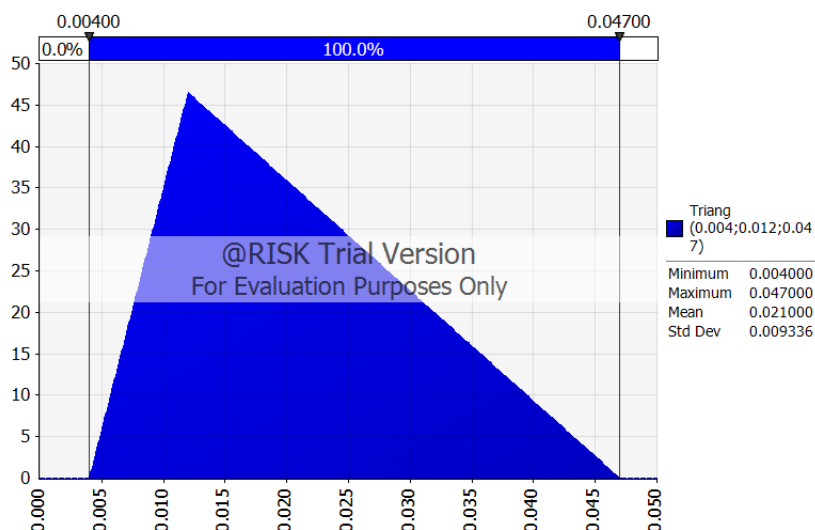
6.2 Ventilation

Ventilationen i Studioscenen består av åtta tilluftsdon, som är kopplade till samma ventilationskanal som Studiofoajén. Vid detektion av brand stängs ventilationen av automatiskt. Brandgasspridning kan då ske genom tilluftsdonen till Studiofoajén. Denna brandgasspridning försummas vid scenarioberäkningar, men behandlas vidare i känslighetsanalysen.

6.3 Brandens tillväxthastighet och maxeffekt

Brandbelastningen antas till största delen bestå av trä då många av de föremål som förvaras i lokalen är av trä. Tillväxthastigheten, α , för en brand i trä varierar med hur föremålet som brinner ser ut. För högre staplar av träpallar är tillväxthastigheten snabb, med värde på upp mot $0,047 \text{ kW/s}^2$, och för mindre staplar är den långsammare, med ett värde på $0,012 \text{ kW/s}^2$ (Karlsson & Quintiere, 2000).

Gällande vissa trämöbler kan tillväxthastigheten variera mellan medel och långsam. För en större byrå är värdet 0,011 kW/s² och för ett mindre skrivbord är värdet på 0,004 kW/s² (Babrauskas, 2002; Chow et al, 2004). Då mängden material kan variera antas min- och maxvärdena för α vara 0,004 kW/s² och 0,047 kW/s², för att på så sätt täcka in de troliga brandförloppen. Tyngdpunkten antas ligga på 0,012 kW/s², som är värdet för den mindre stapeln av träpallar, då detta motsvarar den mängd trä som kan antas finnas bredvid scenen. I kommande Monte Carlo-simuleringar beskrivs därför α som en triangulärfördelning med minsta värdet 0,004 kW/s², högsta värdet 0,047 kW/s² och tyngdpunkten 0,012 kW/s², se figur 33.



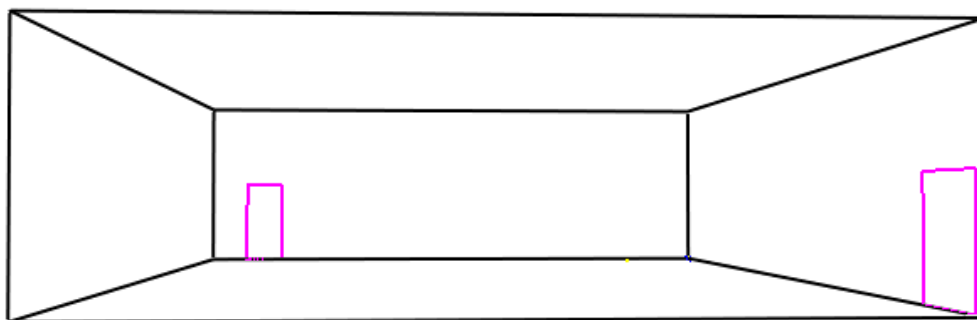
Figur 33: Triangelfördelning för tillväxthastigheten, α .

Då brandbelastningen till största delen består av trä approximeras materialet till träpallar när maxeffekten ska bestämmas. En bedömning som görs är att mängden trä som kan antas förvaras vid scenen uppgår till cirka 100 kilogram. Detta motsvarar ungefär tre industriträpallar som staplas på höjden (EPAL), vilket ger en maxeffekt på 1420 kW/m² bränsleyta (Karlsson & Quintiere, 2000). Om pallarnas area är 1x1,2 m² ger det en maxeffekt på 1700 kW. Då denna siffra bygger på grova uppskattningar avrundas maxeffekten uppåt till 2000 kW.

En kort känslighetsanalys görs för att avgöra maxeffektens betydelse för resultatet. Brandens maxeffekt varieras för att se om tiden till kritiska förhållanden förändras. Resultatet visar att kritiska förhållanden uppnås innan branden når en effekt på 1000 kW. Detta innebär att brandens maxeffekt inte har någon påverkan på tiden till kritiska förhållanden. Därför påverkar inte den grova uppskattningen av maxeffekten på 2000 kW resultatet i scenariot.

6.4 Tillgänglig tid för säker utrymning

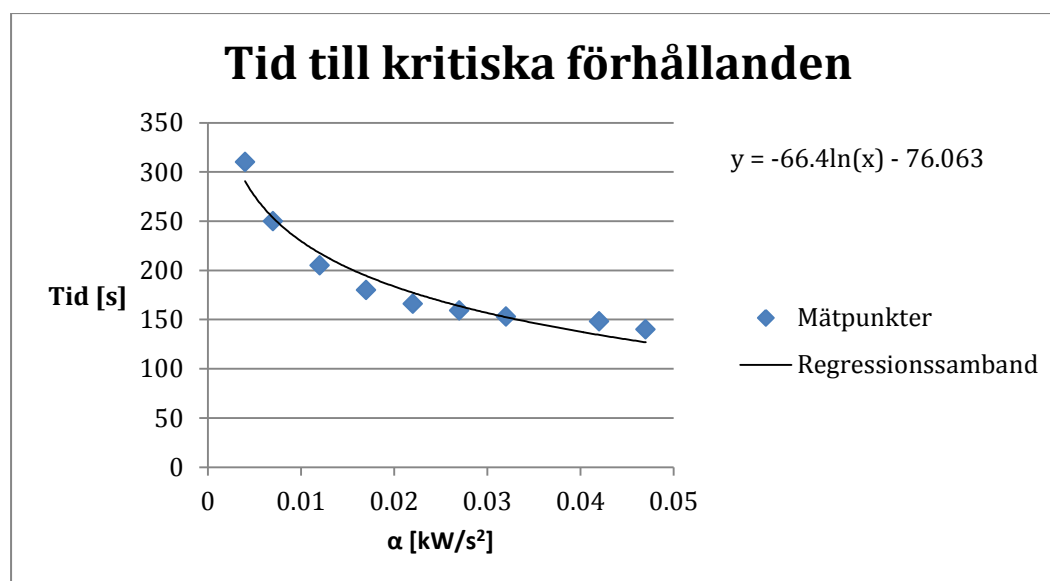
För att kunna använda programmet CFAST görs vissa förenklingar av rummets geometri. Taket, som till viss del lutar i verkligheten, görs om till ett platt tak i programmet. Det görs eftersom programmet endast kan modellera rum som har geometrin av ett rätblock. Rummets volym hålls dock konstant då takets utformning ändras. En annan förenkling som görs är att den kvartcirkelformade inbuktningen bredvid scenen försummas. En skiss av geometrin som simuleras i CFAST redovisas i figur 34. Indata för simuleringarna redovisas i bilaga F.



Figur 34: Geometri för Studioscenen i CFAST.

Förenklingen som görs av Studioscenen tak innebär att takets area minskar. Vid simuleringarna blir således värmeförlusterna till taket mindre. Volymen är dock densamma vilket innebär att värmeförlusterna till väggarna blir något större och de totala värmeförlusterna anses därför vara ungefär samma.

Vid simuleringarna varieras värdet för tillväxthastigheten, α , för att kunna ta fram ett analytiskt samband där tiden till kritiska förhållanden är beroende av brandens tillväxthastighet. Sambandet redovisas i figur 35 nedan. De begränsande faktorerna vid simuleringarna är brandgaslagrets höjd kombinerat med antingen sikten eller temperaturen, beroende på delscenariot.



Figur 35: Samband mellan tid till kritiska förhållanden och tillväxthastigheten, α .

Funktionen används senare vid beräkning av tidsmarginalen.

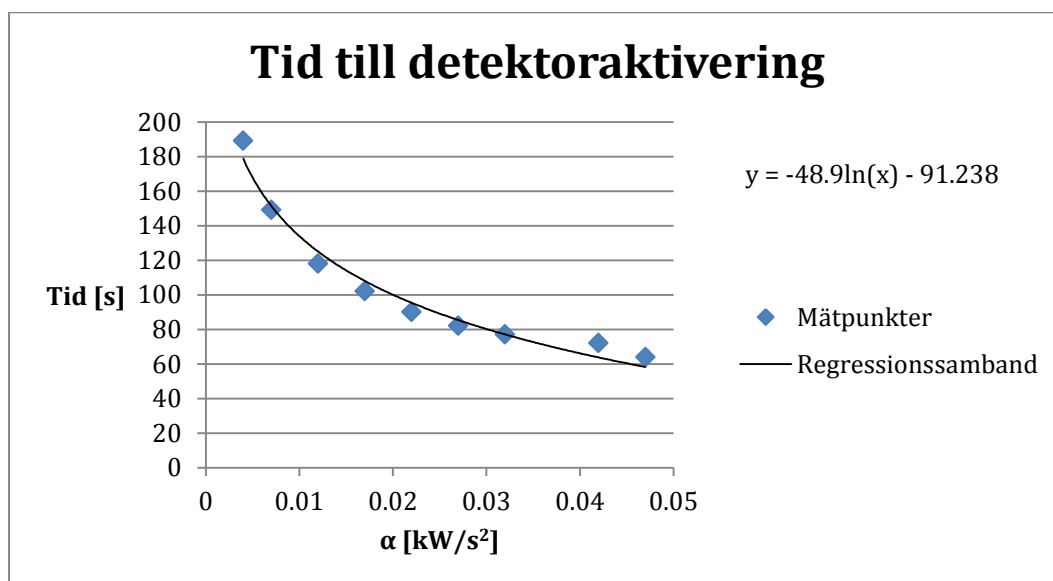
6.5 Utrymningstid

Nedan beskrivs hur de olika delarna som ingår i utrymningstiden tas fram.

6.5.1 Varseblivningstid

För att beräkna detektionstiden används datorprogrammet DETACT-T2 som beskrivs närmare i bilaga A. I Studioscenen finns totalt två rökdetektorer som är placerade i taket. Avstånden från branden till detektorerna bedöms enligt ritningar vara 3 respektive 14 meter. Då detektionstiden beror på hur snabbt branden tillväxer varierar tillväxthastigheten för att kunna ta fram ett analytiskt samband mellan detektionstiden och tillväxthastigheten. Beroende på vilken detektor som aktiveras först kommer detektionstiden att variera.

Vid jämförelse med brandgaslagrets tjocklek, optiska densitet och temperatur från CFAST-simuleringarna och detektionstiden från DETACT-T2, konstateras att detektionstiderna är orimligt långa⁵, varpå en annan metod för beräkning av detektionstiderna testas. Istället används en inbyggd funktion i CFAST vilken ger mer trovärdiga resultat. Genom att variera tillväxthastigheten erhålls ett analytiskt samband för hur detektionstiden beror av tillväxthastigheten enligt figur 36. Problematiken med felfungerande detektorer behandlas i känslighetsanalysen i avsnitt 6.8.1 *Felfungerande detektorer*.



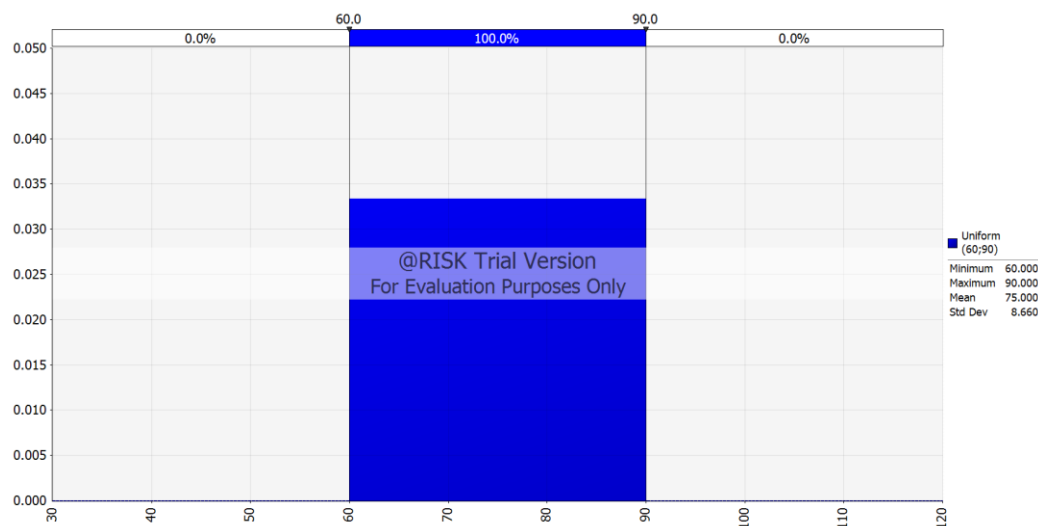
Figur 36: Samband mellan tid till detektoraktivering och tillväxthastigheten, α .

6.5.2 Beslut- och reaktionstid

Då lokalen är relativt liten och överblickbar kan en uppskattad tid för beslut och reaktion ligga på cirka en minut (Frantzich, 2001). Utöver de faktorer som diskuterats i metoddelen, se avsnitt 4.4.2 *Beslut och reaktion*, finns det ytterligare en faktor som kan påverka beslut- och reaktionstiden i Studioscenen. Denna faktor är de svartmålade väggarna och de gör att visuell perception och orienteringsförmåga begränsas. Då brandgaserna blir svårare att upptäcka mot ett svart tak kan det leda till att individerna i lokalen underskattar hur allvarlig situationen egentligen är och därför stannar längre.

⁵ Exempelvis blir detektionstiden i DETACT-T2 94 sekunder för detektor 1 med $\alpha = 0,047$ kW/s², RTI = 0,5 (ms)^{1/2}, takhöjd = 5 m och avstånd mellan detektorer = 6 m (3·2).

Det är oklart exakt hur mycket ovannämnda faktorer påverkar beslut- och reaktionstiden. De mörka väggarna och alkoholservingen talar för en längre tid medan det talade meddelandet tyder på en något kortare tid. De förstnämnda faktorerna anses påverka beslut- och reaktionstiden mer än den sistnämnda varför en något längre tid än 60 sekunder är trolig. Besluts- och reaktionstiden antas därför motsvara en likformig fördelning mellan 60 och 90 sekunder, se figur 37.

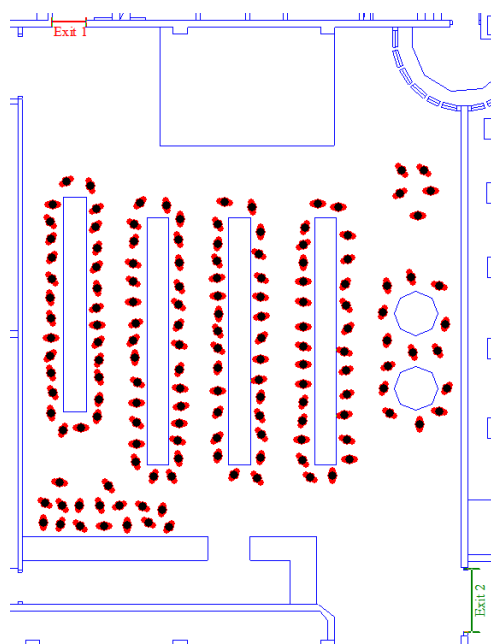


Figur 37: Likformig fördelning för beslut- och reaktionstiden.

6.5.3 Förflyttningstid

Simuleringar görs med olika antal personer i lokalen, 50, 70, 90, 110, 130 och 150 stycken, varpå tiden för förflyttning för den sista personen bestäms. Personer anses vara i säkerhet så fort de har lämnat Studioscenen.

Borden i lokalen placeras med utgångspunkt i typen av evenemang. Personerna placeras främst ut runtomkring borden då det är troligast att personer befinner sig där under ett evenemang. Det finns även personal i anslutning till baren. Figur 38 visar hur personerna är fördelade vid försöket med 150 personer, innan utrymningen har börjat.

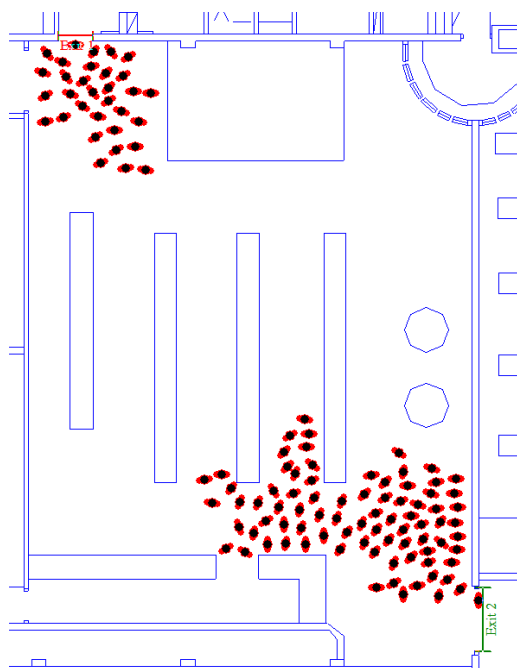


Figur 38: Personfördelningen med 150 personer i Studioscenen innan påbörjad förflyttning.

Personerna som använder den alternativa utrymningsvägen är de personer som har närmast dit. Viss hänsyn tas till att personer runt samma bord troligtvis använder samma utgång.

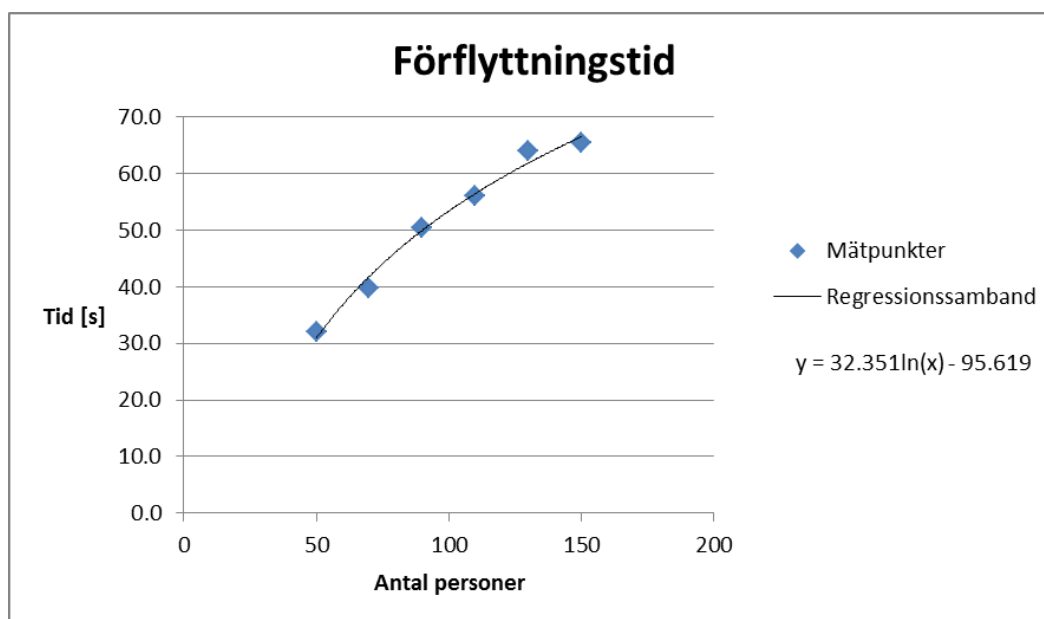
Vanligtvis används en gånghastighet på 1,3 m/s vid utrymningssimuleringar, men i den aktuella lokalen finns det omständigheter som talar för att gånghastigheten är lägre än vanligt. Väggar och tak är svartmålade, belysningen är svag och det serveras även alkohol. Samtliga gånghastigheter väljs därför till 1,0 m/s för att representera verkligheten så bra som möjligt. För att avgöra hur mycket gånghastigheten påverkar resultatet görs en kort känslighetsanalys. Det visar sig att gånghastigheten har viss betydelse i sammanhanget. Förflyttningstiden blir cirka 10 – 20 % kortare med gånghastigheten 1,3 m/s. Detta anses vara en betydande skillnad, varpå den längsta förflyttningstiden används för att få konservativa resultat.

Vid utrymningssimuleringarna uppstår köbildning mycket snart efter påbörjad förflyttning. Det är i stor utsträckning köbildningen som ger upphov till den långa förflyttningstiden när många personer försöker använda samma utrymningsväg. Det bildas köer vid båda dörrarna samt vid det trånga utrymmet mellan baren och borden, se figur 39. När de simulerade personerna tvingas vänta på framförvarande personer minskar gånghastigheten väsentligt.



Figur 39: Köbildningen som sker i samband med utrymning av Studioscenen.

Utrymningsvägar kan av olika anledningar vara otillgängliga. Det kan till exempel bero på att det står saker i vägen som förhindrar utrymning. I Studioscenen finns två oberoende utrymningsvägar, varav den ena används av besökare och den andra, alternativa utrymningsvägen, används av personal. Eftersom båda utrymningsvägarna används frekvent vid olika typer av arrangemang bedöms sannolikheten att någon av dessa skulle vara blockerad vara liten. Sannolikheten för att den alternativa utrymningsvägen ska blockeras av branden bedöms vara låg då det är föremål mellan dörren och branden, som avskärmar en stor del av värmestrålningen. Avståndet mellan branden och dörren är även så långt att brandspridning mot utrymningsvägen sker i mindre omfattning. Problematiken med blockerade utrymningsvägar behandlas i avsnitt 6.9.2.1 *Blockerad utrymningsväg*. Resultatet av simuleringarna redovisas i figur 40.



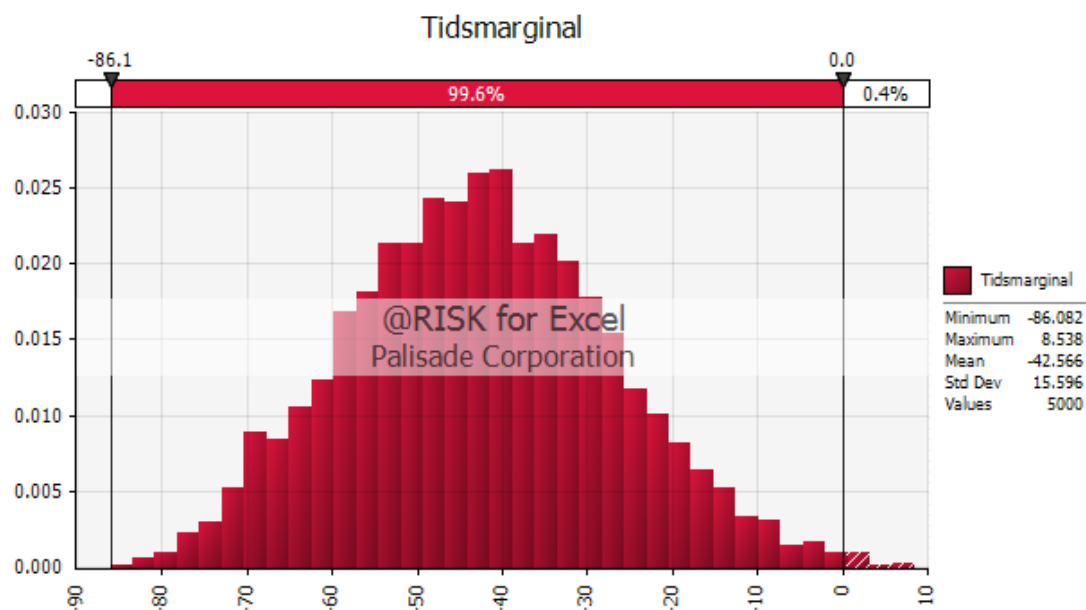
Figur 40: Samband mellan förflyttningstid och antal personer i lokalen.

Sambandet i figur 40 används senare i Monte Carlo-simuleringar av tidsmarginalen.

Antalet personer som vistas i lokalen beskrivs som en likformig sannolikhetsfördelning mellan 50 och 150 personer, vilket innebär att alla personantal däremellan är lika sannolika. Det görs på grund av att osäkerheterna i personantal och sannolikhet är stora. Fördelningen fås av att det högsta antalet personer, 150 stycken, är det högsta tillåtna personantalet för lokalen och det lägsta antalet personer, 50 stycken, är det lägsta intressanta antalet personer för simuleringarna. Färre än 50 personer anses vara ointressant då köbildning sker i mindre omfattning och förflyttningstiderna blir mycket korta.

6.6 Beräkning av tidsmarginal

Samtliga tidigare beskrivna samband och fördelningar används för att göra en Monte Carlo-simulering av tidsmarginalen. Resultaten av simuleringarna redovisas i figur 41 nedan.



Figur 41: Tidsmarginalen för utrymning från Studioscenen.

Resultaten från figur 41 visar att i endast 0,4 % av fallen, vid brand i Studioscenen, kan en säker utrymning genomföras. Därför måste åtgärder vidtas för att höja andelen fall där en säker utrymning kan genomföras.

6.7 Validering av CFAST-simuleringar

För att undersöka tillförlitligheten hos CFAST i det valda scenariot simuleras motsvarande brandscenario i programmet FDS. Indata och tillvägagångssätt vid simuleringen redovisas i bilaga F. Resultatet av simuleringen i FDS samt en jämförelse med värden från CFAST redovisas i tabell 2.

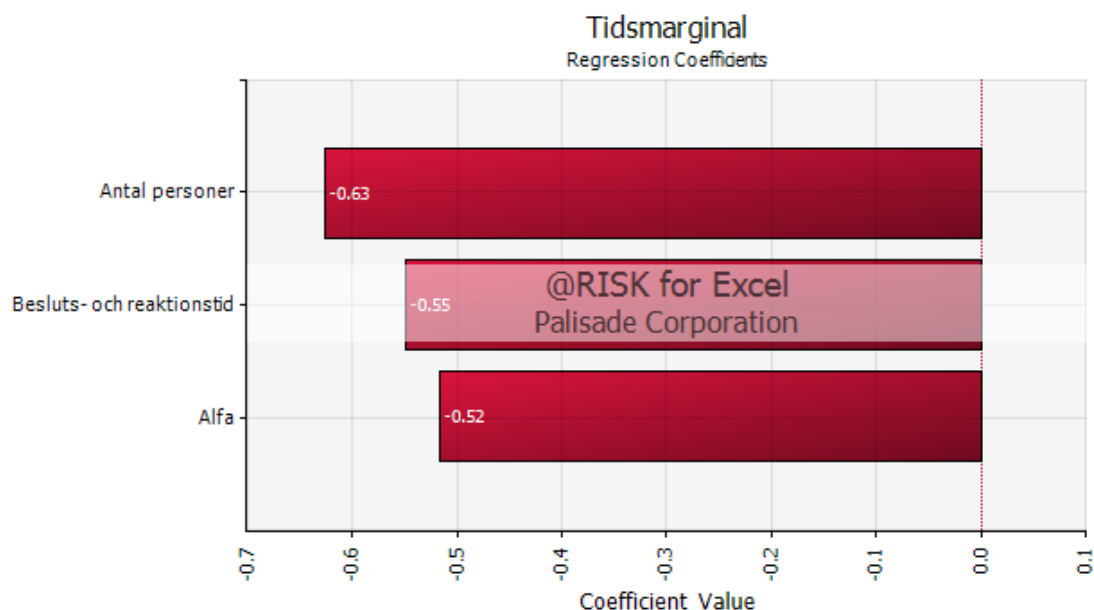
Tabell 2: Jämförelse mellan FDS och CFAST.

	FDS	CFAST
Tid till att brandgaslagret når 2 meter över golvet [s]	136	140
Tid till detektoraktivering [s]	45	64
Temperatur i brandgaslagret [°C]	86	84

Vid en jämförelse mellan de olika simuleringarna kan det observeras att resultaten överensstämmer väl när det gäller tid till att brandgaslagret når en kritisk nivå samt temperatur i brandgaslagret. Detektoraktiveringen sker något långsammare i simuleringen med CFAST, vilket indikerar att resultatet är konservativt.

6.8 Känslighetsanalys

Ett tornadodiagram som visar vilka variabler som har störst inverkan på resultatet redovisas i figur 42, nedan.



Figur 42: Tornadodiagrammet visar vilka variabler som har störst inverkan på resultatet.

Den variabel som påverkar resultatet mest är antal personer i Studioscenen. Ur figur 42 kan även utläsas att beslut- och reaktionstid och tillväxthastigheten, α , till stor del påverkar resultatet. Andra parametrar som påverkar resultatet men som inte syns i figuren behandlas dels i avsnitt 6.8.1 *Felfungerande detektor*, 6.8.2 *Ventilation* och dels i avsnitt 9 *Diskussion*.

6.8.1 Felfungerande detektor

I bilaga C undersöks hur en felfungerande detektor i Studioscenen påverkar tidsmarginalen. Resultatet av undersökningen visar att en felfungerande detektor har en försumbar påverkan på resultatet, då det endast skiljer en tiondels procentenhet i andelen fall med negativ tidsmarginal mellan de olika simuleringarna. Därför behandlas fallet med felfungerande detektor inte vidare.

6.8.2 Ventilation

För att göra en känslighetsanalys av hur ventilationen påverkar resultatet görs en simulering i CFAST, där ventilationen förenklas till ett hål i väggen mellan Studioscenen och Studiofoajén, med samma dimensioner som ventilationskanalen. Detta är ett konservativt antagande då spridning av brandgaser kommer ske i mindre omfattning i en verklig ventilationskanal, på grund av till exempel motstånd och tryckfall över don. Branden i scenariot som simuleras har den högsta tillväxthastigheten i intervallet, det vill säga $0,047 \text{ kW/s}^2$.

Resultatet av simuleringen visar att kritiska förhållanden aldrig uppnås i Studiofoajén. Dock måste ventilationen ändå tas i beaktning vid validering av åtgärder då Studiofoajén fungerar som utrymningsväg från Studioscenen.

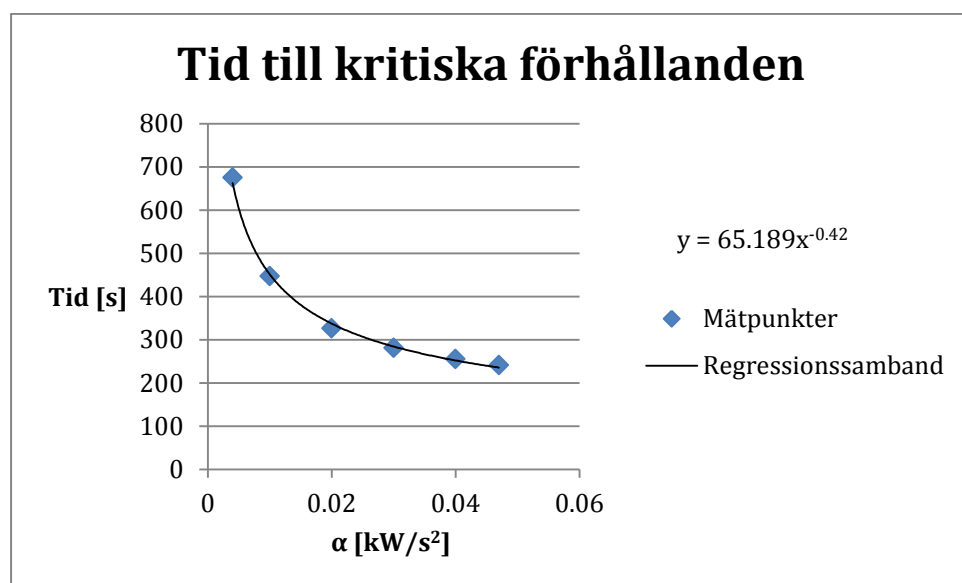
6.9 Åtgärder

För att en säker utrymning ska kunna genomföras i Studioscenen måste tiden till kritiska förhållanden förlängas eller utrymningstiden förkortas. Tiden till kritiska förhållanden kan förlängas exempelvis genom att installera mekanisk brandgasventilation som ventilerar ut brandgaserna ur lokalen. Den mekaniska brandgasventilationen ska vara kopplad till brandlarmcentralen och aktiveras vid detektion av brand.

6.9.1 Dimensionering och validering

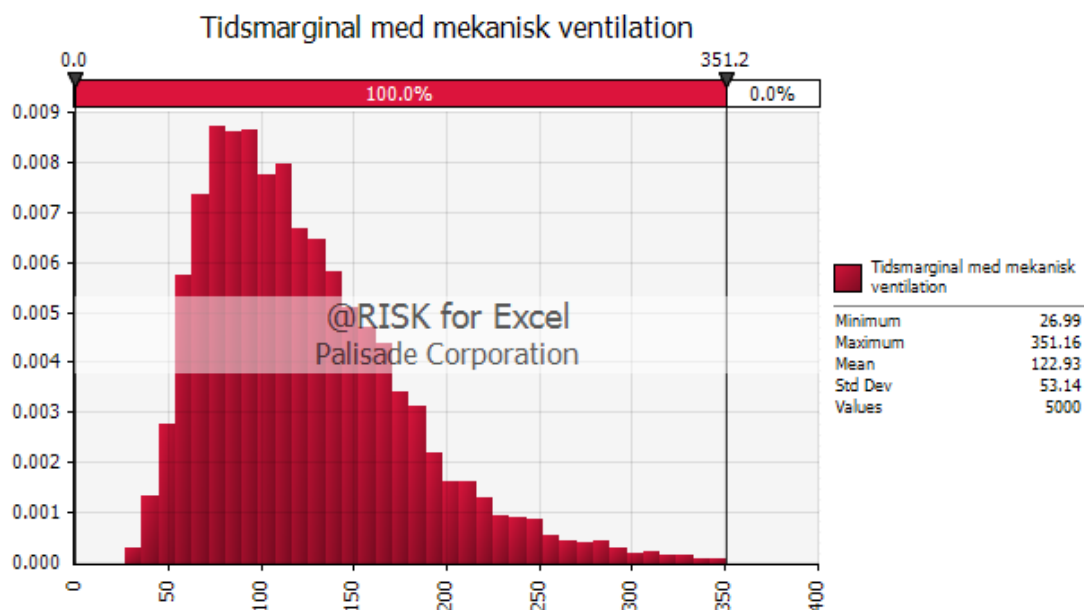
För att kontrollera åtgärden görs först en handberäkning, se bilaga B, för att se i vilken storleksordning flödet från fläkten bör vara för att hålla brandgaslagret på en rimlig nivå. Resultatet visar att brandgaslagret stabiliseras på en nivå 2,5 meter ovanför golvet vid ett flöde från fläkten på 7 m³/s, vilket kan uppnås med flertalet brandgasfläktar på marknaden (Nicotra Gebhardt).

En kontroll genomförs med hjälp av CFAST, där en mekanisk brandgasventilation med ett flöde på 7 m³/s sätts in i taket. Den mekaniska brandgasventilationen är kopplad till detektoraktiveringen och därför aktiveras den mekaniska brandgasventilationen när brandlarmet startar. Precis som i scenarioräkningen varierar tillväxthastigheten och maxeffekten hålls konstant. Då erhålls ett nytt samband för tid till kritiska förhållanden, som nu beror på temperaturen i brandgaslagret. Denna temperatur får inte överstiga 185°C, eftersom det ger en strålning på 2,5 kW/m², se bilaga B. Det nya sambandet för tid till kritiska förhållanden redovisas i figur 43 nedan.



Figur 43: Tid till kritiska förhållanden med en mekanisk brandgasventilation med ett flöde på 7 m³/s.

Det tidigare sambandet för tid till kritiska förhållanden byts ut i beräkningarna av tidsmarginalen mot sambandet ovan. Den nya tidsmarginalen Monte Carlo-simuleras och redovisas nedan i figur 44.

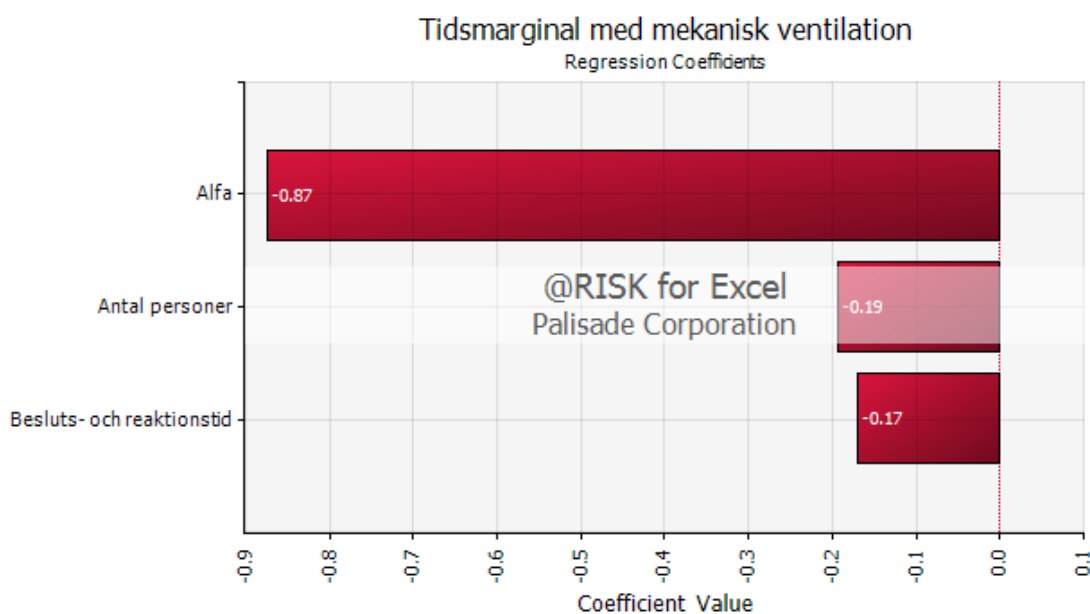


Figur 44: Tidsmarginalen med en mekanisk brandgasventilation på 7 m³/s.

Resultatet visar att en säker utrymning kan genomföras i samtliga fall, då en mekanisk brandgasventilation med ett flöde på 7 m³/s installeras. Osäkerheter gällande resultatet för åtgärden behandlas i känslighetsanalysen nedan.

6.9.2 Känslighetsanalys av åtgärder

Ett tornadodiagram som visar vilka variabler som har störst inverkan på resultatet kan ses i figur 45.



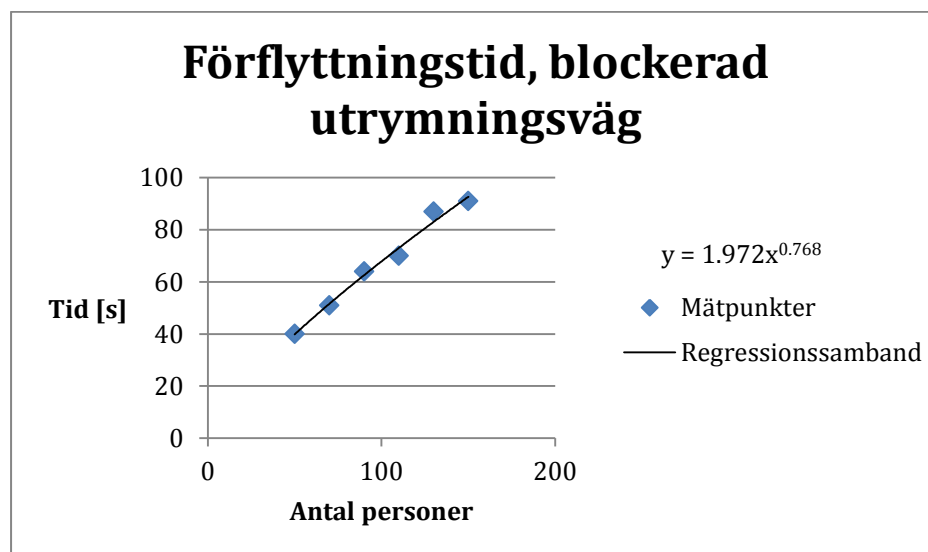
Figur 45: Tornadodiagrammet visar vilka variabler som har störst inverkan på tidsmarginalen med en mekanisk brandgasventilation på 7 m³/s.

Till skillnad från tidigare beräkningar i Scenario 1, se figur 42, påverkar tillväxthastigheten, α , slutresultatet i större utsträckning. Detta eftersom tiden till kritiska förhållanden, som är den längsta variabelberoende tiden, beror på tillväxthastigheten.

För att minska osäkerheterna i resultatet bör därför fokus vara att minska osäkerheten i tillväxthastigheten. Detta är dock svårt eftersom tillväxthastigheten varierar beroende på bland annat bränslets geometri, material och mängd, vilka är osäkra.

6.9.2.1 Blockerad utrymningsväg

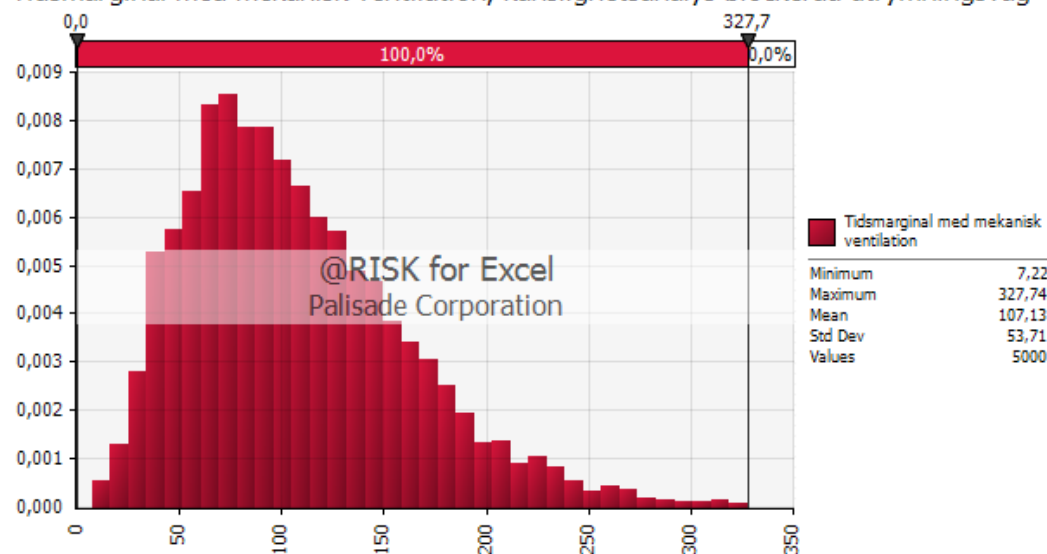
Om en utrymningsväg är blockerad av någon anledning blir förflyttningstiden längre då endast en av utrymningsvägarna kan användas. För att inte förbise denna faktor som kan ha negativ inverkan på tidsmarginalen görs en känslighetsanalys med en blockerad utrymningsväg för den valda åtgärden. I känslighetsanalysen antas den alternativa utrymningsvägen vara blockerad då den inte används lika frekvent som huvudingången. Ett nytt samband för förflyttningstiden fås enligt figur 46 nedan.



Figur 46: Samband mellan förflyttningstid och antal personer i lokalen då en av utrymningsvägarna är blockerad.

Men den mekaniska brandgasventilationen och det nya sambandet för förflyttningstid görs en Monte Carlo-simulering av tidsmarginalen. Resultatet redovisas i figur 47.

Tidsmarginal med mekanisk ventilation, känslighetsanalys blockerad utrymningsväg

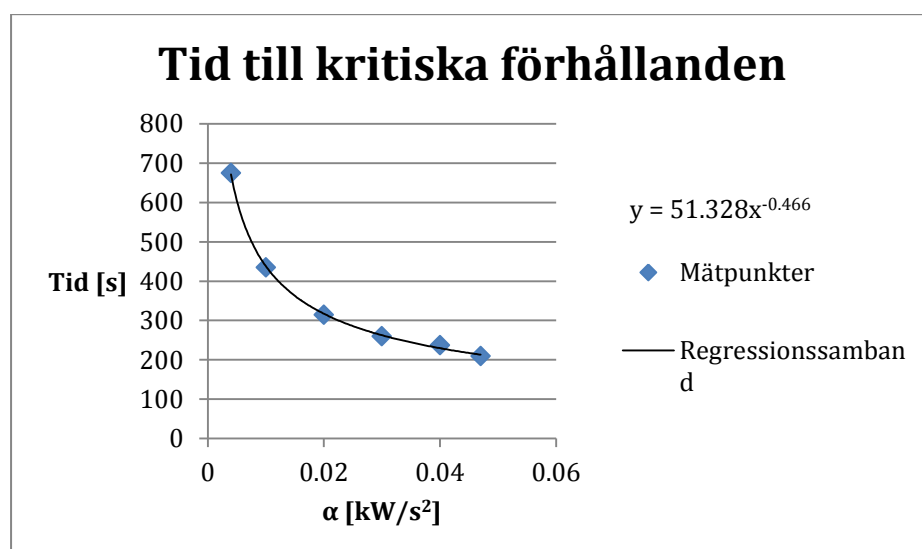


Figur 47: Tidsmarginalen med mekanisk brandgasventilation och en blockerad utrymningsväg.

Det konstateras att säker utrymning kan ske då tidsmarginalen är positiv i samtliga fall. Åtgärden med mekanisk brandgasventilation är giltig även om en utrymningsväg är blockerad.

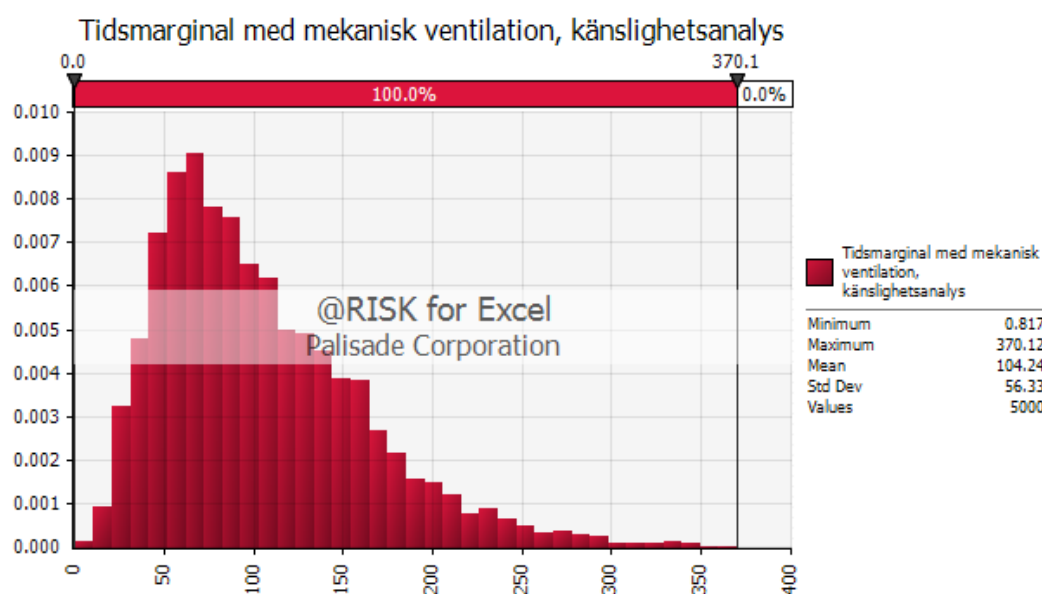
6.9.2.2 Maxeffekt

En undersökning utförs i CFAST för att kontrollera om maxeffekten påverkar tiden till kritiska förhållanden. Med en maxeffekt på 2 MW uppnås kritiska förhållanden cirka 10-30 sekunder efter det att effekten 2 MW uppnåtts med mekanisk brandgasventilation. Detta innebär att en högre maxeffekt kan innebära en kortare tid till kritiska förhållanden. På grund av de stora osäkerheter som föreligger valet av värdet på 2 MW fördubblas maxeffekten i undersökningen till 4 MW. Resultatet för tid till kritiska förhållanden redovisas i figur 48.



Figur 48: Tid till kritiska förhållanden med en mekanisk brandgasventilation på 7 m³/s och en maxeffekt på 4 MW.

Det nya sambandet används för att simulera den nya tidsmarginalen med hjälp av en Monte Carlo-simulering. Resultatet redovisas i figur 49.



Figur 49: Tidsmarginal med en mekanisk brandgasventilation på 7 m³/s och en maxeffekt på 4 MW.

Tidsmarginalen i figur 49 är positiv i samtliga fall, vilket innebär att en säker utrymning kan genomföras även vid en fördubblad maxeffekt. Känslighetsanalyserna visar att åtgärden med mekanisk brandgasventilation ger en positiv tidsmarginal i samtliga fall med en blockerad utrymningsväg alternativt med en fördubblad maxeffekt. Därmed anses åtgärden vara verifierad.

6.9.3 Sammanfattning av åtgärder

Åtgärder som *ska* genomföras för att säkerställa säker utrymning i Scenario 1 är:

- Installera mekanisk brandgasventilation i Studioscenen som är kopplad till brandlarmcentralen och aktiveras vid detektion av brand. Ventilationen ska ha ett flöde på minst 7 m³/s. Regelbundna tester av den mekaniska brandgasventilationens funktion ska genomföras.

6.10 Reflektioner

Resultaten av simuleringarna visar att tidsmarginalen är negativ i nästan samtliga utrymningsscenarier utan åtgärder. Det betyder att i över 99 % av fallen kommer minst en person inte hinna utrymma från Studioscenen innan kritiska förhållanden uppstår.

I simuleringarna har ingen hänsyn tagits till eventuell brandgasspridning genom ventilationen. Vid en brand stängs ventilationssystemet automatiskt av och brandgaser skulle därför kunna spridas genom ventilationskanalerna. Spridningen via ventilationssystemet anses dock ha en mindre påverkan på resultatet då ventilationskanalerna har en liten tvärsnittsarea och endast en mindre del av brandgaserna kan passera genom dessa, vilket en konservativ uppskattning i känslighetsanalysen bekräftade.

Resultaten av simuleringarna är förknippade med en mängd osäkerheter. Vid val av brandens tillväxthastighet gjordes antaganden om vad som brann och hur tillväxthastigheten varierar för materialet. Eftersom osäkerheter finns i mängd, typ och konfiguration av material krävs att tillväxthastigheten kan variera mellan olika värden. I simuleringarna valdes en triangulärfördelning som representerade tillväxthastigheten som byggde på experiment som gjorts med olika typer av träföremål. Osäkerheterna i parametern går inte att undkomma helt och hållet och därmed anses triangulärfördelningen vara en godtagbar approximation.

Utrymningstiden är också beroende av antalet personer i lokalen. Statistik över hur många personer som vistas i lokalen vid olika evenemang hade kunnat ge en bättre bild av personantalet i lokalen, vilket också försöktes få fram. Efter både mail och telefonsamtal till bokningsansvarig kunde ingen information om personantalet fås varför det istället fick uppskattas.

För att kontrollera om en felfungerande detektor har stor inverkan på resultatet gjordes en känslighetsanalys där varseblivningstiden förlängdes med 30 sekunder i 10 % av fallen. Därmed tas ingen hänsyn till att brandens tillväxthastighet påverkar dessa 30 sekunder. Känslighetsanalysen visade dock att den något längre detektionstiden för detektor 2 har en försumbar påverkan på resultatet.

Tornadodiagrammet, se figur 42, visar att antalet personer har störst inverkan på tidsmarginalen men att beslut- och reaktionstiden och brandens tillväxthastighet också har en stor påverkan. Att minska det maximala antalet personer i lokalen kan vara en möjlig åtgärd men då alla variabler i tornadodiagrammet har en stor påverkan på resultatet krävs en drastisk minskning av antalet personer för att uppnå önskad effekt. Detta antas inte vara önskvärt och därför undersöks inte åtgärden närmare.

Åtgärden som föreslås är som tidigare beskrivet installation av mekanisk brandgasventilation i Studioscenen. På grund av lokalens volym sker brandgasfyllnad relativt snabbt i Studioscenen och ett effektivt sätt att förlänga tiden till kritiska förhållanden är därför att ventilera ut brandgaser. Då det finns två utrymningsvägar från lokalen och ytterligare en dörröppning från baren till angränsande delar av byggnaden bör tilluft till lokalen inte vara något problem. Åtgärdens rimlighet kan diskuteras men åtgärden anses ändå vara den mest effektiva lösningen.

7. Brandscenario 2 – Obevakad garderob i Studiofoajén

Nedan utvärderas brandscenariot i den obevakade garderoben i Studiofoajén. Efter beskrivningen av scenariot genomförs simuleringar för att kontrollera om en säker utrymning kan genomföras. En probabilistisk analys genomförs enligt metodiken som beskrivs i avsnitt 4.6.1 *Probabilistisk analys*.

7.1 Beskrivning

I detta scenario antas en brand starta i den obevakade garderoben, där ett antal vinterjackor hänger. De lokaler som påverkas av branden i initialskedet är Studioscenen, Fredssalen och Kongressfoajén. Om dörren upp till plan 1 är öppen kommer brandgasspridning ske även till cafeteria och teaterfoajén. Brandgasspridning i teaterfoajén behandlas i Scenario 3 där brandbelastningen bedöms vara större och kylning av brandgaserna sker i mindre omfattning. Det maximala antalet personer vars utrymning påverkas av en brand i Studiofoajén uppgår då till cirka 300. Dessa 300 antas bestå av 150 personer i Studioscenen och 150 personer i Fredssalen. I scenariot antas Fredssalen och Thoméesalen vara åtskilda, då det innebär en snabbare rökfyllnad av Fredssalen. Personerna i Fredssalen har en egen garderob och det är främst besökarna i Studioscenen som använder garderoben i Studiofoajén.

Då branden blockerar den ordinarie utrymningsvägen för de tre angränsande lokalerna antas det att denna utrymningsväg inte går att använda. Gästerna måste således utrymma genom de alternativa utrymningsvägarna. Garderobens utformning och placering visas i figur 50 nedan.



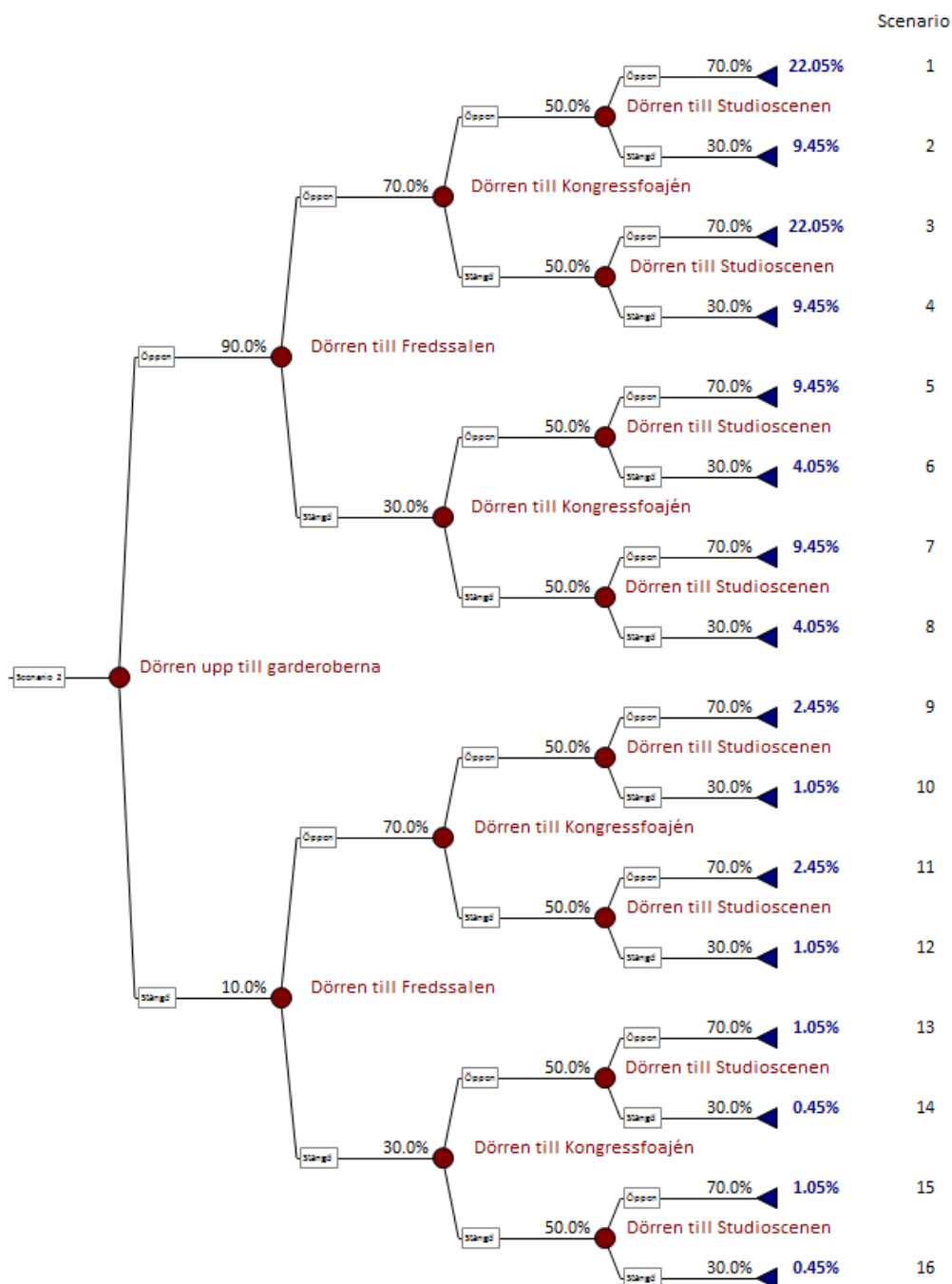
Figur 50: Den obevakade gardoroben i Studiofoajén.

7.2 Ventilation

Ventilationen i Studiofoajén består av fyra tilluftsdon och ett frånluftsdon. Tilluften i Studiofoajén är sammankopplad med tilluften i Studioscenen. När ventilationen stängs av vid detektion av brand kan spridning av brandgaser ske mellan Studiofoajén och Studioscenen via ventilationskanalen för tilluften. Denna spridning av brandgaser försummas vid scenarioräkningar, men behandlas i känslighetsanalysen.

7.3 Händelseträäd

På grund av de många dörrkonfigurationer som kan förekomma används händelseträdsmetodik som beskrivs i avsnitt 4.6.1.1 *Händelseträdsmetodik*. Händelseträdet redovisas i figur 51. I händelseträdet finns sannolikheter för att en dörr är öppen eller stängd som har uppskattats av avdelningsansvarig på teatern.



Figur 51: Beskrivning av samtliga delscenarier och deras sannolikheter.

Förklaringar för sannolikheterna i händelseträdet redovisas i tabell 3 nedan.

Tabell 3: Sannolikheter för öppen/stängd dörr⁶, samt förklaring av innebörden för de olika sannolikheterna i figur 51 ovan.

Sannolikhet öppen/stängd [%]	Förklaring
90/10	Mer eller mindre alltid öppen
70/30	Oftare öppen än stängd
50/50	Lika ofta öppen som stängd

⁶ Lars Karlsson, avdelningsansvarig, OSD i Östersund AB, samtal 2013-03-19.

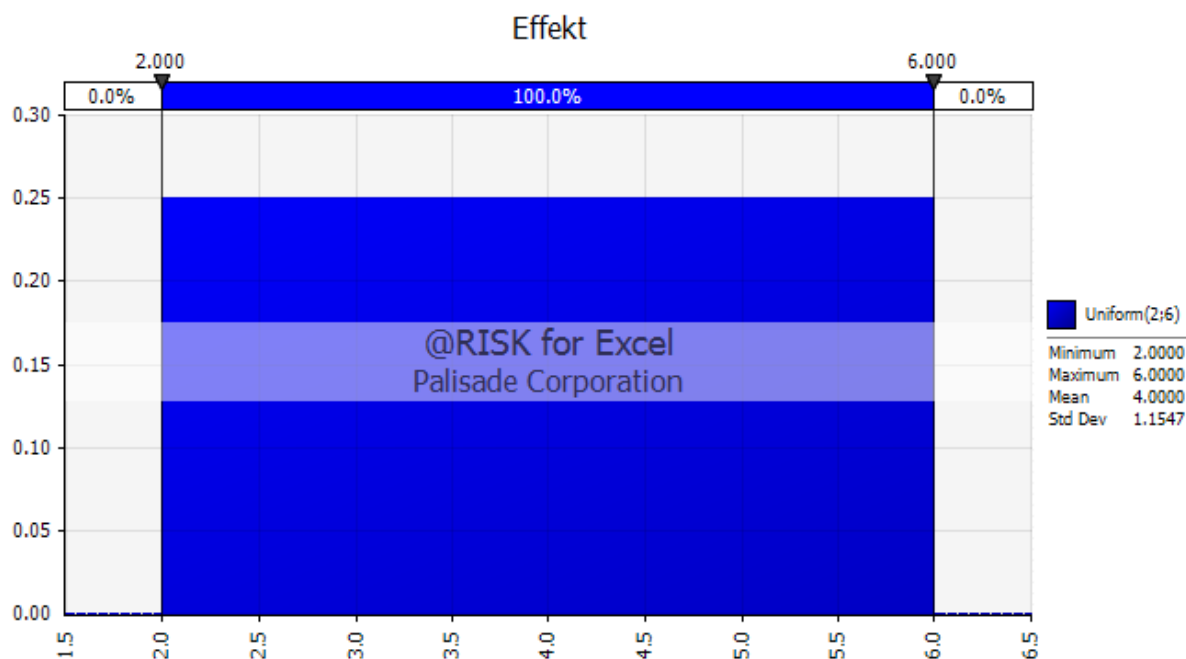
7.4 Brandens maxeffekt och tillväxthastighet

Enligt ett försök av Johansson (2004) är maxeffekten för en brand i 105 vinterjackor 4 MW och tillväxthastigheten 0,4 kW/s². Detta försök utfördes dock i en container, vilket inte motsvarar Studiofoajéns geometri. I en container fås en mycket större återstrålning som kan leda till ett snabbare brandförlopp. Försöket ger dock en fingervisning av vilken storleksordning som tillväxthastigheten och maxeffekten bör vara.

Då tillväxthastigheten är hög innebär en förändring av denna endast marginella skillnader för tiden till maxeffekt. En förändring av maxeffekten ger däremot större utslag i form av brandgasfyllnad och temperatur. En känslighetsanalys av brandens maxeffekt och tillväxthastighet visar att brandens maxeffekt är den parameter som påverkar tiden till kritiska förhållanden mest, varför brandens maxeffekt är den parameter som varierar i simuleringarna för samtliga delscenarier.

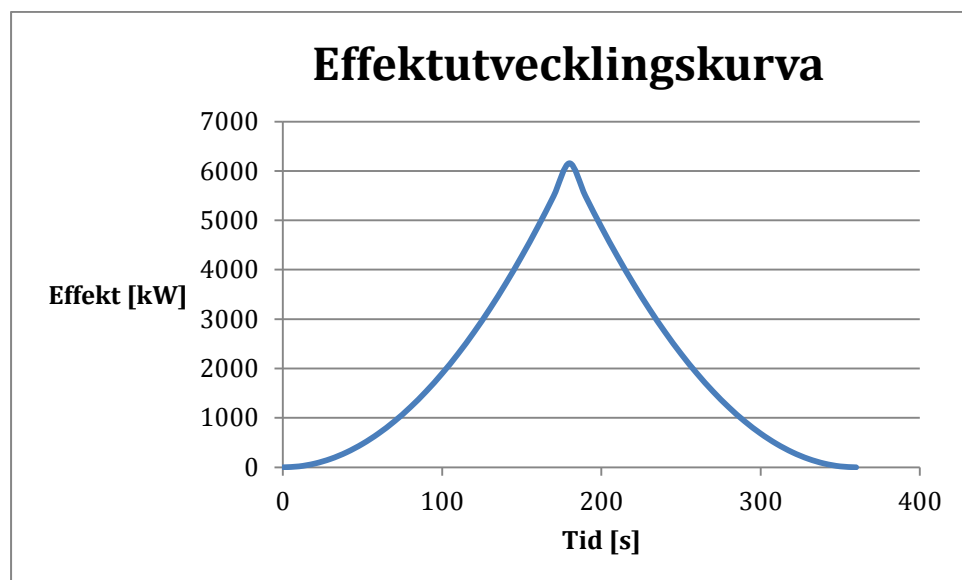
På grund av ovannämnda anledningar antas tillväxthastigheten för branden i Studiofoajén vara lägre än i försöket av Johansson (2004). Ett lämpligt värde antas därför vara 0,19 kW/s², vilket motsvarar en ultrafast tillväxthastighet. Även om värdet på tillväxthastigheten är belagt med osäkerheter har det visats med den inledande känslighetsanalysen, se stycket ovan, att variationer av tillväxthastigheten inte påverkar tiden till kritiska förhållanden nämnvärt.

Garderoben i Studiofoajén förväntas innehålla mellan 50 och 150 jackor. Med maxeffekten 4 MW för cirka 100 jackor, från försöket av Johansson (2004) som grund och antagandet att sambandet mellan brandens maxeffekt och antalet jackor är linjärt, sätts den lägsta effekten till 2 MW och den högsta effekten till 6 MW. Effekten beror av antalet jackor och därmed också antalet besökare i Studioscenen, vilket innebär att den lägsta effekten motsvarar 50 besökare och den högsta effekten motsvarar 150 besökare. Fördelningen av antalet besökare i Studioscenen antas vara samma som i Scenario 1, det vill säga en likformig fördelning mellan 50 och 150 personer. Eftersom brandens maxeffekt och antalet besökare i Studioscenen är korrelerade blir också fördelningen för brandens maxeffekt likformig, enligt figur 52 nedan.



Figur 52: En likformig sannolikhetsfördelning av maxeffekten.

Efter att branden har nått maxeffekt avtar effekten direkt enligt principen i figur 53 nedan. Principen grundas på experiment enligt Johansson (2004). Avsvlningsfasen antas i simuleringarna vara 100 sekunder.



Figur 53: Effektutvecklingskurvornas principiella utseende.

7.5 Tillgänglig tid för säker utrymning

Varje delscenario från händelseträdet simuleras med varierande maxeffekt. För de delscenarier där kritiska förhållanden uppnås görs en regressionsanalys och på så sätt erhålls en funktion som beskriver tiden till kritiska förhållanden, som funktion av brandens maxeffekt. Dessa samband redovisas i bilaga D. De delscenarier där kritiska förhållanden uppnås utanför Studiofoajén redovisas i tabell 4 nedan och undersöks vidare. Indata till simuleringarna redovisas i bilaga F.

Tabell 4: Lokal i vilken kritiska förhållanden uppnås.

Delscenario	Lokal där kritiska förhållande uppnås först
1-8	Uppnås ej
9	Kongressfoajén
10	Kongressfoajén
11	Fredssalen
12	Fredssalen
13	Kongressfoajén
14	Kongressfoajén
15	Studioscenen
16	Uppnås ej

De begränsande faktorerna vid simuleringarna är brandgaslagrets höjd kombinerat med sikten. I ett delscenario uppnås kritiska förhållanden i både Studioscenen och Kongressfoajén. Detta delscenario behandlas vidare i avsnitt 7.11 *Reflektioner*.

7.6 Utrymningstid

Nedan beskrivs hur de olika delarna som ingår i utrymningstiden tas fram.

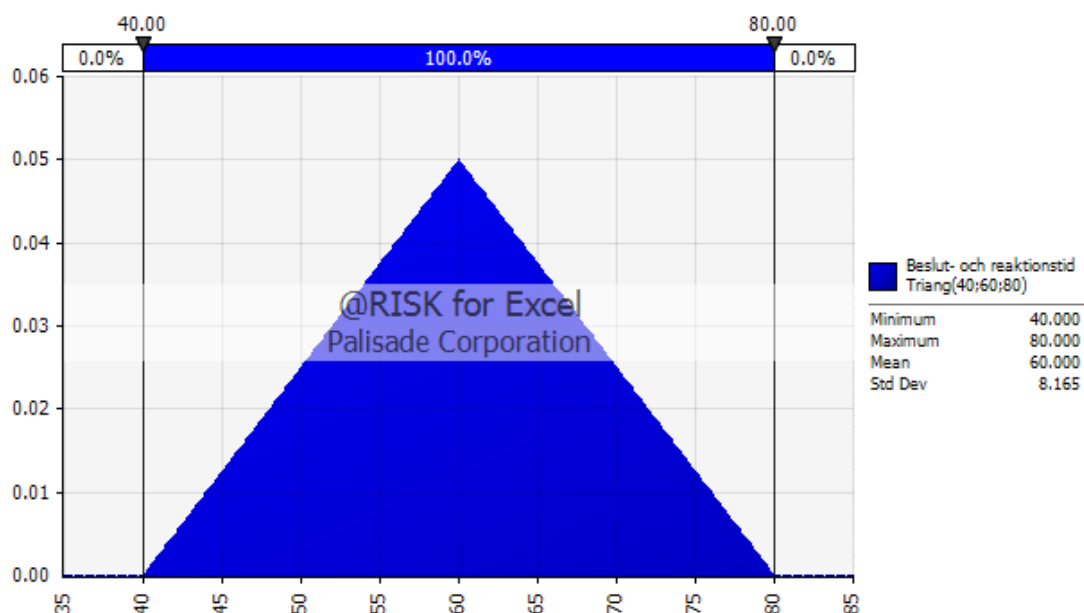
7.6.1 Varseblivningstid

Det finns två rökdetektorer i taket i Studiofoajén. Avståndet mellan branden och de olika detektorerna är likvärdigt, vilket innebär att detektor 1 detekterar branden efter lika lång tid som detektor 2. Vid en felfunktion på en av detektorerna kommer därför detektionstiden att vara samma som när båda detektorerna fungerar. Sannolikheten att båda detektorerna skulle felfunktionera samtidigt anses vara försumbart liten då felsannolikheten för varje detektor antas vara 10 % enligt avsnitt 6.8.1 *Felfungerande detektor*. På grund av detta tas ingen hänsyn till felfrekvens för detektorer när varseblivningstiden beräknas.

För att beräkna varseblivningstiden används programmet CFAST. Då tillväxthastigheten hålls konstant varierar inte detektionstiden mellan de olika simuleringarna. Därför sätts varseblivningstiden till ett konstant värde, som i detta scenario blir 22 sekunder.

7.6.2 Beslut- och reaktionstid

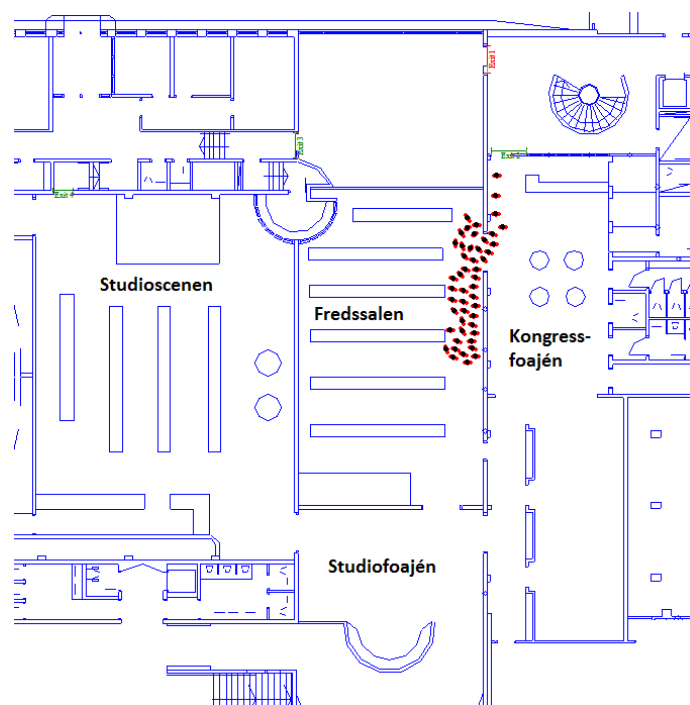
Eftersom förutsättningarna i de olika lokalerna skiljer sig åt används olika fördelningar för att beskriva beslut- och reaktionstiden i Studioscenen och Fredssalen. Beslut- och reaktionstiden i Studioscenen är, precis som i Scenario 1, en likformig fördelning mellan 60 och 90 sekunder, se figur 37 i Scenario 1. I Fredssalen sker ingen alkoholförsäljning och väggarna är ljusa, vilket tyder på att beslut- och reaktionstiden kommer vara kortare än i Studioscenen. Lokalen är relativt liten och överblickbar, något som enligt Frantzich (2001) gör att beslut- och reaktionstiden ligger på cirka en minut. För att ta hänsyn till osäkerheter gällande beslut- och reaktionstiden antas minsta värdet vara 40 sekunder, maximala värdet 80 sekunder och tyngdpunkten 60 sekunder. Beslut- och reaktionstiden beskrivs därför med en triangulärfördelning med dessa värden, se figur 54.



Figur 54: Triangulär fördelning för beslut- och reaktionstiden.

7.6.3 Förflyttningstid

Förflyttningstiden varierar beroende på i vilken lokal utrymning sker och behandlas därför separat i Studioscenen respektive Fredssalen och Kongressfoajén. Utrymningssimuleringar görs där antalet besökare varieras mellan 50 och 150 personer i Studioscenen och Fredssalen. Regressionsanalyser görs för att ta fram analytiska samband där utrymningstiden beror av antalet personer i respektive lokal och sambanden redovisas nedan i figur 56 och 57. Förflyttningstiden för den sista personen som utrymmer är samma i Fredssalen och Kongressfoajén, vilket beror på att utrymning från Fredssalen sker via Kongressfoajén. Figur 55 visar köbildningen vid utrymning från Fredssalen, observera utrymningen via Kongressfoajén.



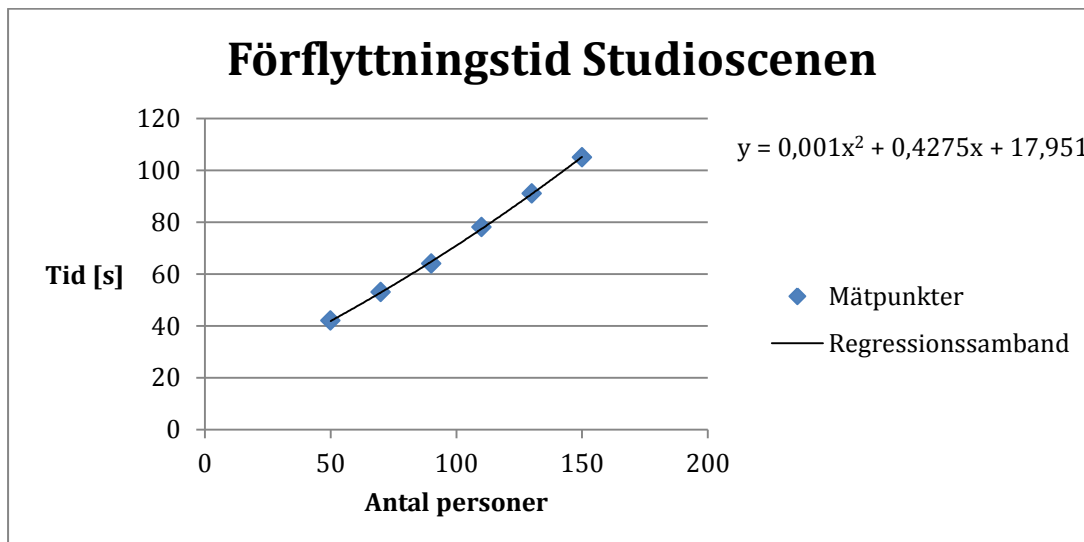
Figur 55: Köbildningen vid utrymningssimulering av Fredssalen och Kongressfoajén.

Antagandet görs att ingen utrymmer genom Studiofoajén i utrymningssimuleringarna. Anledningen är att beräkningarna av tiden till kritiska förhållanden visar att Studiofoajén kommer att vara helt rökfylld och temperaturen i lokalen och strålningen från branden kommer att vara hög då förflyttningen påbörjas. Sannolikheten att någon skulle gå igenom Studiofoajén bedöms därför vara liten.

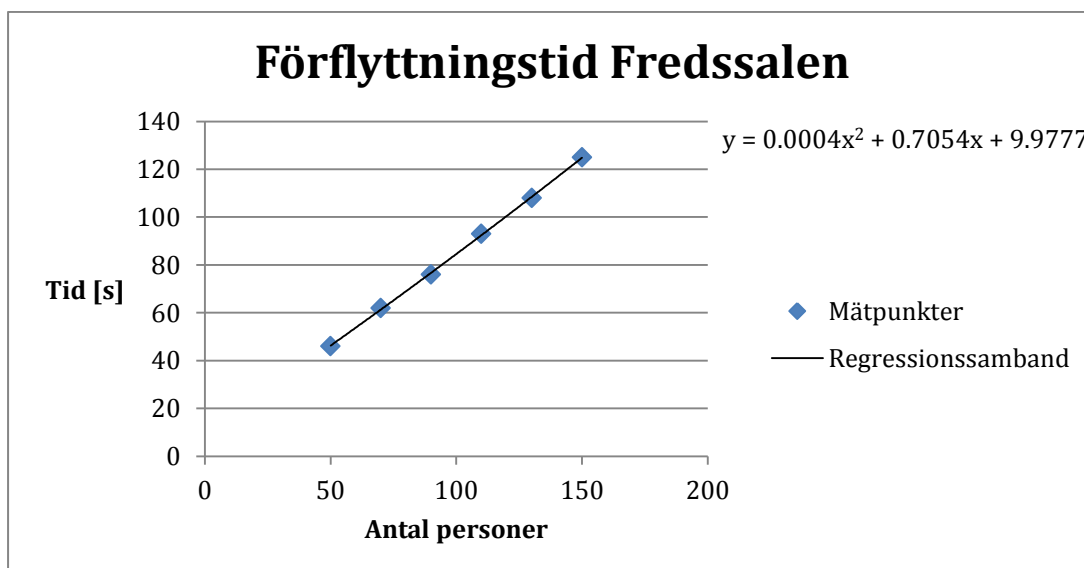
Ytterligare ett antagande som görs är att ingen befinner sig i Kongressfoajén när brandlarmet startar. Det hålls bara aktiviteter i Studioscenen och i Fredssalen. Anledningen till att Kongressfoajén ändå är med i simuleringarna är på grund av att utrymning från Fredssalen sker genom Kongressfoajén. Därför är Kongressfoajén ändå intressant att undersöka, trots att inga besökare antas vistas där samtidigt som det är evenemang i Studioscenen och Fredssalen.

Det kan bara användas en nödutgång för varje lokal då den normala utrymningssvägen genom Studiofoajén är blockerad av branden. Således är det endast den alternativa utrymningssvägen som finns tillgänglig. Det sker omfattande köbildning i både Studioscenen och Fredssalen. Med den höga persontätheten i lokalerna uppstår köbildningen redan i ett tidigt skede av förflyttningen, vilket har stor inverkan på förflyttningstiden.

Gånghastigheten för personerna i Studioscenen antas vara 1,0 m/s av samma anledning som i Scenario 1, se avsnitt 6.5.3 *Förflyttningstid*. I Fredssalen och Kongressfoajén används den normala gånghastigheten 1,3 m/s. Gånghastigheten har dock mindre betydelse då det uppstår köbildning i ett tidigt skede vid utrymning.



Figur 56: Förflyttningstiden som en funktion av antalet personer i Studioscenen.



Figur 57: Förflyttningstiden som en funktion av antalet personer i Fredssalen.

7.7 Beräkning av tidsmarginal

Samtliga tidigare beskrivna samband och fördelningar används för att göra en Monte Carlo-simulering av tidsmarginalen. Resultatet från simuleringarna redovisas i figur 79-86 i bilaga D. En sammanställning av resultatet redovisas i tabell 5 nedan.

Tabell 5: Andel av fallen som en säker utrymning kan genomföras.

Delscenario	Andel av fallen där säker utrymning kan genomföras [%]
1-8	100
9	53,8
10	41,7
11	58,6
12	40,5
13	41,5
14	37,8
15	96,5
16	100

Med hjälp av sannolikheten för varje delscenario från händelseträdet kan den totala andelen av alla fall där säker utrymning kan genomföras beräknas:

$$1 - (0,462 \cdot 0,0245 + 0,583 \cdot 0,0105 + 0,414 \cdot 0,0245 + 0,595 \cdot 0,0105 + 0,585 \cdot 0,0105 + 0,622 \cdot 0,0045 + 0,035 \cdot 0,0105) = 95,7 \%$$

7.7.1 Riskvärdering

95,7 % kan tyckas vara en stor andel men siffran är förknippad med stora osäkerheter. Till exempel är sannolikheterna att dörrarna i Studiofoajén är öppna respektive stängda uppskattade och därför osäkra. På grund av den mängd osäkerheter som finns kommer därför åtgärder att undersökas för att förbättra utrymningsmöjligheterna.

7.8 Validering av CFAST-simuleringar

För att kontrollera tillförlitligheten hos CFAST simuleras ett av delscenarierna i programmet FDS. Scenariot som väljs är delscenario 12 med maxeffekten 6 MW. Indata och tillvägagångssätt vid simuleringen redovisas i bilaga F. Resultatet av simuleringen samt en jämförelse med värden från CFAST redovisas i tabell 6.

Tabell 6: Jämförelse mellan FDS och CFAST.

	FDS	CFAST
Tid till att brandgaslagret når 2 meter över golvet [s]	160	157

Vid en jämförelse mellan resultaten från de olika programmen kan det konstateras att det endast finns marginella skillnader avseende brandgasfyllnad. Då det endast tog 1,9 % längre tid att nå samma höjd på brandgaslagret i FDS som i CFAST anses simuleringarna i CFAST vara validerade.

7.9 Känslighetsanalys

Antalet personer är den parameter som har störst inverkan på resultaten i samtliga delscenarier, vilket redovisas i figur 80 i bilaga D. Figur 80 är specifik för delscenario 9 men samtliga tornadodiagram i delscenario 9-15 ger likvärdiga resultat. Anledningen till att antalet personer har störst inverkan på resultaten är att både brandens maxeffekt och därmed tillgänglig tid, samt förflyttningstiden beror på antalet personer i lokalerna.

7.9.1 Antal personer

Då antal personer har en stor inverkan på resultatet är den variabeln intressant att variera för att kontrollera hur resultatet påverkas av en annan fördelning. I känslighetsanalysen minskas antalet personer från 150 till 100 per lokal, det vill säga det totala antalet personer minskar från 300 till 200. Resultatet efter denna förändring redovisas i tabell 7 nedan.

Tabell 7: Andel fall där säker utrymning kan genomföras då maxantalet personer i respektive lokal minskas till 100.

Delscenario	Andel av fallen där säker utrymning kan genomföras [%]
9	97,6
10	83,1
11	99,9
12	81,7
13	81,6
14	74,4
15	100

Då maxantalet personer minskar från 150 till 100 personer ökar den totala andelen fall där säker utrymning kan genomföras från 95,7 % till 99,2 %.

7.9.2 Ventilation

För att kontrollera ventilationens inverkan på resultatet genomförs simuleringar i CFAST. Eftersom ventilationen stängs av vid detektion av brand förenklas den till ett hål i väggen mellan Studiofoajén och Studioscenen med samma dimensioner som ventilationskanalen. Detta är ett konservativt antagande då spridning av brandgaser kommer ske i mindre omfattning i en verklig ventilationskanal, på grund av till exempel motstånd och tryckfall över don.

Resultatet från simuleringarna visar att tiden till kritisk nivå i de anslutande lokalerna antingen minskar eller ökar med cirka 5 %, beroende på scenario. Då resultaten endast påverkas marginellt görs ingen vidare utredning av ventilationens betydelse för tiden till kritisk nivå.

7.10 Åtgärder

Kritiska förhållanden uppnås aldrig i någon av lokalerna där det finns människor i delscenario 1-8 samt 16. I delscenario 9-15 uppnås kritiska förhållanden och den totala andelen fall där kritiska förhållanden uppstår är 4,3 %, enligt tidigare. På grund av osäkerheterna som är förknippade med resultatet kommer åtgärder att undersökas för att förbättra utrymningsmöjligheterna.

Känslighetsanalysen av antalet personer i lokalerna visade att om antalet personer i både Studioscenen och Fredssalen minskar från 150 till 100 personer per lokal så ökar andelen fall där säker utrymning kan ske från 95,7 % till 99,2 %. Att minska antalet personer som får vistas i lokalerna är dock sällan önskvärt och därför undersöks ytterligare åtgärder.

Ett annat åtgärdsförslag är att ha automatiska dörrstängare på samtliga dörrar i Studiofoajén. Dessa dörrstängare ska vara kopplade till brandlarmcentralen och aktiveras vid detektion av brand. Åtgärden ska förhindra att brandgaser sprids till någon lokal där det vistas människor och motsvarar samma scenario som delscenario 16, det vill säga att samtliga dörrar är stängda.

7.10.1 Dimensionering och validering

När delscenario 16 simulerades i CFAST var samtliga dörrar i Studiofoajén stängda redan när branden startade. För att kontrollera åtgärden i form av automatiska dörrstängare kopplade till brandlarmet används resultaten från samtliga delscenarion. Tiden till detektion är i samtliga fall 22 sekunder, vilket innebär att samtliga dörrar i Studiofoajén börjar stängas när branden pågått i 22 sekunder. För att kompensera för tiden det tar från detektion till det att dörrarna är stängda läggs ytterligare 10 sekunder till. Då kritiska förhållanden inte uppnåtts i något fall efter 32 sekunder kommer säker utrymning att kunna ske med åtgärden som föreslagits, eftersom inga större mängder brandgaser antas spridas efter att dörrarna stängts. Åtgärden är därmed verifierad.

En kontroll av brandgasspridningen via ventilationen görs även för att kunna säkerställa att kritiska förhållanden i Studioscenen inte uppnås med de åtgärder som föreslagits. Ventilationen förenklas till ett hål med samma dimensioner som ventilationskanalen mellan Studiofoajén och Studioscenen och placeras under taket, mellan de båda lokalerna. Både en brand på 6 MW och en brand på 10 MW simuleras. Kritiska förhållanden uppnås inte i någon av simuleringarna, vilket visar att en säker utrymning kan genomföras trots viss brandgasspridning via ventilationen.

Då Studiofoajén är ett slutet utrymme när alla dörrar är stängda finns risk för backdraft, om branden hinner bli ventilationskontrollerad och någon öppnar en dörr in till Studiofoajén. Handberäkningar i bilaga B visar att branden, med en tillväxthastighet på $0,19 \text{ kW/s}^2$, som tidigast blir ventilationskontrollerad efter 205 sekunder. Summan av varseblivningstiden och beslut- och reaktionstiden blir som mest cirka 112 sekunder. Detta innebär att förflyttningen påbörjas långt innan branden blir ventilationskontrollerad. Därmed är risken att någon av nyfikenhet skulle öppna dörren i ett sent skede av utrymningen inte särskilt stor, eftersom informationen om att det brinner i Studiofoajén redan bör ha meddelats personerna emellan.

7.10.2 Känslighetsanalys av åtgärder

För att kontrollera åtgärderna med en känslighetsanalys ökas maxeffekten till 10 MW för att kunna säkerställa att åtgärderna är giltiga även om fler jackor skulle hängas i den obevakade garderoben. Det täcker även in brand i eventuella bänkar eller liknande som kan finnas i Studiofoajén.

Vid simuleringen aktiverar detektorn i Studiofoajén efter 20 sekunder, varvid dörrarna börjar stängas. Då det inte uppstått kritiska förhållanden i någon av lokalerna där människor vistas innan 30 sekunder gäller även åtgärden för en brand med maxeffekten 10 MW. Det ska även tilläggas att branden kommer att bli syrekontrollerad då dörrarna till Studiofoajén stängs, eftersom Studiofoajén är ett begränsat utrymme.

7.10.3 Sammanfattning åtgärder

Åtgärder som *ska* genomföras för att säkerställa säker utrymning i Scenario 2 är:

- Installera automatiska dörrstängare för samtliga dörrar i Studiofoajén. Dessa ska vara kopplade till brandlarmcentralen och aktiveras vid detektion av brand. Inga föremål får begränsa dörrarnas möjlighet att stängas. Regelbundna tester av de automatiska dörrstängarnas funktion ska genomföras.

Följande åtgärder *bör* genomföras för att generellt förbättra brandsäkerheten vid en brand i den obevakade garderoben i Studiofoajén:

- Gör Studiofoajén till en egen brandcell.

Eftersom Studiofoajén är en gemensam utrymningsväg för flera lokaler bör den göras till en egen brandcell (Boverket 2). Brandspridning förhindras även effektivt på detta sätt, vilket innebär att räddningstjänsten lättare kan begränsa skadorna vid en brand. Det ska dock sägas att denna åtgärd inte måste utföras för att säker utrymning ska kunna genomföras i detta scenario.

7.11 Reflektioner

Brandscenario 2 behandlas med ett probabilistiskt angreppssätt på grund av de många konfigurationer av öppna och stängda dörrar och antal personer som kan förekomma i Studiofoajéns angränsande salar. Det finns inget enskilt delscenario som täcker in samtliga andra delscenarier och det är därför svårt att på förhand avgöra vilket delscenario som är det värsta tänkbara.

Den probabilistiska arbetsmetoden med 16 olika delscenarier som används i Scenario 2 medför en komplikation. Beräkningarna visar att det uppstår kritiska förhållanden i både Kongressfoajén och Studioscenen i delscenario 11. Att mäta tidsmarginalen i båda rummen är inte relevant då det bara krävs att ett av rummen har en negativ tidsmarginal för att säker utrymning inte ska kunna ske i delscenariot. Vid en närmare kontroll konstateras det att kritiska förhållanden uppstår i Kongressfoajén i ett tidigare skede än i Studioscenen, samtidigt som förflyttningstiden är längre i Kongressfoajén än i Studioscenen, varför det kan anses att Kongressfoajén är den dimensionerande lokalen.

Det kan konstateras att variabeln antal personer, som beskrivs med en likformig sannolikhetsfördelning, påverkar resultatet till stor del. En mer precis fördelning av denna variabel hade gjort resultatet mer exakt och mer sanningsenligt. Det är dock inte troligt att utrymning hade kunnat genomföras säkert med en bättre fördelning på antalet besökare, eftersom det maximala antalet inte påverkas.

Om dörrarna inte stängs då brandlarmet sätts igång, på grund av blockering eller felfunktion, kan inte säker utrymning garanteras. Därför bör det införas någon form av rutin för test av de automatiska dörrstängarnas funktion. Det bör även informeras vid varje evenemang som hålls i lokalerna som angränsar till Studiofoajén att dörrarna inte får blockeras och kontroller bör genomföras så detta efterlevs.

Att endast använda ett system för att säkerställa utrymningssäkerheten medför stor utsatthet för yttre påverkan. Vad händer om en person öppnar en dörr, som för utrymningssäkerhetens skull ska vara stängd? Om en dörr står öppen går det inte att garantera att säker utrymning kan ske i den angränsande lokalen. Sannolikheten för att en dörr ska förbli öppen efter att person har öppnat den är dock liten. Dörrstängarna gör att dörren stängs igen så fort personen släpper dörren, vilket är troligt om personen i fråga ser att det brinner i rummet. Därför bör utrymningen inte påverkas om en person av nyfikenhet eller okunskap öppnar en dörr som för utrymningssäkerhetens skull, i det specifika fallet, ska vara stängd.

I scenariot undersöks det inte om utrymningen i teaterfoajén påverkas av att dörren är öppen mellan Studiofoajén och teaterfoajén. Anledningen är att brandgasspridning i teaterfoajén behandlas i Scenario 3 där brandbelastningen bedöms vara större och kylning av brandgaserna sker i mindre omfattning. Med dörrstängare i Studiofoajén förhindras även brandgasspridning till teaterfoajén, vilket betyder att åtgärden också motverkar att personer i teaterfoajén utsätts för eventuella kritiska förhållanden.

I Scenario 2 är valet av maxeffekt, och därmed valet av antal personer i lokalerna, något som har stor inverkan på resultatet. Då maxeffekten är direkt kopplad till antalet personer i lokalerna är det sannolikhetsfördelningen på antalet personer som ligger till grund för resultatet av tidsmarginalen. Att ha en likformig fördelning för en variabel med stor påverkan på resultatet medför att resultatet är belagt med stora osäkerheter. Detta medför att procentsatserna, exempelvis andelen fall som klarar utrymning i delscenarierna, inte är några absoluta mått utan endast en fingervisning.

8. Brandscenario 3 – Teaterfoajén

Nedan utvärderas brandscenariot i teaterfoajén. Efter beskrivningen av scenariot genomförs simuleringar för att kontrollera om en säker utrymning kan genomföras. En deterministisk analys genomförs enligt metodiken som beskrivs i avsnitt 4.6.2 *Deterministisk analys*.

8.1 Beskrivning

En brand antas starta i soffan, som står bredvid baren i teaterfoajén, och brandspridning antas ske till baren. Brandbelastningen i baren består till största delen av det trä som baren är uppbyggd av, samt övrig inredning och material. Exempel på övrigt material är plastbackar som förvaras temporärt bakom disken.

Teatersalongen antas vara fullsatt, vilket innebär att 426 personer och eventuell personal befinner sig i salongen. Dessa personer har teaterfoajén som ordinarie utrymningsväg. Teaterfoajén visas i figur 58 och 59.

Dörrarna in till teatersalongen antas vara stängda under föreställningen, men öppnas så fort personerna i salongen påbörjar utrymningen. I scenariot antas att brandens placering kan variera och därför kan olika utrymningsvägar vara blockerade av branden. De bord och stolar som står utplacerade i teaterfoajén kan vara i vägen för den alternativa utrymningsvägen från teaterfoajén, som leder till hotellet i fastigheten bredvid. Borden och stolarna kan även till viss del vara i vägen för de som väljer att gå förbi branden i baren.

På grund av teaterfoajéns stora volym förväntas rökfyllnad av lokalen ta lång tid, men eftersom många personer använder lokalen som utrymningsväg är scenariot ändå intressant att undersöka närmare.



Figur 58: Överblick av teaterfoajén. Baren kan ses till höger i bild.



Figur 59: Barens utsträckning.

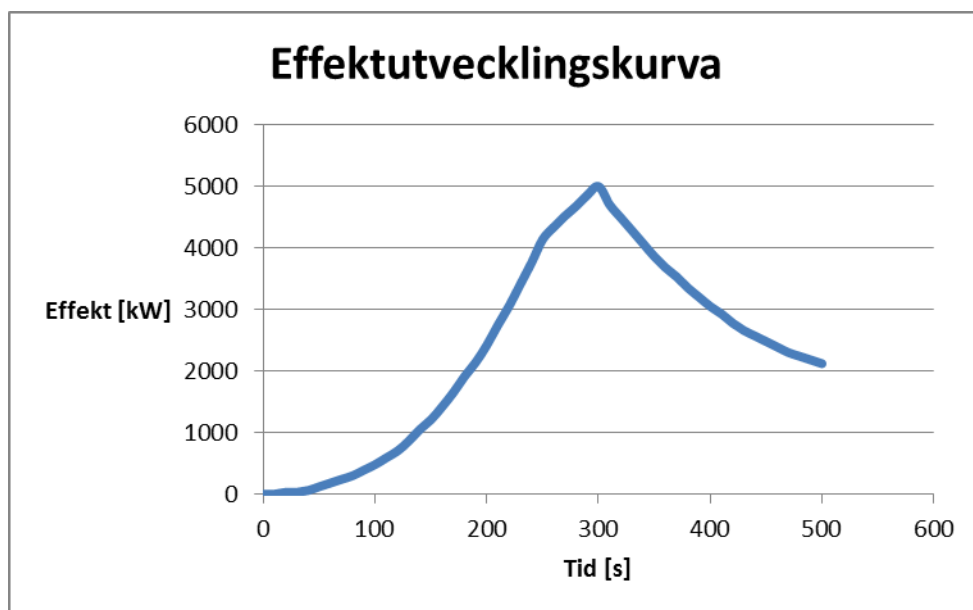
8.2 Ventilation

Teaterfoajéns ventilation är förenad med ventilationen från Clarion Hotell Grand Östersund bredvid. Det innebär att teaterfoajéns till- och frånluft går genom en fastighetsgräns, till en byggnadsdel som inte behandlas i rapporten. Då ventilationen stängs av vid detektion av brand anses ventilationssystemet ha en mindre påverkan på rökfyllnaden i teaterfoajén. Eftersom ventilationskanalerna passerar en brandcellsgräns mellan teatern och hotellet bör brandgasspridning i ventilationen förhindras, till exempel genom brandgasspjäll. Då information om eventuella befintliga brandgasspjäll saknas ges förslag på hur brandgasspridning genom ventilationssystemet kan förhindras i avsnitt 8.9 *Åtgärder*. Därför tas ingen hänsyn till ventilationssystemet i kommande beräkningar.

8.3 Brandens tillväxthastighet och maxeffekt

Soffan i teaterfoajén är en tygsoffa och stoppningen antas till största del bestå av polyuretanskum. Babrauskas et al (1982) har utfört experiment där bland annat soffor och andra stoppade möblers effektutvecklingar uppmätts. En soffa som testats liknar den som finns i teaterfoajén med avseende på storlek och material. I experimentet uppmättes den maximala effektutvecklingen 3 MW och tillväxthastigheten 0,057 kW/s². Försök med liknande men mindre soffor tyder på en något lägre tillväxthastighet men i samma storleksordning (Särdqvist, 1993). För ett värsta troliga fall används därför tillväxthastigheten 0,057 kW/s² och den maximala effektutvecklingen 3 MW för soffan i teaterfoajén.

Baren i teaterfoajén består av trä och därför antas att brandbelastningen från baren i huvudsak bestå av trä. Tillväxthastigheten för trä varierar, se avsnitt 6.3 *Brandens tillväxthastighet och maxeffekt*, mellan cirka 0,004 kW/s² och 0,047 kW/s². För ett värsta troliga fall används därför tillväxthastigheten 0,047 kW/s² för baren i teaterfoajén. För att kunna uppskatta en maximal effektutveckling för baren görs en bedömning gällande mängden brännbart material i baren. Denna mängd antas vara cirka 100 kilogram, vilket innebär att samma maximala effektutveckling som använts för branden i Scenario 1 tillämpas här. Den maximala effektutvecklingen för branden i baren är således 2 MW. Brandens totala effektutveckling kan ses i figur 60.

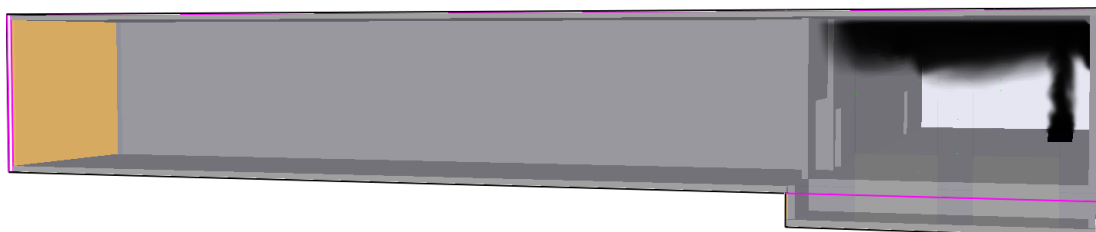


Figur 60: Effektutveckling som funktion av tiden i teaterfoajén.

8.4 Tillgänglig tid för säker utrymning

Figur 61 visar geometrin och tillvägagångssättet för CFD-simuleringen beskrivs i bilaga E. Resultatet av simuleringen visar att kritiska förhållanden fås i teaterfoajén efter 220 sekunder på grund av brandgaslagrets höjd och siktförhållandena, om brandspridning till baren sker efter 90 sekunder. För beräkning av tiden till brandspridning, se bilaga E.

$$t_{\text{tillgänglig}} = 220 \text{ sekunder}$$



Figur 61: Geometrin som simuleras i programmet FDS.

8.5 Utrymningstid

Nedan beskrivs hur de olika delarna som ingår i utrymningstiden tas fram.

8.5.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden beräknas genom att detektorer placeras ut i CFD-simuleringen på samma positioner som i verkligheten. Resultatet av simuleringen visar att aktivering sker efter cirka 60 sekunder för de två närmsta detektorerna i teaterfoajén, se bilaga E. Sannolikheten att båda detektorerna skulle felfunktionera samtidigt anses vara försumbart liten då felsannolikheten för varje detektor antas vara 10 % enligt avsnitt 6.8.1 *Felfungerande detektor*. Varseblivningstiden sätts därför till 60 sekunder.

$$t_{\text{varseblivning}} = 60 \text{ sekunder}$$

8.5.2 Beslut- och reaktionstid

Beslut- och reaktionstiden för en teater kan antas vara 120 sekunder (Frantzich, 2001). Faktorer som gör att denna tid förkortas skulle kunna vara att branden är synlig för personerna i teatersalongen eller att det finns utbildad personal på plats. För att få ett konservativt värde antas det att ingen av dessa faktorer gäller i detta fall, varför tiden för beslut och reaktion sätts till 120 sekunder.

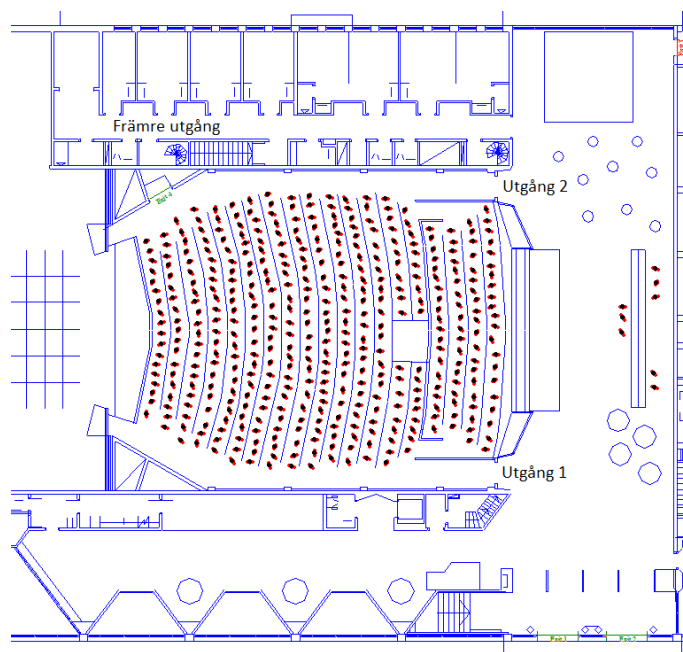
$$t_{\text{beslut och reaktion}} = 120 \text{ sekunder}$$

8.5.3 Förflyttningstid

För att kunna beräkna förflyttningstiden görs vissa förändringar. Hela våningen antas ha samma golvhöjd, vilket är en förenkling som har liten påverkan på resultatet eftersom det uppstår köbildning i ett tidigt skede. Den något lägre gånghastigheten som fås till följd av förändringar i golvhöjden är därför försumbar. I teaterfoajén finns både bord och stolar som medför utrymningssvårigheter. I simuleringen förenklas de till ett fåtal cirkulära objekt för att få motsvarande köbildning. De simulerade personerna är i säkerhet så fort de har lämnat teaterfoajén.

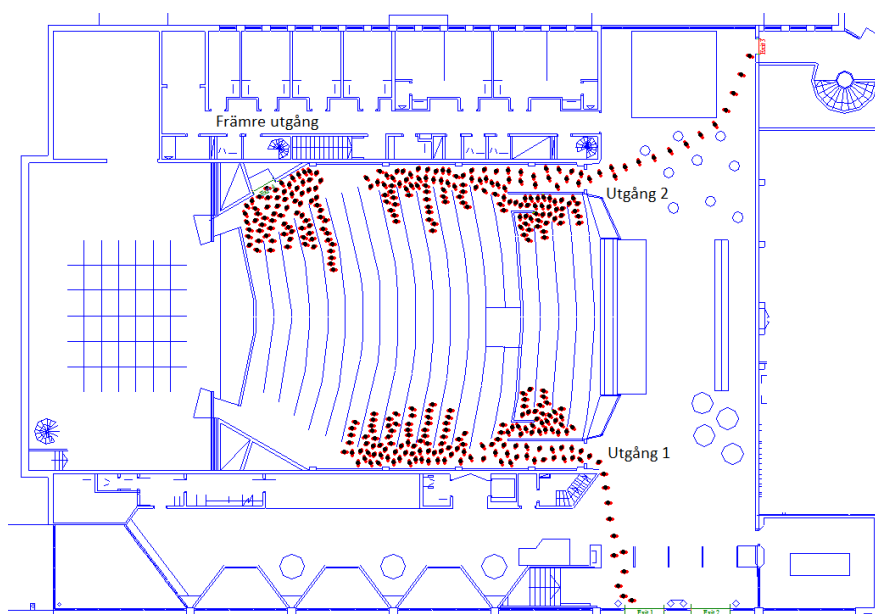
Det finns huvudsakligen tre separata utrymningsvägar från teatersalongen och teaterfoajén. En nödutgång finns i den främre delen av teatersalongen, en finns i den borte delen av teaterfoajén, bredvid den lilla scenen och slutligen finns huvudentrén, se figur 62.

Utrymningssimuleringen görs med 426 personer i teatersalongen och 8 personer i teaterfoajén, vilka representerar arbetande personal i baren, se figur 62. Då det inte sker några evenemang i teaterfoajén och teatersalongen samtidigt antas att inga ytterligare personer vistas i teaterfoajén, förutom personal.



Figur 62: Geometrin som används i programmet Simulex.

Andelen personer som använder ordinarie utgång är 35 % som tar den övre utgången (utgång 2) och 35 % som tar den nedre utgången (utgång 1), se figur 63. Resterande 30 % använder den främre utgången.



Figur 63: Fördelningen av personer som tar respektive utrymningsväg från teatersalongen.

Antagandet har sin grund i att vid en teaterföreställning fördelas personerna jämnt över de två ingångarna när de går in, för att förhindra köbildning. Personer tar ofta samma väg ut som de gick in och därför antas det att personerna fördelas jämnt även vid en utrymning. Personerna som tar den övre utgången från teatersalongen fortsätter sedan till utrymningsvägen bredvid scenen i teaterfoajén. De personer som använder teatersalongens nedre utgång (utgång 1) går direkt till huvudentrén i nedre delen av foajén.

Resultatet av simuleringen visar att det tar 150 sekunder för den sista personen att utrymma lokalen.

$$t_{\text{förflyttning}} = 150 \text{ sekunder}$$

8.6 Beräkning av tidsmarginal

Tidsmarginalen beräknas på samma sätt som i tidigare scenarier.

$$t_{\text{utrymning}} = t_{\text{varseblivning}} + t_{\text{beslut och reaktion}} + t_{\text{förflyttning}} = 60 + 120 + 150 = 330 \text{ sekunder}$$

$$t_{\text{tillgänglig}} - t_{\text{utrymning}} = 220 - 330 = -110 \text{ sekunder}$$

Tidsmarginalen blir negativ vilket betyder att personer inte kommer att hinna utrymma byggnaden innan kritiska förhållanden uppnås. Åtgärder kommer därför att undersökas för att förbättra utrymningsmöjligheterna.

8.7 Validering av CFD-simulering

Då rummets geometri och brandens egenskaper inte tillåter användning av tvåzonsmodeller eller handberäkningar kan ingen vidare validering av simuleringen genomföras. Problematik kring att inte validera diskuteras i avsnitt 8.10 *Reflektioner*. En verifiering av gridoberoendet utförs dock i avsnitt 8.8.2 *Gridoberoende*.

8.8 Känslighetsanalys

Nedan varieras ett flertal parametrar för att se hur resultatet påverkas.

8.8.1 Tid till brandspridning

För att kontrollera om tiden till brandspridning sker har stor inverkan på resultatet görs en känslighetsanalys där tiden ändras från 90 till 120 sekunder. Resultatet av känslighetsanalysen redovisas i figur 91-95 i bilaga E. Slutsatserna som dras är att temperatur, brandgaslagrets höjd, optisk densitet och strålning överensstämmer bra i de två scenarierna, vilket innebär att påverkan på resultaten är liten beroende på om brandspridning sker efter 90 eller 120 sekunder.

8.8.2 Gridberoende

För att kontrollera resultatets gridberoende görs ytterligare en känslighetsanalys där cellstorleken minskas från 0,2 x 0,2 x 0,2 m till 0,1 x 0,1 x 0,1 m och resultatet av simuleringarna redovisas i figur 96-98 i bilaga E. Slutsatserna som dras är att resultatet påverkas marginellt av minskningen av cellstorleken.

8.8.3 Bedömning av glasväggarnas integritet

Enligt en sammanställning gjord av Babrauskas (2010) krävs det att brandgaserna når en temperatur på över 440°C för att ett 6 millimeter tjockt fönsterglas ska gå sönder. För att kontrollera att glasväggarna i teaterfoajén inte går sönder genomförs en känslighetsanalys i FDS där temperaturen i lokalen undersöks. Resultatet visar att temperaturen aldrig överstiger 350°C i brandgaslagret vilket tyder på att glasväggarnas integritet bibehålls. Hänsyn bör även tas till att glaset i undersökningen var 6 millimeter tjockt medan glaset i väggarna i teaterfoajén bör vara betydligt tjockare eftersom det är en del av fasaden. Det kan därför konstateras att ingen påverkan kommer ske på teaterfoajéns glasväggar och således utförs ingen utförligare kontroll av detta.

8.9 Åtgärder

För att en säker utrymning ska kunna genomföras genom teaterfoajén måste tiden till kritiska förhållanden förlängas eller utrymningstiden förkortas. Tiden till kritiska förhållanden kan förlängas exempelvis genom att installera brandgasventilation som ventilerar ut brandgaserna ur lokalen. Brandgasventilationen ska vara kopplad till brandlarmcentralen och aktivera vid detektion av brand.

Ett annat sätt att förlänga tiden till kritiska förhållanden kan vara att installera sprinkler i teaterfoajén för att på så sätt begränsa branden i ett tidigt skede. Både installation av brandgasventilation och sprinkler kontrolleras nedan.

För att förhindra att brandgaser sprids via ventilationssystemet in till den angränsande fastigheten bör brandgasspjäll installeras i de berörda ventilationskanalerna (Boverket 2). Åtgärden bör dock undersökas ytterligare då installation av brandgasspjäll kan komma i konflikt med befintliga system.

8.9.1 Dimensionering och validering

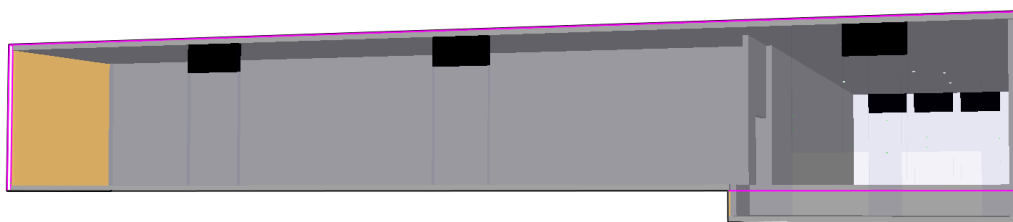
Nedan undersöks och valideras de åtgärdsförslag som nämns ovan.

8.9.1.1 Sprinkler

För att kontrollera om installation av sprinkler i teaterfoajén skulle leda till att säker utrymning kan ske görs ytterligare en CFD-simulering. I simuleringen antas att brandens effekt förblir konstant vid sprinkleraktivering, vilket är ett konservativt antagande (Staffansson, 2010). Resultatet av simuleringen visar att brandgaslagret och sikten når en kritisk nivå efter cirka 230 sekunder, vilket är betydligt kortare än utrymningstiden. På grund av det välvda taket och balkar i teaterfoajén krävs att ett innertak byggs för att sprinkler ska kunna installeras. Detta gör både att takhöjden blir lägre och att takets estetiska utformning försvinner. På grund av ovannämnda orsaker behandlas åtgärden därför ej vidare och istället kontrolleras installation av brandgasventilation.

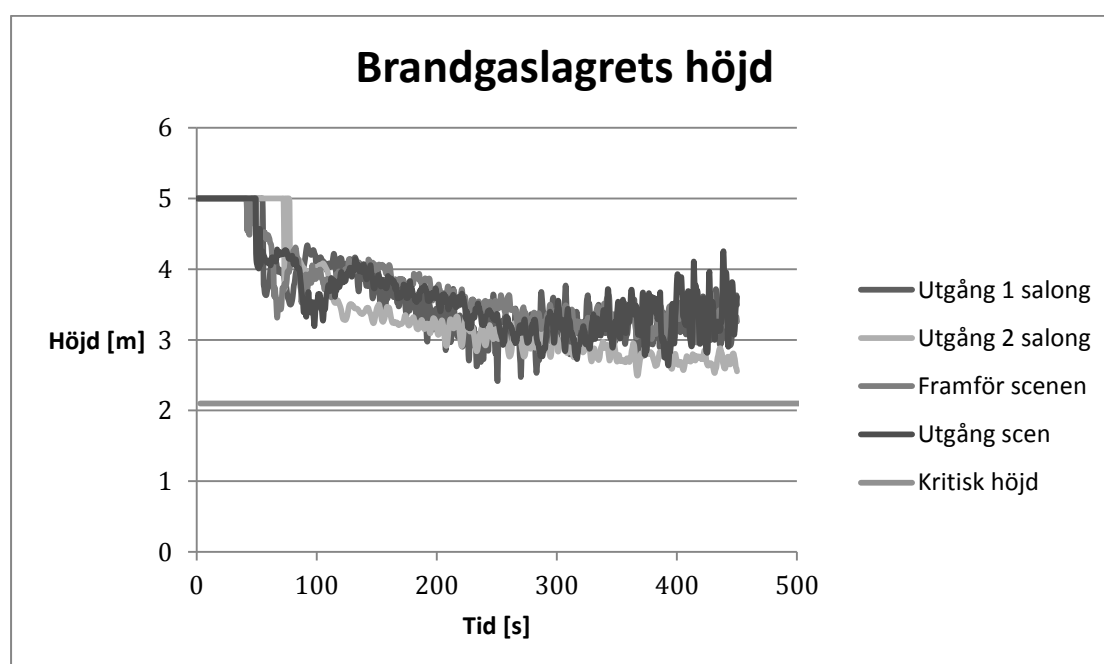
8.9.1.2 Brandgasventilation

För att göra en grov uppskattning av hur stor area som brandgasventilationen måste vara används handberäkningar som redovisas i bilaga B. Resultatet av beräkningarna visar att brandgasventilationen måste vara minst 6 m² för att brandgaslagret ska stabiliseras 3,5 m över golvet med tilluftsarean 9,2 m². Tilluftsarean motsvarar arean av huvudingången till teaterfoajén. För att kontrollera åtgärden görs en CFD-simulering där tre brandgasluckor med dimensionerna 2 x 1 meter (höjd x bredd) placeras i väggen bakom scenen i foajén. Resultatet av simuleringen visar att brandgaslagret når en kritisk höjd efter ungefär lika lång tid som utrymningstiden. För att öka tidsmarginalen görs därför en ny simulering där ytterligare tre brandgasluckor placeras ut i lokalen, den här gången i väggen till cafeterian, se figur 64. Brandgasventilationens totala area blir då 12 m².

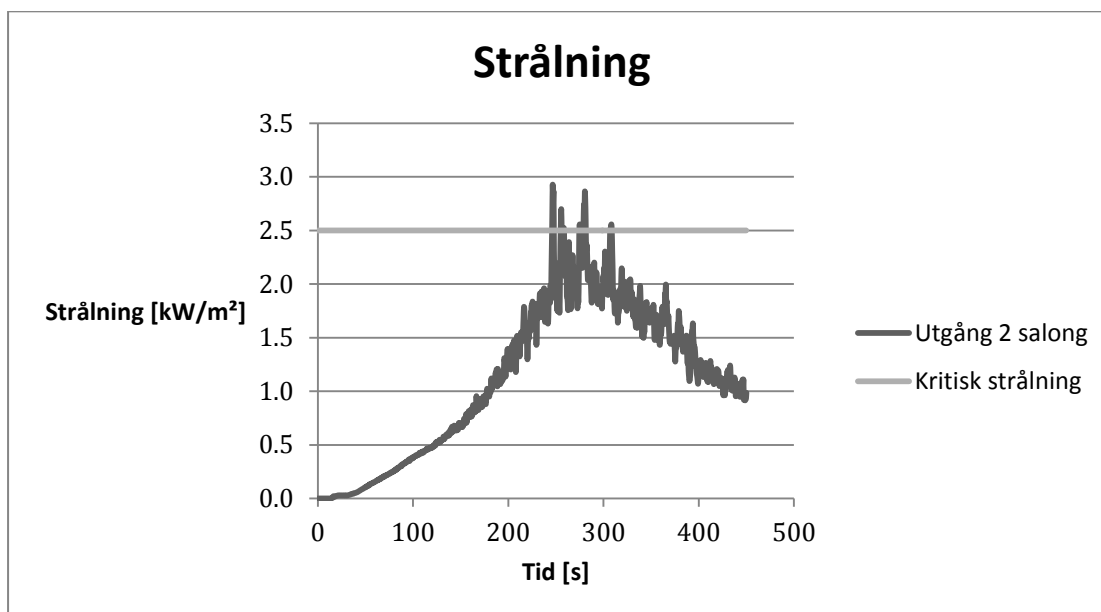


Figur 64: Brandgasluckornas placering i lokalen.

Tilluftsarean ökas också till 16,4 m², vilket motsvarar antingen huvudentrén tillsammans med den gamla entrén vid garderoben eller huvudentrén tillsammans med dörrarna från salongen och dörren vid scenen. Resultatet av simuleringen redovisas i figur 65 och 66 nedan.

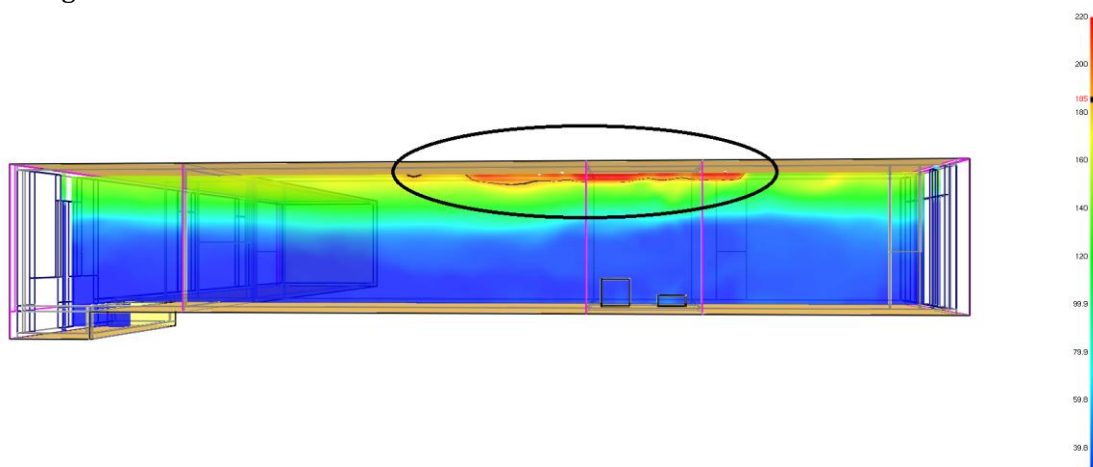


Figur 65: Brandgaslagrets höjd i teaterfoajén som funktion av tiden med 12 m² brandgasventilation.



Figur 66: Strålningen i teaterfoajén som funktion av tiden med 12 m² brandgasventilation.

Simuleringen visar att brandgaslagret inte når den kritiska nivån under de 450 sekunder som simuleras. Temperaturen vid vissa ställen närmast taket i teaterfoajén överskrider dock den beräknade kritiska temperaturen på 185°C, se markerat område i figur 67. För beräkning av kritisk temperatur i brandgaslagret, se strålningsberäkningar i bilaga B.



Figur 67: Temperaturen i ett tvärsnitt av teaterfoajén.

Strålningen mot golvet från denna del av brandgaslagret begränsas dock av de underliggande brandgaserna. Beräkningarna av den kritiska temperaturen bygger dessutom på det värsta fallet, det vill säga att synfaktorn och emissionstalet båda har värdet ett, vilket resulterar i en lägre kritisk temperatur än i verkligheten. Den kritiska temperaturen överskrids endast under taket nära branden, där strålningen från branden ändå överstiger strålningen från brandgaslagret. Med stöd av argumenten ovan anses därför att strålningen från brandgaslagret inte kommer att överstiga den kritiska nivån.

Strålningen från själva branden ligger dock nära den kritiska nivån 2,5 kW/m², se figur 66. Strålningsberäkningarna i FDS är som beskrivs i bilaga A mycket osäkra och beror bland annat på antalet celler och antalet strålar som definieras i programmet. Stor osäkerhet finns också i brandens exakta placering och storlek och därför kan det inte garanteras att branden inte blockerar någon av utgångarna från salongen.

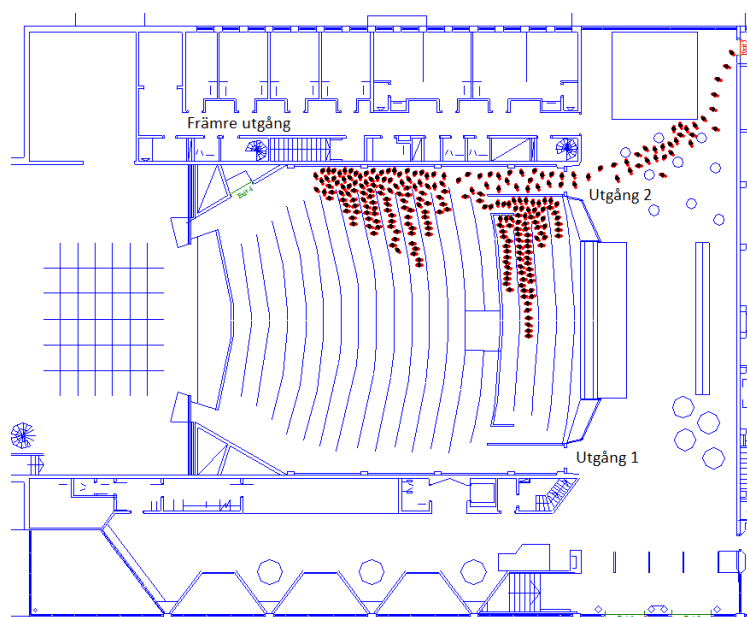
8.9.1.2.1 Förflyttningstider vid blockerad utrymningsväg

Nya utrymningssimuleringar görs för att kontrollera hur långa förflyttningstider som fås om en av utgångarna från salongen skulle vara blockerad av branden, se tabell 8.

Tabell 8: Förflyttningstider då en utgång från teatersalongen blockerats av branden.

Konfiguration	Förflyttningstid [s]
30 % främre utgång salong, 70 % utgång 2 salong	227
30 % främre utgång salong, 70 % utgång 1 salong	184

I simuleringarna antas att 30 % av gästerna tar den främre utgången från salongen, likt tidigare utrymningssimuleringar, och att resterande 70 % tar utgången som inte är blockerad mot teaterfoajén. Då utgång 1 från salongen antas vara blockerad uppstår köbildning från utgång 2 nästan ända ner till den främre utgången i teatersalongen, se figur 68. Rimligtvis bör därför en större andel av personerna i salongen ta den främre utgången, vilket antyder att förflyttningstiden är konservativ. I avsnitt 8.9.2.2 *Val av utrymningsväg* analyseras andelen personer som tar respektive utgång närmare.



Figur 68: Köbildningen som uppstår i salongen då utgång 1 blockerats av branden. 30 % av personerna i salongen antas använda den främre utgången.

Den längsta förflyttningstiden fås om utgång 1 från salongen är blockerad av branden, det vill säga utgången närmast huvudentrén. Samtliga personer som tar utgång 2 från salongen måste då använda utrymningsvägen bredvid scenen i teaterfoajén. Förflyttningstiden blir då 227 sekunder och den nya utrymningstiden blir:

$$t_{\text{utrymning}} = t_{\text{varseblivning}} + t_{\text{beslut och reaktion}} + t_{\text{förflyttning}} = 60 + 120 + 227 = 407 \text{ sekunder}$$

Enligt resultaten från CFD-simuleringen, se figur 65 ovan, kommer kritiska förhållanden inte uppnås i teaterfoajén under de 450 sekunder som simuleras och utrymning kan därför ske säkert vid installation av brandgasventilation.

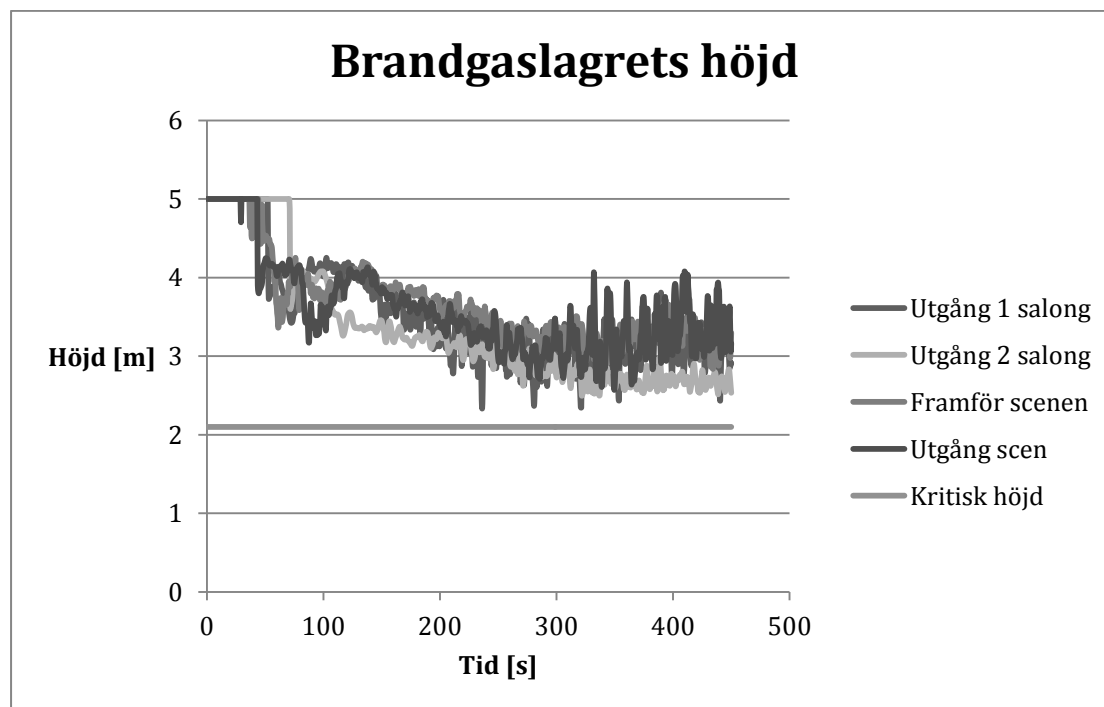
8.9.2 Känslighetsanalys av åtgärder

Nedan undersöks hur maxeffekten och andelen personer som tar respektive utgång påverkar slutresultatet.

8.9.2.1 Maxeffekt

I simuleringarna antas att soffans maxeffekt är 3 MW och att barens maxeffekt är 2 MW. Parametern är dock belagd med osäkerheter och en känslighetsanalys utförs för att kontrollera om föreslagna åtgärder är giltiga även om brandens maxeffekt är större. En CFD-simulering görs där brandens maxeffekt ökas med 50 %, det vill säga till totalt cirka 7,5 MW, för att kontrollera hur resultatet påverkas. Resultatet redovisas i figur 69 nedan.

Resultatet av simuleringen visar att kritiska förhållanden inte uppnås i teaterfoajén då brandgaslagrets höjd aldrig understiger 2,5 meter ovan golv. Temperaturen på vissa ställen närmast taket i teaterfoajén överskrider dock den beräknade kritiska temperaturen på 185°C, på liknande sätt som då åtgärden kontrollerades i avsnitt 8.9.1.2 *Brandgasventilation*. Med samma motivering som tidigare anses det däremot inte påverka utrymningen och åtgärden är giltig även vid en större maxeffekt.



Figur 69: Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden i teaterfoajén med en ökad maxeffekt.

8.9.2.2 Val av utrymningsväg

För att kontrollera hur tidsmarginalen påverkas av att en större andel personer använder den utgång mot teaterfoajén som inte blockeras av branden istället för den främre utgången i teatersalongen görs en känslighetsanalys där andelen varierar. Branden antas blockera utgång 1 från teatersalongen då det ger de längsta förflyttningstiderna. Resultaten redovisas i tabell 9 nedan.

Tabell 9: Känslighetsanalys av andelen personer som tar respektive utgång i teatersalongen.

Konfiguration	Förflyttningstid [s]	Total utrymningstid [s]
30 % främre utgång salong, 70 % utgång 2 salong	227	407
20 % främre utgång salong, 80 % utgång 2 salong	252	432
10 % främre utgång salong, 90 % utgång 2 salong	270	450

Känslighetsanalysen enligt tabell 9 visar att den totala utrymningstiden inte överskrider de 450 sekunder som simulerades vid validering av åtgärderna. Att det inte finns någon marginal mellan den totala utrymningstiden och simuleringstiden har mindre betydelse då branden sedan länge har nått sin maxeffekt och ingenting indikerar att förhållandena i teaterfoajén kommer försämrats. Andelarna i tabell 9 är dessutom mycket konservativa och köbildningarna tyder på att en större andel rimligtvis tar den främre utgången.

8.9.3 Sammanfattning av åtgärder

Åtgärder som *ska* genomföras för att säkerställa säker utrymning i Scenario 3 är:

- Installera brandgasventilation i form av brandgasluckor, med en total area på minst 12 m² i teaterfoajén och cafeteria. Brandgasventilationen ska vara kopplad till brandlarmcentralen och aktiveras vid detektion av brand.
- Installera dörröppnare vid dörrarna i huvudentrén och den gamla huvudentrén för att säkerställa en tillräcklig mängd tilluft för brandgasventilationen. Dörröppnarna ska vara kopplade till brandlarmcentralen och aktiveras vid detektion av brand.

Följande åtgärder *bör* genomföras för att generellt förbättra brandsäkerheten vid en brand i teaterfoajén:

- Installera brandspjäll i ventilationskanalerna som leder till den angränsande fastigheten för att förhindra brandgasspridning.

8.10 Reflektioner

Scenariot har behandlats med ett deterministiskt tillvägagångsätt som beskrivs i avsnitt 4.6.2 *Deterministisk analys*. Anledningen till detta tillvägagångsätt är att lokalens dimensioner gör att användandet av tvåzonsmodeller kan bli problematiskt. Därför användes istället programmet FDS, som inte har samma begränsningar gällande geometrin. Ett begränsat antal simuleringar kan utföras i FDS på grund av de långa simuleringstiderna, vilket får till följd att analytiska samband för tid till kritiska förhållanden inte kan tas fram. Därför görs punktskattningar för samtliga parametrar, istället för sannolikhetsfördelningar som varit fallet i tidigare scenarier.

Vid CFD-simuleringarna har några förenklingar av geometrin i teaterfoajén varit nödvändiga. Den välvda träpanelen och balkarna i taket har försumrats. Den volym som dessa konstruktioner utgör antas vara försumbar och de stora springorna i den välvda träpanelen gör att brandgasspridningen inte påverkas i någon större utsträckning. Dock kan brandgaslagrets temperatur bli något högre i simuleringarna då värmeförluster till träpanelen och balkarna försummas. Ingen hänsyn har heller tagits till att det egentligen är öppet mellan cafeterian och bottenplan. Detta motiveras med att det utrymmet inte har någon påverkan för tid till kritiska förhållanden.

Någon validering av CFD-simuleringarna har inte kunnat genomföras då tvåzonsmodellens och handberäkningarnas giltighet inte innefattar geometrin för teaterfoajén. Istället för validering har en verifiering gjorts med avseende på gridstorleken i FDS. Osäkerheter finns dock i resultatet för scenariot på grund av avsaknad av validering. Vid kontrollen av åtgärderna finns en viss marginal mellan brandgaslagrets höjd och den kritiska höjden, vilket till viss del kompenserar för några av de osäkerheter som bristen på validering medför.

Osäkerheter finns även kring brandens placering och storlek. Vid besöket stod en stor tygsoffa bredvid baren och en mängd stolar och bord var utplacerade i teaterfoajén. Konfigurationen gällande möbleringen av teaterfoajén kan skilja mellan olika tillställningar, varför placering och maxeffekt av en eventuell brand blir svåra att avgöra. I scenariot valdes en brand i tygsoffan som sedan spreds till baren efter en viss tid. I kontrollen av åtgärder inkluderades att brandens placering kan variera genom att anta att utrymningsvägar kan blockeras av branden. Antagandet gjordes att personerna valde en alternativ utrymningsväg då strålningen från branden var hög. Det går inte att garantera att personer väljer alternativa utrymningsvägar vid höga strålningsnivåer. I det aktuella brandscenariot kan personer ofrivilligt tvingas gå nära en brand på grund av det stora personantal som kan befinna sig bakom. Bedömningen som gjordes var dock att det mest troliga är att personerna kan kommunicera med varandra och välja en alternativ utrymningsväg då de upptäcker att den tänkta utrymningsvägen är blockerad av en brand.

I känslighetsanalysen ökades brandens maxeffekt med 50 % för att se hur åtgärderna fungerar vid en högre effekt. Känslighetsanalysen visade att åtgärderna är giltiga för den högre effekten vilket delvis kompenserar för osäkerheterna gällande brandens storlek.

Ventilationskanaler som går genom brandcellsgränser till andra byggnadsdelar bör beläggas med brandgasspjäll för att förhindra brandgasspridning till hotellet, som ligger i anknytning till Storsjöteatern, vid en eventuell brand. Brandgasspjällen stängs vid detektion av brand och förhindrar spridning av brandgaser via ventilationen vilket medför att ventilationen kan försummas vid scenarioberäkningar. Åtgärden med brandgasspjäll bör dock som tidigare nämnt undersökas ytterligare för att inte komma i konflikt med befintliga system.

9. Diskussion

Vid val av brandscenarier gjordes en sammanvägning av respektive scenarios bedömda konsekvens och sannolikhet. Scenarierna rankades dock bara i förhållande till varandra då ingen specifik statistik kunde hittas för att rangordna scenariernas sannolikhet och konsekvens i förhållande till övriga samhället. För att kringgå problematiken med brist på statistik hade en grundligare analys kunnat genomföras. Genom att samla olika experter med kunskaper om till exempel fastigheten, verksamheten och troliga brandförlopp i en diskussionsgrupp hade en bättre uppskattning av sannolikheterna och konsekvenserna kunnat fås. På grund av förutsättningarna för arbetet, till exempel det långa avståndet till objektet, kunde inte en sådan expertgrupp sammankallas och därför valdes en enklare metod för uppskattning av sannolikheterna och konsekvenserna.

Modeller är förenklingar av verkligheten och innehåller alltid osäkerheter. Vid framtagning av de analytiska samband som användes i simuleringarna gjordes regressionsanalyser för att beskriva sambandet mellan mätpunkterna. Ett mått som beskriver hur bra sambandet är, R^2 , beräknades och fastställde att sambanden var starka. Osäkerheterna som regressionsanalysen ger upphov till är därför små. För att minska modellosäkerheterna gjordes i Scenario 1 och 2 valideringar av resultaten, med en annan datormodell. I Scenario 3 gjordes ingen validering av resultatet på grund av att teaterfoajéns geometri och brandens egenskaper inte tillät att tvåzonsmodeller eller handberäkningar kunde användas tillfredsställande. Osäkerheterna i Scenario 3 hanterades genom att använda värsta troliga värden för ingående parametrar.

Osäkerheter är också förknippade med beslut- och reaktionstiden. De värden som användes kommer från rekommendationer som bygger på verkliga försök. Människor reagerar olika och det är därför svårt att förutsäga hur lång beslut- och reaktionstiden är. Detta medför att det är svårt att reducera osäkerheten i parametern.

Vid simuleringarna av utrymningstiden gjordes antaganden om lokalernas möblemang, personernas placering samt val av utrymningsväg. Dessa antaganden grundas på befintlig litteratur och kvalitativa resonemang och bedöms vara rimliga. Osäkerheterna i ovannämnda antaganden är svåra att bedöma storleken på och att reducera.

Vid framtagning av de analytiska sambanden användes punktskattningar för vissa parametrar medan sannolikhetsfördelningar användes för andra parametrar. Genom känslighetsanalyser och kvalitativa resonemang gjordes bedömningar av vilka parametrar som påverkade resultatet mest och dessa tilldelades sannolikhetsfördelningar. Osäkerheter finns dock även i de parametrar där punktskattningar användes och dessa osäkerheter syns inte i tornadodiagrammen som gjordes. Exempel på sådana parametrar är gånghastighet, val av utrymningsväg och varseblivningstid. För en ännu utförligare analys skulle fler av parametrarna kunna varieras men detta skulle vara mycket tidskrävande.

Vid beräkning av tid till kritiska förhållanden var i samtliga fall brandgaslagrets höjd, kombinerat med sikten eller temperaturen på brandgaslagret den dimensionerande faktorn. I Scenario 1 och 2 undersöktes även toxiciteten, som inte var i närheten av gränsvärdena för acceptanskriterierna. På grund av detta bedömdes toxiciteten inte påverka tiden till kritiska förhållanden i Scenario 3, varvid den försumrades i det scenariot. Då brandgaslagret nådde den kritiska höjden i samtliga scenarier hade redan kriterierna för sikt eller temperatur uppnåtts. Även om toxiciteten hade varit hög i brandgaslagret hade den därför inte påverkat tiden till kritiska förhållanden i något scenario. För att tydligare visa detta hade dock mätningar av toxiciteten kunnat genomföras även i Scenario 3.

Överlag anses utrymningssäkerheten på Storsjöteatern vara relativt god. På grund av det stora personantal som kan vistas i lokalerna kan dock utrymningen bli problematisk i vissa fall. I samtliga tre scenarier som undersökts anses att åtgärder krävs för att förbättra brandsäkerheten. Hur god säkerheten är i de brandscenarier som inte undersökts närmare är svårare att bedöma. För att förbättra och undersöka brandsäkerheten ytterligare bör en fördjupning av de scenarier som finns i det mittersta området i riskmatrisen utföras.

10. Sammanfattande åtgärder

Åtgärder som *ska* genomföras för att säkerställa säker utrymning i de undersökta scenarierna:

- Utrymningsvägar får inte under några omständigheter vara blockerade.
- Utbilda personalen i systematiskt brandskydd och vilken roll de har i en utrymningssituation, exempelvis att uppmana besökare att utrymma vid brandlarm och visa var utrymningsvägar finns.
- Installera mekanisk brandgasventilation i Studioscenen som är kopplad till brandlarmcentralen och aktiveras vid detektion av brand. Ventilationen ska ha ett flöde på minst 7 m³/s. Regelbundna tester av den mekaniska brandgasventilationens funktion ska genomföras.
- Installera automatiska dörrstängare för samtliga dörrar i Studiofoajén. Dessa ska vara kopplade till brandlarmcentralen och aktiveras vid detektion av brand. Inga föremål får begränsa dörrarnas möjlighet att stängas. Regelbundna tester av de automatiska dörrstängarnas funktion ska genomföras.
- Installera brandgasventilation i form av brandgasluckor, med en total area på minst 12 m² i teaterfoajén och cafeteria. Brandgasventilationen ska vara kopplad till brandlarmcentralen och aktiveras vid detektion av brand.
- Installera dörröppnare vid dörrarna i huvudentrén och den gamla huvudentrén för att säkerställa en tillräcklig mängd tilluft för brandgasventilationen. Dörröppnarna ska vara kopplade till brandlarmcentralen och aktiveras vid detektion av brand.
- Om brandgasspjäll saknas ska sådana spjäll installeras i ventilationskanalerna som leder till den angränsande fastigheten för att förhindra brandgasspridning, förutsatt att åtgärden inte inkräktar på befintliga system.

Åtgärder som *bör* genomföras för att generellt förbättra brandsäkerheten i byggnaden:

- Informera de ansvariga för evenemang att utrymningsvägar och dörrar med dörrstängare inte får blockeras.
- Införa ett system för att kontrollera att utrymningsvägar och dörrar med dörrstängare inte är blockerade vid evenemang.
- Installera belysning i slussen i teatersalongens främre utrymningsväg.
- Förbättra utrymningsvägen i teatersalongens sydvästra hörn genom att göra dörren lättare att öppna, till exempel genom en panikregel, och bredda trappan på väg ner till dörren.
- Gör Studiofoajén till en egen brandcell.

Åtgärderna rangordnas i fallande ordning efter vilka åtgärder som anses viktigast.

11. Referenser

- Andersson, M. & Wadensten, K. (2002). *Brandteknisk riskanalys – indata, metodik och osäkerhetsanalys*. Lund: Lunds universitet.
- Babrauksas, V., Randall Lawson, J., Walton, W.D. & Twilley, W.H. (1982). *Upholstered Furniture Heat Release Rates Measured With A Furniture Calorimeter*. Washington DC: Center for Fire Research.
- Babrauskas, V. (2001). Ignition of Wood: A Review of the State of the Art. *Interflam 2001*, ss. 71-88. London: Interscience Communications Ltd.
- Babrauskas, V. (2002). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Third Edition. Quincy, MA: the National Fire Protection Association.
- Babrauskas, V. (2010). *Glass breakage in fires*. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.doctorfire.com/GlassBreak.pdf>> (2013-04-04).
- Boverket 1. (2011). *Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd*. BFS 2011:27. Karlskrona: Boverket.
- Boverket 2. (2011). *Regelsamling för byggande, BBR 2012*. BFS 2011:26 Karlskrona: Boverket.
- Brandteknik 1. (2012). *Brandskyddshandboken*. Lund: Lunds Universitet.
- Chow, W.K., Han, S.S., Dong, H., Gao, Y. & Zou, G.W. (2004). Full-scale burning tests on heat release rates of furniture. *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, volym 6, nummer 3, ss. 168-180.
- Dittmer, T. & Jämtäng, U. (2006). *Känslighetsanalys av FDS och dess undermodeller i ett tunnelscenario*. Lund: Lunds Universitet.
- Drysdale, D. (2011). *An introduction to fire dynamics*. Third edition. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- EPAL. (European Pallet Association e.V.). (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.epal-pallets.de/uk/produkte/vergleich.php>> (2013-04-04).
- Frantzich, H. (1994). *En modell för dimensionering av förbindelser för utrymning utifrån funktionsbaserade krav*. Lund: Lunds universitet.
- Frantzich, H. (2001). *Tid för utrymning vid brand*. Karlstad: Räddningsverket.
- Hultquist, H. (2000). *Simulating visibility in HAZARD I / CFAST*. Lund: Lunds Universitet.
- IES. (Integrated Environmental Solution Limited). *Simulex User Guide <Virtual Environment> 6.0*. (Elektronisk) Tillgänglig: <www.iesve.com/content/downloadasset_2298> (2013-04-04).
- ISO. (International Organization for Standardization). (1995). *Subsystem 1: Initiation and development of fire and fire effluents*. Berlin: ISO.

Johansson, B. (2004). *Analys av utrymningssäkerhet vid brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå*. Lund: Lunds universitet.

Johansson, H & Jönsson, H. (2007). *Metoder för risk- och sårbarhetsanalys ur ett systemperspektiv*. Lund: Lunds universitet.

Karlsson, B. & Quintiere, J. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton: CRC Press LLC.

McGrattan, K., McDermott, R., Hostikka, S. & Floyd, J. (2010). *Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide*. Washington: U.S. Government Printing Office.

MSB. (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap). (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://ida.msb.se/ida2#page=a0109>> (2013-03-26).

Nicotra Gebhardt. *Fläktar för brandgasventilation*. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.slussen.biz/admin/sys/getBlob.aspx?admBloID=394433&kprocAllCusID=5096>> (2013-04-09).

Nilsson, D. & Holmstedt, G. (2008). *Kompendium i Aktiva system – Detektion*. Lund: Lunds Universitet.

NIST 1. (The National Institute of Standards and Technology). (2009). *CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) Technical Reference Guide*. (Elektronisk) Tillgänglig: <http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=861553> (2013-04-05).

NIST 2. (The National Institute of Standards and Technology). (2010). *FDS and Smokeview*. (Elektronisk) Tillgänglig: <http://www.nist.gov/el/fire_research/fds_smokeview.cfm> (2013-04-02).

Nystedt, F. (2000). *Risikanalysmetoder*. Lund: Lunds Universitet.

Palisade. (2010). *Guide to Using RISKOptimizer. Simulation Optimization for Microsoft Excel*. (Elektronisk) Tillgänglig: <http://www.palisade.com/downloads/manuals/EN/RISKOptimizer5_EN.pdf> (2013-04-17).

Staffansson, L. (2010). *Selecting design fires*. Lund: Lunds Universitet.

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

Tokley, M. J. (2009). *Sleep Inertia and alcohol impairment in young adults: Neurocognitive effects and interactions Implications for fire escape behaviors*. Melbourne: Victoria University.

Östersund turist & kongress. *Möten i Östersund*. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://visitostersund.se/assets/Mten/Pdf-Mten/konferenslokaler-ostersund.pdf>> (2013-04-08).

Bilaga A - Teori

Nedan följer teori om de beräkningar och de datorprogram som används i rapporten.

A.1 Effektutveckling

Ett enkelt sätt att beskriva en brands effektutveckling är att anta att den tillväxer med tiden i kvadrat enligt ekvation 3 (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad (3)$$

Där

\dot{Q} = Effektutveckling [kW]
 α = Tillväxthastighet [kW/s²]
 t = Tid [s]

Genom att variera α -värdet i ekvation 3 kan olika tillväxthastigheter och brandförlopp simuleras. Sambandet har visat sig stämma väl med utförda experiment (Karlsson & Quintiere, 2000).

A.2 Energimängd vid begränsad syretillgång

För att branden ska fortgå krävs att tillräckligt mycket syre och bränsle finns tillgängligt. Den maximala energimängd som kan fås i ett slutet utrymme med en fullt utvecklad brand begränsas därför av hur mycket syre som finns tillgängligt i utrymmet. Då varje kilogram syre genererar cirka 13,1 MJ och masshalten syre i luft är cirka 23 % kan den maximala energimängden beräknas med ekvation 4 (Karlsson & Quintiere, 2000). Branden slocknar när masshalten syre i luften når den undre brännbarhetsgränsen b .

$$Q = \chi \cdot (0,23 - b) \cdot V \cdot \rho_a \cdot 13,1 \quad (4)$$

Där

Q = Syrets totala energi i lokalen [MJ]
 χ = Förbränningseffektivitet [-]
 b = Undre brännbarhetsgränsen [-]
 V = Lokalens volym [m³]
 ρ_a = Luftens densitet [kg/m³]

A.3 Brandspridning

För att beräkna strålningen från till exempel en flamma kan följande ekvation från Drysdale (2011) användas:

$$\dot{q}'' = \phi \varepsilon \sigma T^4 \quad (5)$$

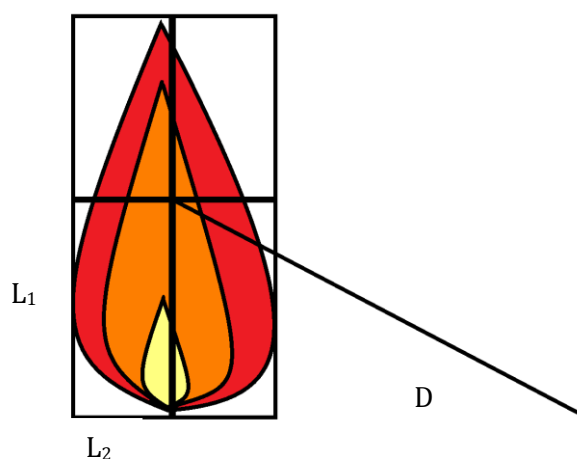
Där

\dot{q}'' = Värmefflöde [W/m²]
 ϕ = Synfaktor [-]
 ε = Emissionstal [-]
 σ = Stefan-Boltzmanns konstant [W/m²K⁴]
 T = Temperatur [K]

Emissionstalet är ett mått på hur stor del av den maximala strålningsenergin som strålar ut från objektet. $\epsilon = 1$ motsvarar att all strålningsenergi strålar ur från objektet. Synfaktorn beror av flammans geometri och avståndet mellan flammen och objektet. Synfaktorn beräknas enligt ekvation 6 och 7. De ingående parametrarna i ekvationerna visas i figur 70. Med värden på α och S kan delarnas synfaktorer avläsas i tabell, exempelvis i Drysdale (2011), och den totala synfaktorn fås genom addition av dessa. Flammen approximeras då till en rektangel (Drysdale, 2011).

$$\alpha = (L_1 \cdot L_2)/D^2 \quad (6)$$

$$S = L_1/L_2 \quad (7)$$



Figur 70: Definition av L_1 , L_2 och D för beräkning av synfaktor.

För att beräkna infallande strålning måste även flammans temperatur vara känd. Temperaturen skiljer sig beroende på typ av bränsle, var i flammen som mätningarna görs, med mera. För beräkning av flammans höjd används ekvation 8. Brandens golvarea approximeras till en cirkel, vars diameter beräknas och sedan används i ekvationen nedan.

$$L = 0,235\dot{Q}^{2/5} - 1,02D \quad (8)$$

Där

L = Flamhöjd [m]

\dot{Q} = Effektutveckling [kW]

D = Diameter [m]

Ekvation 8 är ett empiriskt framtaget samband och höjden som beräknas är den höjd där flammen befinner sig 50 % av tiden. Ekvationen tar inte hänsyn till eventuell turbulens eller påverkan av väggar, tak eller öppningar (Karlsson & Quintiere, 2000).

A.4 Mekanisk brandgasventilation

För att beräkna det mekaniska flöde från brandgaslagret som krävs för att stabilisera brandgaslagret på en viss nivå används följande beräkningsgång. Beräkningsgången bygger på antagandet att massflödet från plymen är lika stort som massflödet ut ur lokalen.

Först bestäms ett värde på z , vilket är brandgaslagrets höjd. Sedan uppskattas ett \dot{V}_e och används i ekvation 9-12. Om $\dot{m}_p \neq \dot{m}_e$, uppskattas ett nytt \dot{V}_e tills $\dot{m}_p = \dot{m}_e$ (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$\dot{m}_p = 0,21 \cdot \left(\frac{\rho_a^2 \cdot g}{c_p \cdot T_a} \right)^{1/3} \cdot \dot{Q}^{1/3} \cdot z^{5/3} \quad (9)$$

Där

\dot{m}_p = Massflöde från plymen [kg/s]
 ρ_a = Luftens densitet [kg/m³]
 g = Tyngdaccelerationen [m/s²]
 c_p = Luftens specifika värmekapacitet [kJ/(kg K)]
 T_a = Luftens temperatur [K]
 \dot{Q} = Effekt [kW]

$$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \cdot \dot{m}_e + h \cdot A_w} \quad (10)$$

Där

T_g = Brandgasernas temperatur [K]
 \dot{m}_e = Massflödet ut ur lokalen [kg/s]
 h = Värmekonduktivitet [W/m²K]
 A_w = Area på väggar och tak som berörs av brandgaserna [m²]

$$\rho_g = \frac{353}{T_g} \quad (11)$$

Där

ρ_g = Brandgasernas densitet [kg/m³]

$$\dot{m}_e = \dot{V}_e \cdot \rho_g \quad (12)$$

Där

\dot{V}_e = Fläktens volymflöde [m³/s]

A.5 Brandgasluckor

För att beräkna vilken area som krävs på brandgasluckorna för att stabilisera brandgaslagret på en viss nivå används följande beräkningsgång. Precis som för mekanisk brandgasventilation itereras resultatet fram. Först bestäms ett värde på z , vilket är brandgaslagrets höjd ovanför golvet. Sedan används ekvation 13-17 och till slut varieras A_e tills $\dot{m}_p = \dot{m}_e$.

$$\dot{m}_p = 0,21 \cdot \left(\frac{\rho_a^2 \cdot g}{c_p \cdot T_a} \right)^{1/3} \cdot \dot{Q}^{1/3} \cdot z^{5/3} \quad (13)$$

$$\Delta P = \frac{\dot{m}_p^2}{2 \cdot \rho_a \cdot (C_d \cdot A_d)^2} \quad (14)$$

Där

ΔP = Tryckskillnad över öppningar [Pa]

C_d = Öppningsfaktor [-]

A_d = Area på öppningar för inluft [m²]

$$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \cdot \dot{m}_e + h \cdot A_w} \quad (15)$$

$$\rho_g = \frac{353}{T_g} \quad (16)$$

$$\dot{m}_e = C_d \cdot A_E \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_g (-\Delta P + (\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot (H_E - z))} \quad (17)$$

Där

A_E = Area på brandgasluckor [m²]

H_E = Takhöjden [m]

A.6 DETACT-T2

DETECT-T2 är ett program som används för att beräkna aktiveringstider för värmedetektorer och sprinkler men även för rökdetektorer. Rökdetektorer reagerar egentligen på grund av de partiklar som finns i brandgaserna men det finns likheter mellan brandgasernas temperatur och partikelfördelning. Det finns riktvärden för vid vilka temperaturökningar som rökdetektorer aktiveras som bygger på empiriska data och ett värde som ofta används är 13°C. Experiment utförda på senare tid har indikerat att detta är ett konservativt värde. För att detektorn ska ha samma temperatur som omgivningen väljs ett lågt RTI-värde (0,5 (ms)^{1/2}). Värt att påpeka är att detektionsmodellen bygger på en mängd förenklingar och innehåller därför osäkerheter (Nilsson & Holmstedt, 2008).

A.7 Tvåzonsmodeller

När en brand i ett rum simuleras i en tvåzonsmodell delas rummet upp i två lager av gaser; ett varmt övre lager och ett kallt undre lager. Själva branden beskrivs av ett material med förutbestämda egenskaper gällande energi och en vikt. I simuleringen pumpas branden upp brandgaser till det övre lagret och på så sätt erhålls en masstransport från det undre lagret till det övre lagret (Karlsson & Quintiere, 2000).

I tvåzonsmodeller görs vissa antaganden för att kunna simulera rumsbränder, bland annat följande (Karlsson & Quintiere, 2000);

- Alla gaser antas vara ideala gaser, vilket innebär att den specifika värmekapaciteten, c_p och c_v , är konstanta.
- Brandgaserna från branden når taket direkt och därmed försummas den transporttid som brandgaserna egentligen har mellan brandhärden och taket. Detta bidrar till att rummet rökfylls något snabbare än i verkligheten.
- Endast värmeförluster till golv, väggar och tak beräknas. Detta innebär att all värmeförlust till inredningen i rummet försummas. För rum med mycket inredning kan det leda till dåliga resultat.

Tvåzonsmodeller har begränsningar gällande geometrin på rummet där en brand ska simuleras (Karlsson & Quintiere, 2000).

- Modellerna passar inte för geometrier där rummet är långt och inte särskilt brett, som till exempel en korridor. De passar inte heller för atrier, där rummet är högt i förhållanden till golvarean.
- Om branden är liten i förhållande till rummets storlek är tvåzonsmodeller inte ideala, eftersom det inte är säkert att en svag brand kan generera brandgaser som tar sig ända upp till taket. Risken finns att de bara drivs halvvägs upp och då bildar ett brandgaslager i mitten på rummet. Detta är inget som en tvåzonsmodell kan simulera.

Riktvärden för begränsningarna listas i tabell 10 nedan.

Tabell 10: Begränsningar för geometrin och effekten vid användning av CFAST (ISO).

Förhållande [m och kW]	Acceptabelt	Åtgärder bör övervägas
Max [L/W]	$L/W < 3$	$3 < L/W < 5$
Max [L/H]	$L/H < 3$	$3 < L/H < 6$
Min [W/H]	$W/H > 0,4$	$0,2 < W/H < 0,4$
\dot{Q}	$\dot{Q} \geq 5 \cdot A\sqrt{H}$	-

De åtgärder som kan göras när förhållandet blir för högt eller för lågt är att dela upp rummet i fler olika delar. På så sätt kan förhållandena hamna på de tillåtna värdena och branden kan simuleras i rummet med hjälp av en tvåzonsmodell.

Det ska dock finnas i åtanke att en tvåzonsmodell bara är en modell som beskriver verkligheten. Resultaten som erhålls från en modell är därför enbart en beskrivning av hur resultatet av en brand kan bli i verkligheten. Därför bör resultat från simuleringar granskas kritiskt innan några slutsatser dras.

A.7.1 CFAST

I denna brandtekniska riskvärdering används tvåzonsmodellen CFAST för att simulera bränderna i de olika brandscenarierna. Teorin ovan angående tvåzonsmodeller gäller även för CFAST.

A.7.1.1 Mekanisk brandgasventilation

Två verifieringsförsök har gjorts av National Institute of Standards and Technology, för att avgöra om CFAST kan hantera en mekanisk brandgasventilation för att ventilerar ut brandgaser. Dessa två försök kom fram till att CFAST hanterar mekanisk brandgasventilation på ett tillfredsställande sätt. Dock överskattas temperaturen i brandgaslagret något, men medeltemperaturen i rummet stämmer bra överens med experimentella värden (NIST 1).

A.8 Simulex

Programmet simulerar utrymning grafiskt i befintliga CAD-ritningar över en byggnad. Varje person motsvaras av en symbol som placeras ut av användaren. Personerna kan placeras ut på valfri plats och de rör sig sedan mot närmaste definierade utgång, om inte annat anges av användaren. När utgångar och trappor har lagts in och definierats kan avståndskartor kalkyleras. En avståndskarta beskriver åt vilket håll en person ska gå, i varje möjlig position på ritningen, för att komma till närmaste utgång. Avståndskartorna kan visas som färgmarkeringar på ritningarna för att i förväg ge en överblick över hur utrymningen kommer ske.

Varje person har en bestämd gånghastighet och kan även ges en fördröjning innan förflyttningen börjar. Hela utrymningsprocessen kan spelas in för att kunna återges vid ett senare tillfälle. När alla personer är ute erhålls den totala förflyttningstiden. Det går även att spara mer ingående data om antalet personer som går genom utgångarna över femsekundersperioder (IES).

A.9 CFD och FDS

Fire Dynamics Simulator (FDS) är en så kallad CFD-modell som har utvecklats av The National Institute of Standards and Technology, NIST. CFD står för Computational Fluid Dynamics och datorprogrammet FDS använder denna modell för att beskriva branddrivna flöden av fluider (NIST 2). FDS delar upp den totala volymen i ett stort antal mindre volymer, så kallade gridar eller celler. För varje cell löses kontinuitetsekvationerna för massa, rörelsemängd, energi och ämnen och ju mindre celler som används desto noggrannare blir beräkningarna. Små cellstorlekar gör dock att antalet celler blir väldigt stort och beräkningarna blir då väldigt kapacitetskrävande och ger långa beräkningstider (Dittmer & Jämtäng, 2006). För att inte beräkningarna i FDS ska bli onödigt tidskrävande bör antalet celler i varje riktning kunna skrivas som $2^l 3^m 5^n$ (McGrattan et al, 2010).

I FDS görs förenklingar för att programmet ska kunna göra strålningsberäkningar. Förenklingarna bygger på att en viss del av effekten i celler med förbränning avges som strålning. Med grundinställningarna är denna andel 35 % och antalet strålar i varje cell är begränsat till 100 st. Eftersom antalet strålar är begränsat gör detta att vid strålningsmätningar i programmet kan strålarna antingen träffa eller inte träffa mätpunkterna, vilket gör dessa beräkningar ganska osäkra. För att få säkrare resultat bör antalet strålar ökas men detta ökar även beräkningstiden (McGrattan et al, 2010).

A.10 Monte Carlo och @RISK

Programmet @RISK är ett tilläggsprogram till Excel och används för att fortplanta osäkerheter i ingående variabler till slutresultatet. I @RISK kan Monte Carlo-metoden användas för att fortplanta osäkerheterna. Monte Carlo-metoden innebär att programmet genererar möjliga utfall genom att välja ett slumpmässigt valt värde från varje ingående sannolikhetsfördelning och iterera denna process ett bestämt antal gånger. Alla möjliga kombinationer av de ingående sannolikhetsfördelningarna testas för att generera samtliga möjliga utfall. Efter genomförda iterationer kan osäkerheterna presenteras i form av ett tornadodiagram, där det framgår vilken ingående sannolikhetsfördelning som har störst påverkan på resultatet (Palisade).

Bilaga B – Handberäkningar

Här redovisas de handberäkningar som har utförts i rapporten.

B.1 Scenario 1 – Scen i Studioscenen

Handberäkningar som utförts i Scenario 1 redovisas nedan.

B.1.1 Mekanisk brandgasventilation

För beräkning av mekanisk brandgasventilation, se beräkningsgång i bilaga A samt indata i tabell 11 nedan.

Tabell 11: Indata för beräkning av mekanisk brandgasventilation.

z [m]	ρ_a [kg/m ³]	g [m/s ²]	c_p [kJ/(kg K)]	T_a [K]	\dot{Q} [kW]	h [W/m ² K]	A_w [m ²]
2,5	1,2	9,81	1,0	293	2000	0,009	324

Fläktens flöde itereras fram till:

$$\dot{V}_e \approx 7 \text{ m}^3/\text{s}$$

B.1.2 Strålningsberäkningar

Ekvation 5 i bilaga A används för att beräkna vilken temperatur i brandgaslagret som genererar en strålning på 2,5 kW/m². Synfaktorn sätts till 1 för brandgaslagret, då utbredningen av brandgaserna är så stor att en synfaktor är svår att beräkna.

$$T = \left(\frac{2500 \text{ kW/m}^2}{5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4} \right)^{1/4} - 273 \text{ K} = 185^\circ\text{C}$$

B.2 Scenario 2 – Obevakad garderob i Studiofoajén

Handberäkningar som utförts i Scenario 2 redovisas nedan.

B.2.1 Energimängd vid begränsad syretillgång

För att ta reda på när branden blir syrekontrollerad används ekvation 3 och 4 i bilaga A, samt indata i tabell 12 nedan. Den undre brännbarhetsgränsen, b, antas vara 0,15 vilket ger en konservativ tid till att branden blir syrekontrollerad.

Tabell 12: Indata för beräkning av energimängd.

α [kW/s ²]	χ	b	V [m ³]	ρ_a [kg/m ³]
0,19	0,7	0,15	382	1,2

$$Q = 0,7 \cdot (0,23 - 0,15) \cdot 13,1 \cdot 1,2 \cdot 382 = 336,3 \text{ MJ} = 336\,300 \text{ kJ}$$

Ekvation 3 i bilaga A integreras och t löses ut.

$$t = \left(\frac{336\,300 \cdot 3}{0,19} \right)^{1/3} = 175 \text{ sekunder}$$

Tiden det tar för branden att bli syrekontrollerad jämförs sedan med varseblivningstiden och beslut- och reaktionstiden. I beräkningarna används sannolikhetsfördelningarnas högsta värden för att få ett konservativt resultat.

Tid till syrekontrollerad brand – (Beslut och reaktionstid + Varseblivningstid)

$$175 - (90 + 22) = 63 \text{ sekunder}$$

Med ekvationen ovan visas att det finns en stor marginal mellan beslut- och reaktionstiden samt varseblivningstid och tiden det tar för branden att bli syrekontrollerad.

B.3 Scenario 3 – Teaterfoajén

Handberäkningar som utförts i Scenario 3 redovisas nedan.

B.3.1 Brandgasluckor

För beräkning av area på brandgasluckor, se beräkningsgång i bilaga A samt indata och resultat i tabell 13 nedan.

Tabell 13: Indata och resultat för beräkning av brandgasluckor. Kolumnen A_E visar resultatet.

z [m]	ρ_a [kg/m ³]	c_p [kJ/(kg K)]	T_a [K]	\dot{Q} [kW]	h [W/m ² K]	A_w [m ²]	C_d [-]	A_d [m ²]	H_E [m]	A_E [m ²]
3,5	1,2	1,0	293	5000	0,009	669	0,6	9,2	5	6
3,5	1,2	1,0	293	4000	0,009	669	0,6	9,2	5	5,5
3,5	1,2	1,0	293	3000	0,009	669	0,6	9,2	5	5

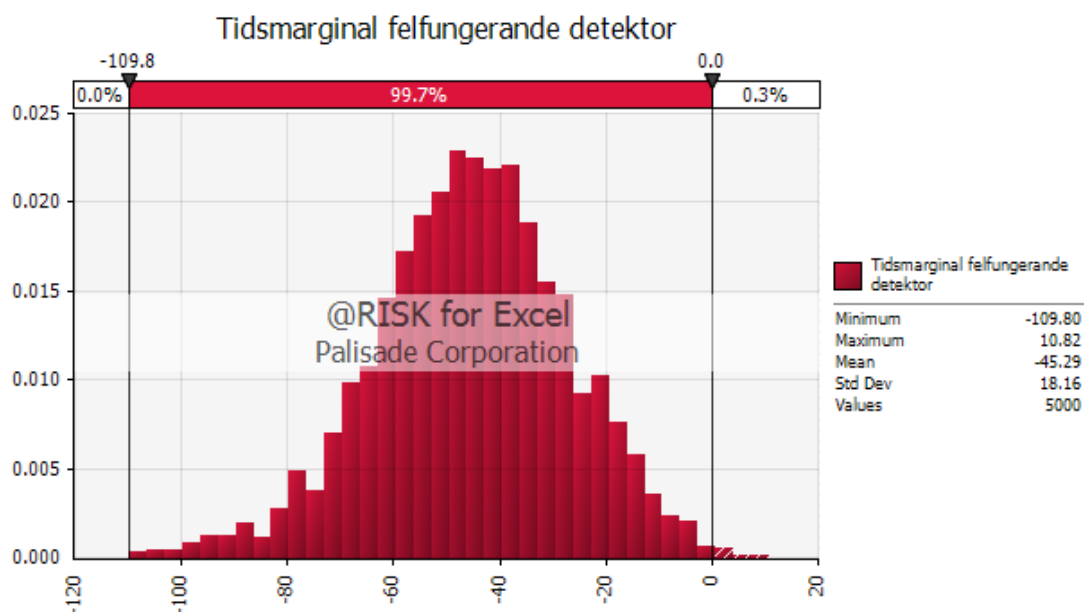
Bilaga C – Resultat Brandscenario 1, scen i Studioscenen

Nedan utvärderas hur en felfungerande detektor i Studioscenen påverkar resultaten i scenariot.

C.1 Analys av felfungerande detektor

Sambandet för detektoraktivering i figur 36 gäller endast om detektor 1 fungerar vilket inte alltid är fallet. Andersson och Wadensten (2002) har sammanställt information över felsannolikheter för olika typer av detektorer. För rök- och värmedetektorer föreslås felsannolikheten 0,1 per detektor vilket innebär att detektor 1 bör fungera i 90 % av fallen. Sannolikheten att båda detektorerna felfungerar samtidigt blir då 1 % om detektorerna felfungerar oberoende av varandra, vilket anses vara försumbart litet. Sannolikheten att hela brandlarmsystemet skulle felfungera anses också vara försumbart liten då regelbundna kontroller av systemet utförs.

En ny Monte Carlo-simulering genomförs där hänsyn tas till att detektor 1 kan felfungera. De nya beräkningarna av detektionstiden tar hänsyn till att detektor 1 har felsannolikheten 0,1 genom att värden från sambandet enligt figur 36 tas i 90 % av fallen. I de resterande 10 % av fallen används samma samband men med en konstant tilläggstid på 30 sekunder för att kompensera för det längre avståndet till detektor 2. Denna tilläggstid baseras på skillnaden i aktiveringstid mellan de olika detektorerna i valideringssimuleringen med FDS, där en differens på 25 sekunder observerades. 30 sekunder väljs därmed som ett konservativt värde. Resultatet av den nya Monte Carlo-simuleringen redovisas i figur 71.



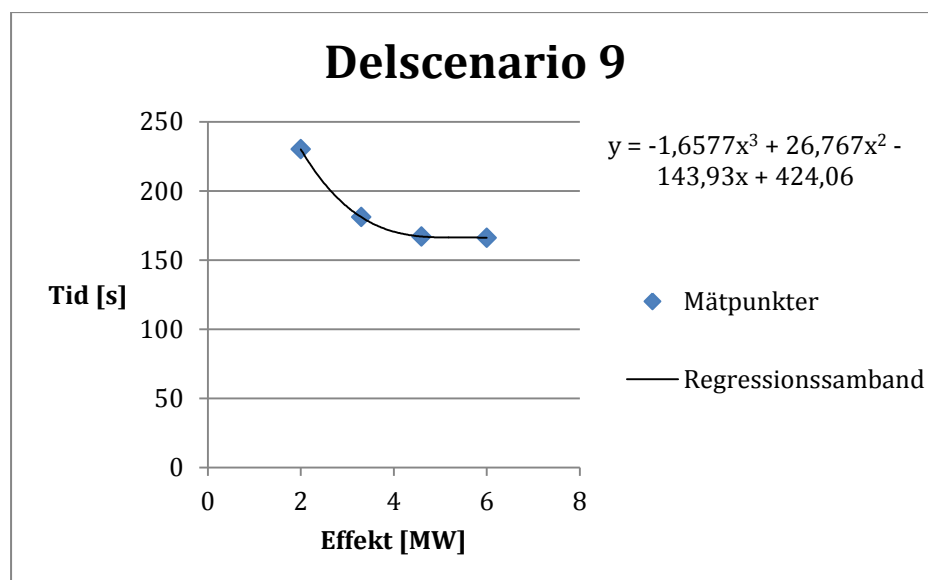
Figur 71: Fördelning av tidsmarginalen vid hänsyn till felfungerande detektor.

Diagrammet visar att en felfungerande detektor har en försumbar påverkan på resultatet, då det endast skiljer en tiondels procentenhet mellan resultaten med och utan en felfungerande detektor. Denna parameter undersöks därför inte vidare.

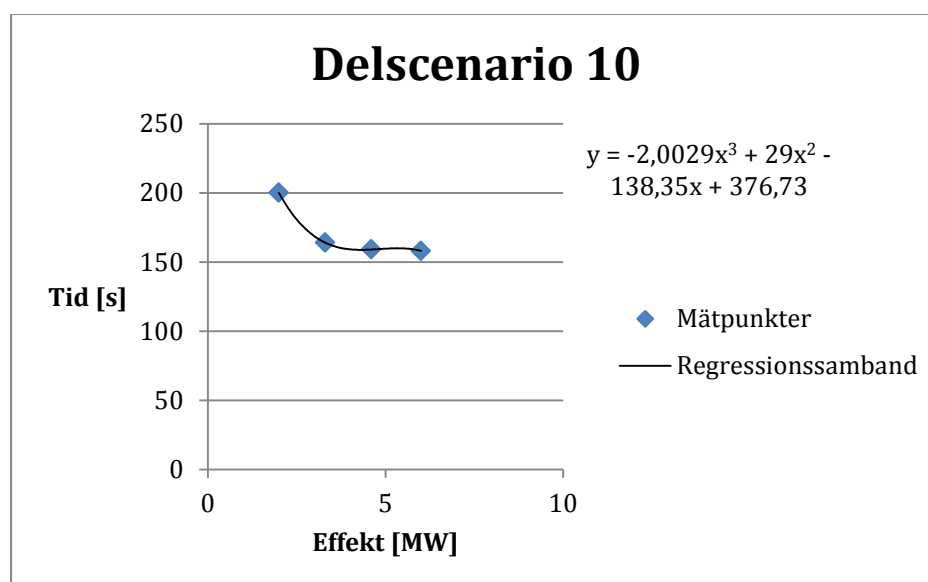
Bilaga D – Resultat Brandscenario 2, obevakad garderob i Studiofoajén

I följande bilaga redovisas analytiska samband för tid till kritiska förhållanden samt Monte Carlo-simuleringar av tidsmarginalen för delscenario 9-15. Ett tornadodiagram för delscenario 9 redovisas även.

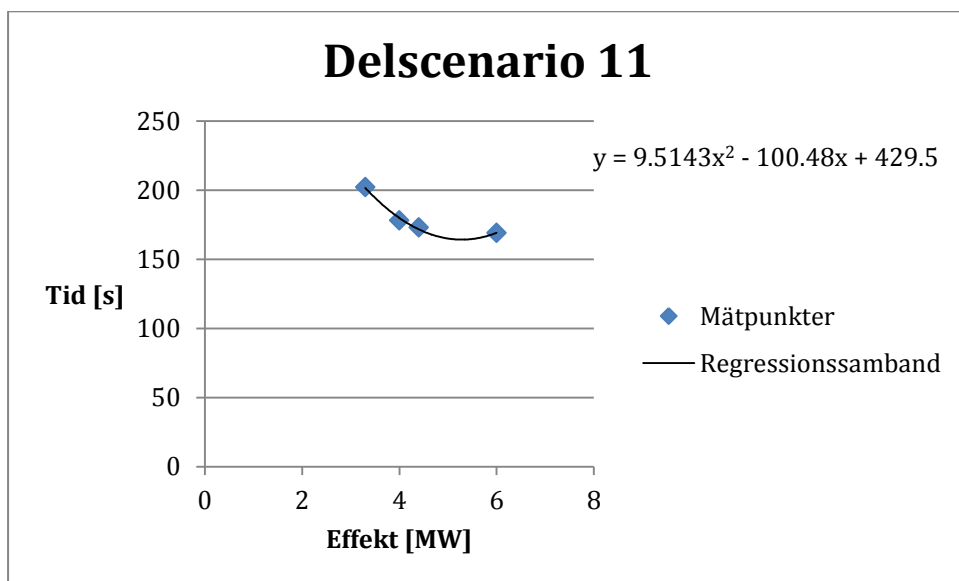
D.1 Analytiska samband



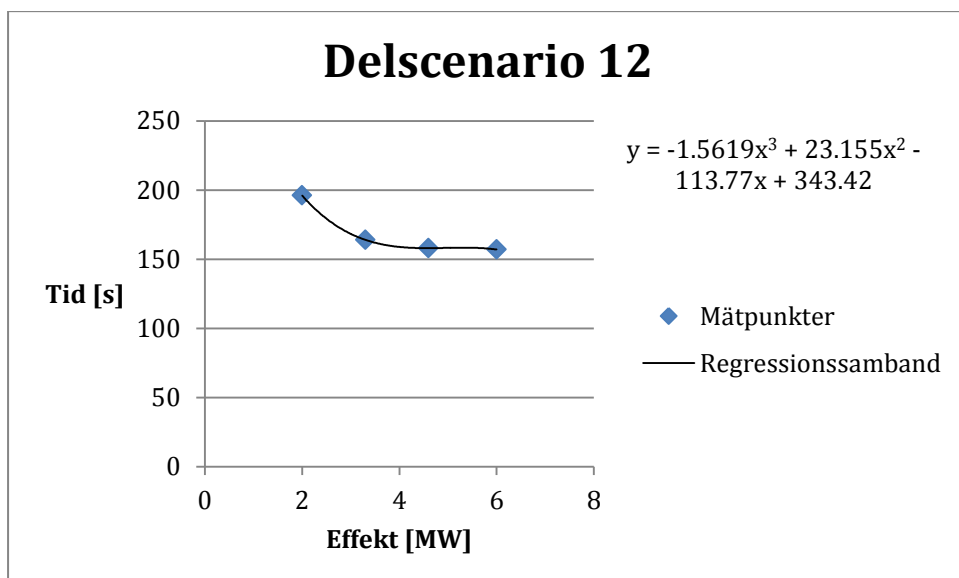
Figur 72: Analytiskt samband för delscenario 9.



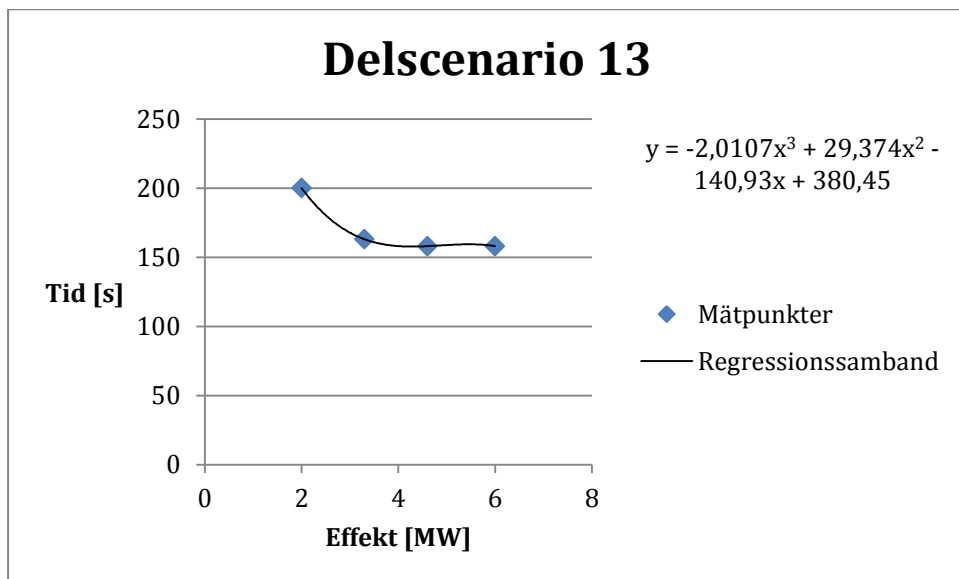
Figur 73: Analytiskt samband för delscenario 10.



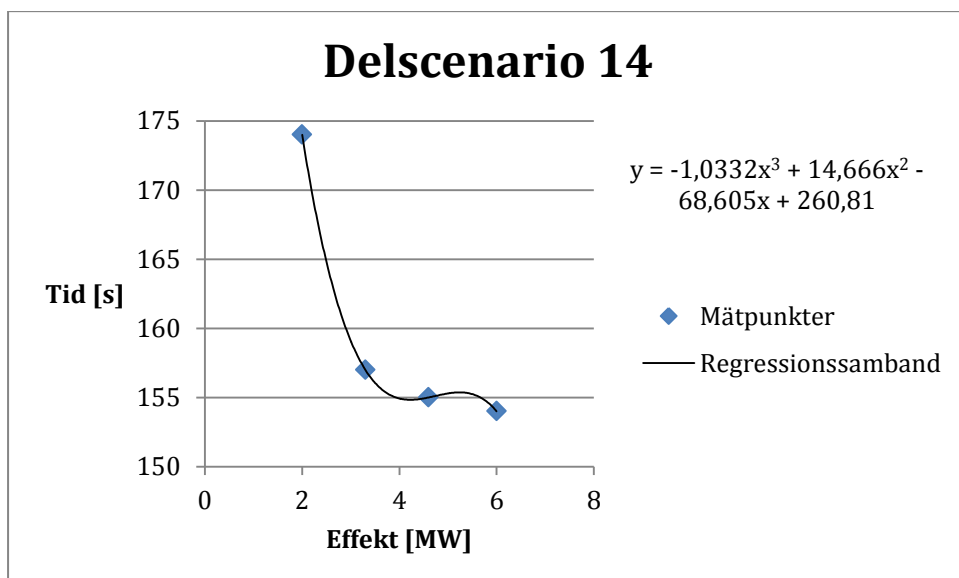
Figur 74: Analytiskt samband för delscenario 11.



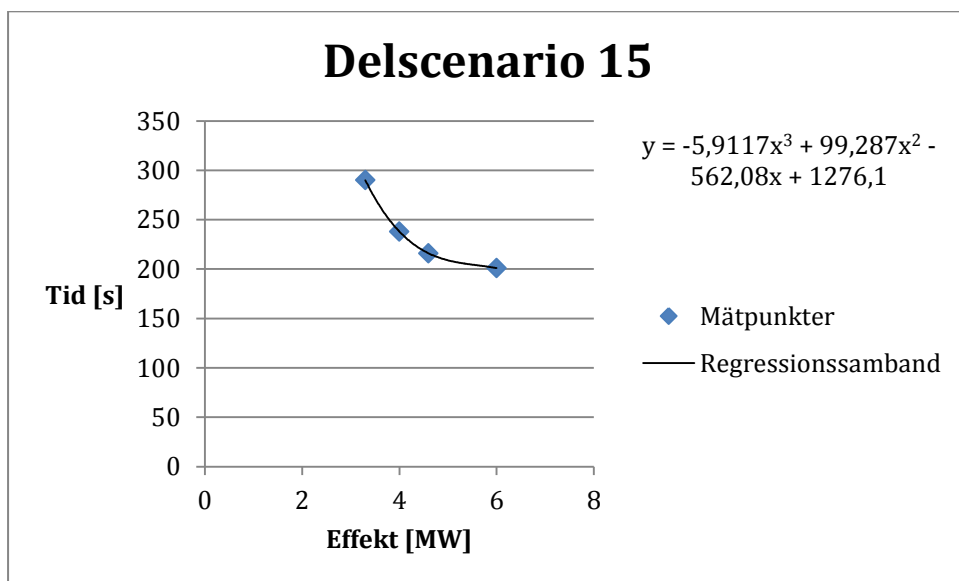
Figur 75: Analytiskt samband för delscenario 12.



Figur 76: Analytiskt samband för delscenario 13.

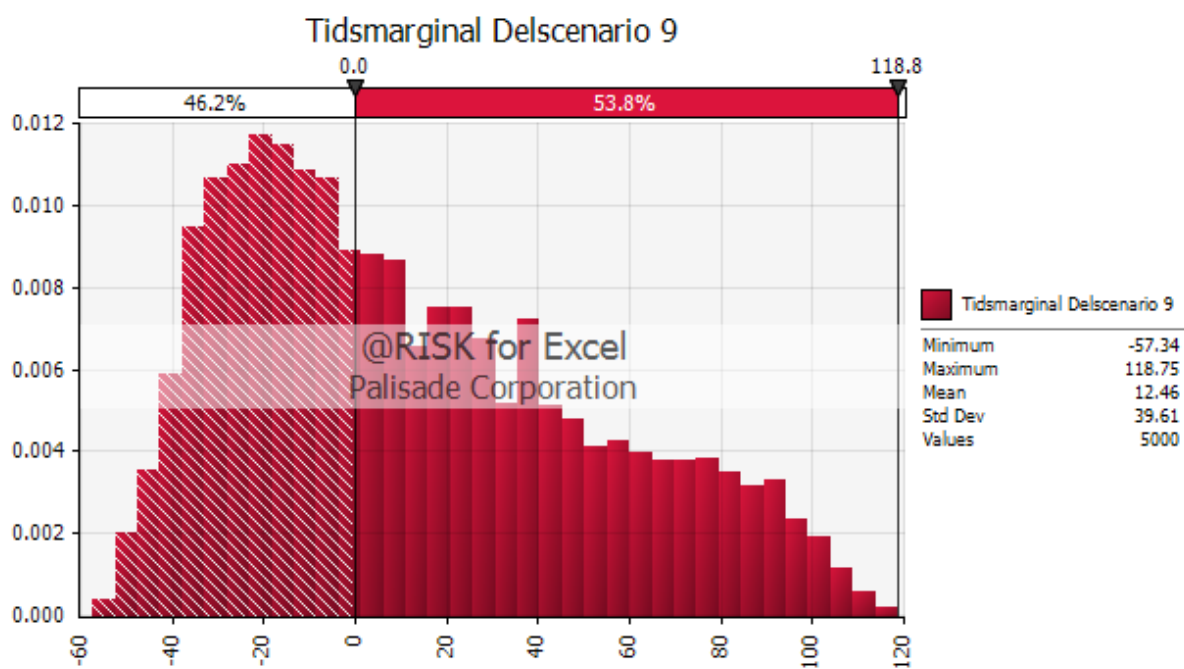


Figur 77: Analytiskt samband för delscenario 14.

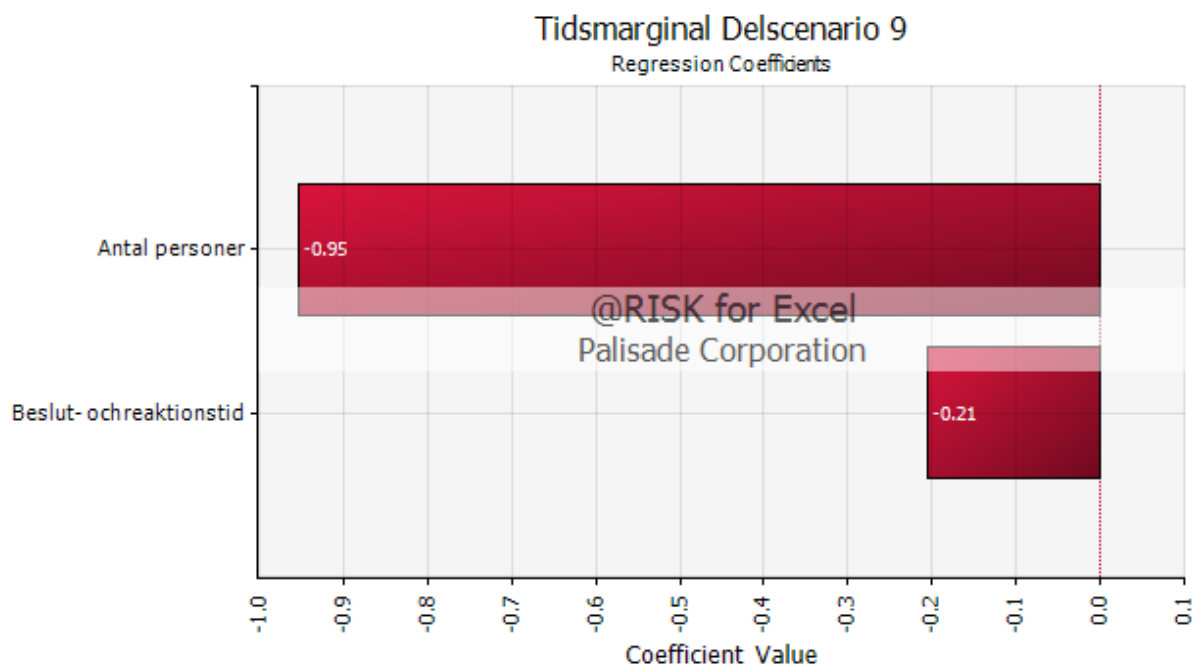


Figur 78: Analytiskt samband för delscenario 15.

D.2 Monte Carlo-simuleringar

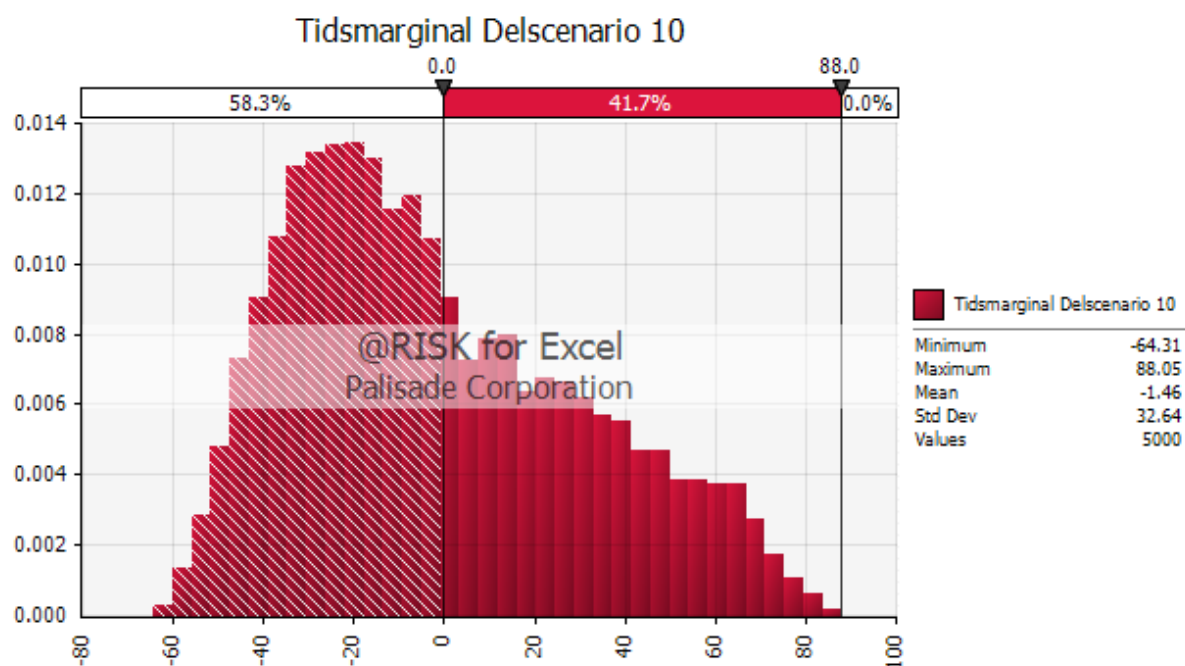


Figur 79: Tidsmarginal för delscenario 9.

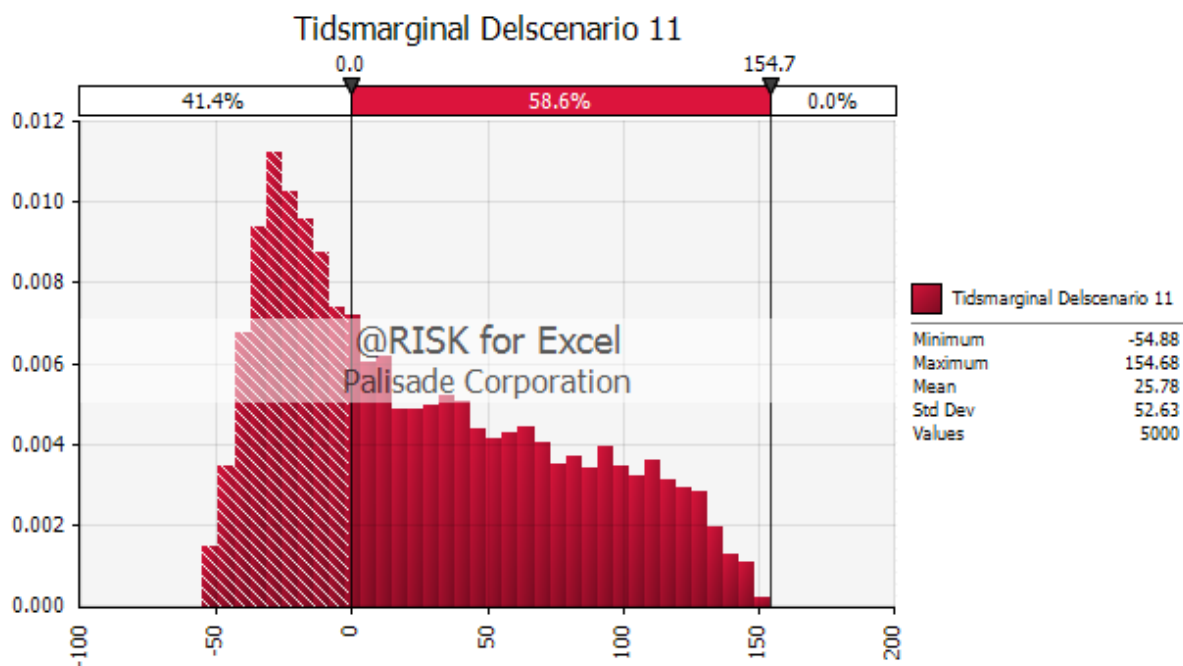


Figur 80: Tornadodiagram för delscenario 9.

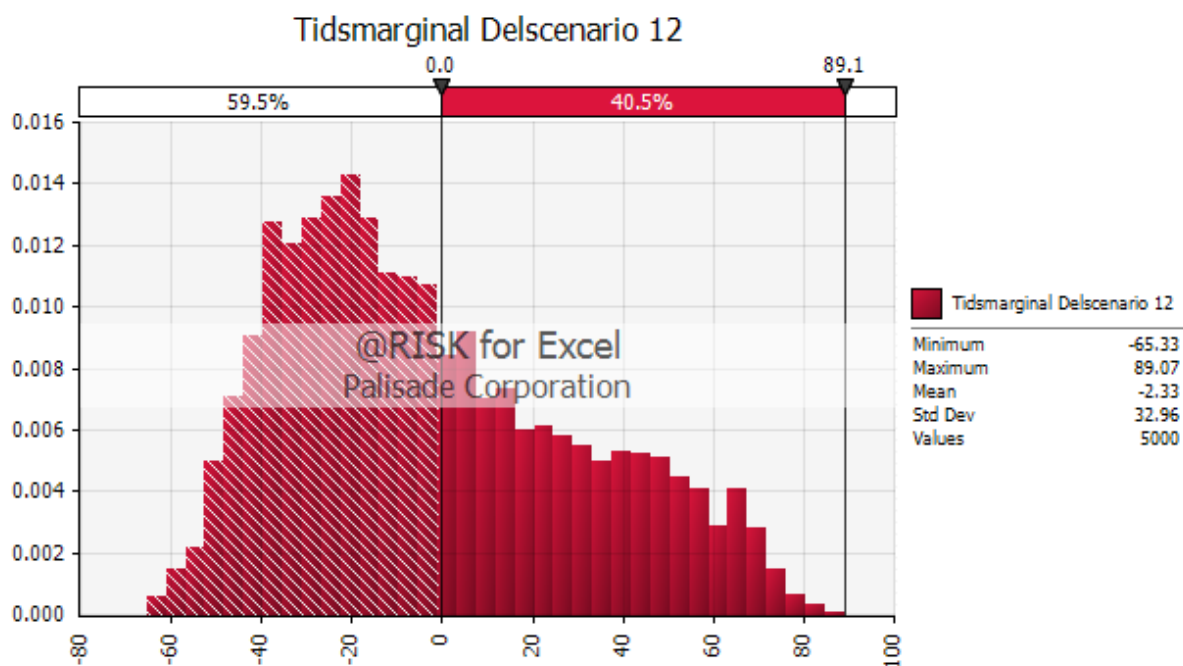
Då tornadodiagrammen för de olika delscenarierna endast förändras marginellt redovisas bara tornadodiagrammet för delscenario 9.



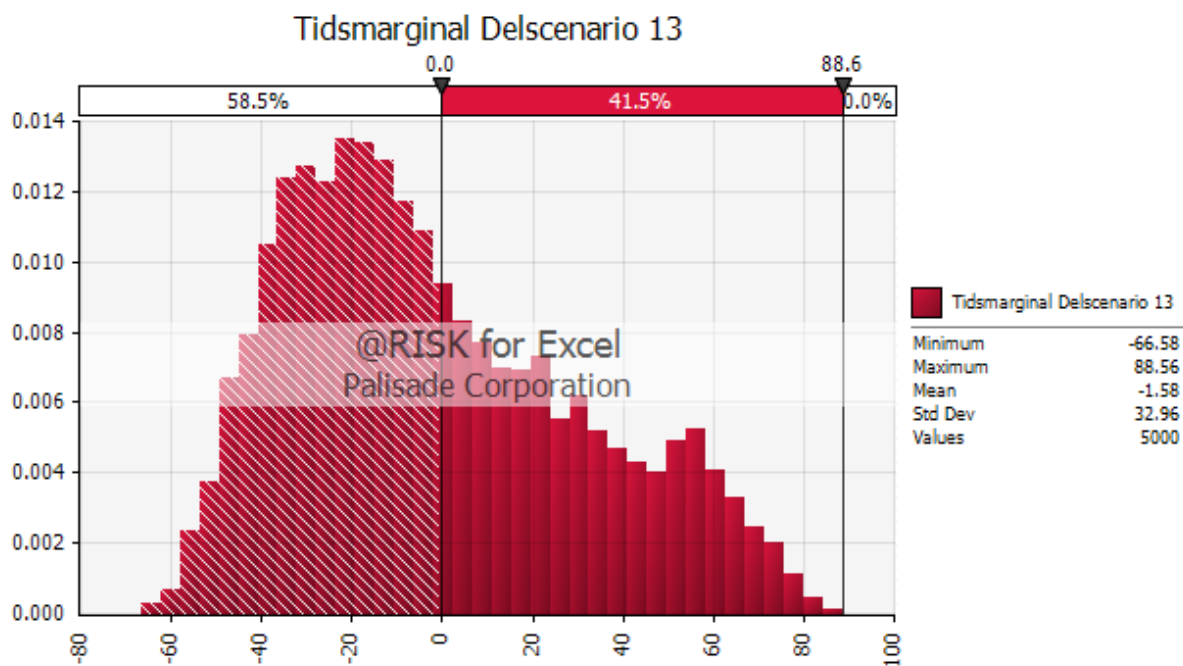
Figur 81: Tidsmarginal för delscenario 10.



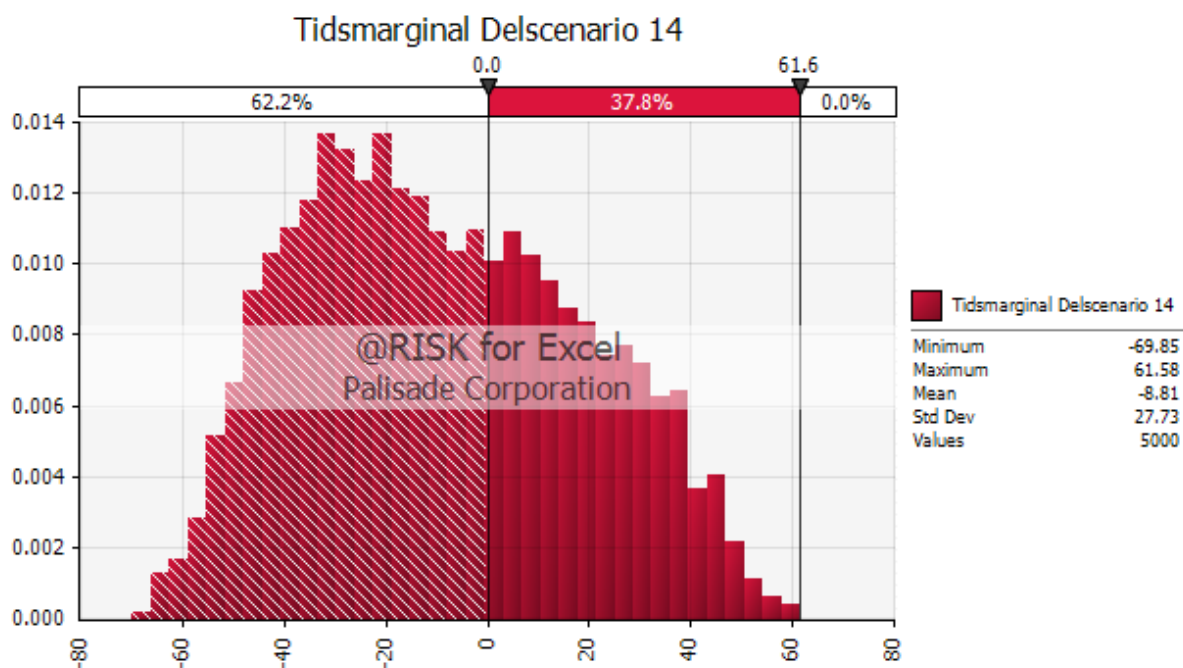
Figur 82: Tidsmarginal för delscenario 11.



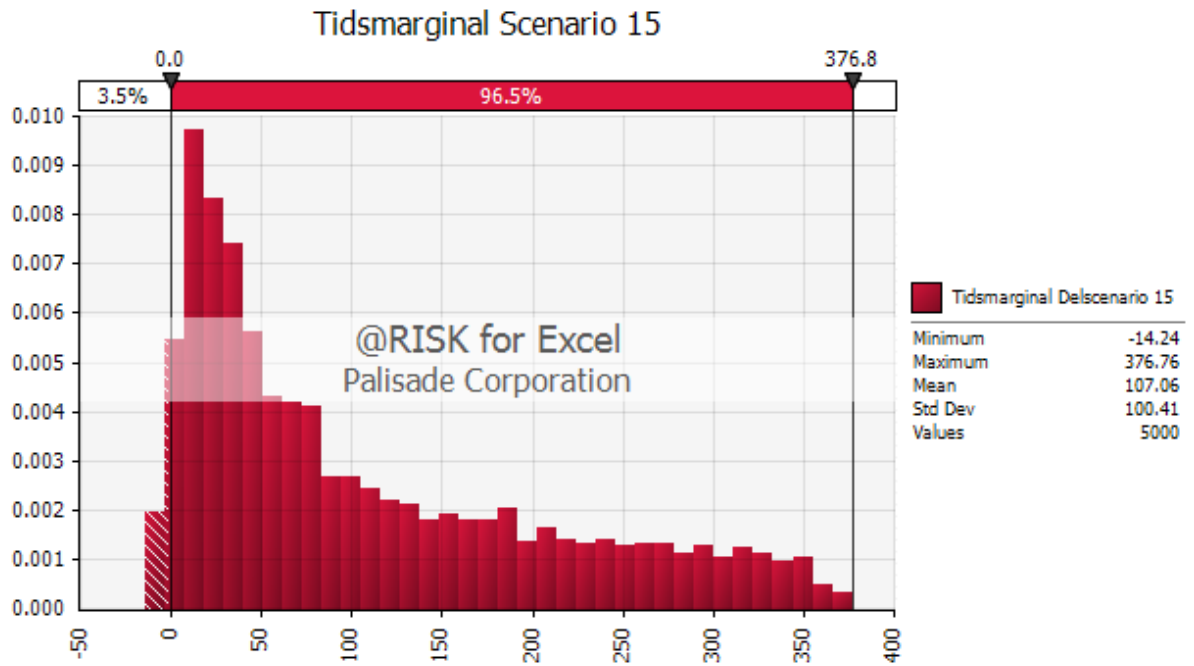
Figur 83: Tidsmarginal för delscenario 12.



Figur 84: Tidsmarginal för delscenario 13.



Figur 85: Tidsmarginal för delscenario 14.



Figur 86: Tidsmarginal för delscenario 15.

Bilaga E – Resultat Brandscenario 3, teaterfoajén

Nedan beskrivs tillvägagångssättet vid kontroll av tillgänglig utrymningstid för Scenario 3. Indata till programmet redovisas i bilaga F.

E.1 Tillvägagångssätt vid FDS-simulering av Scenario 3

Processen börjar med att meshen definieras i programmet. Volymen i teaterfoajén är relativt stor och cellstorleken väljs till 0,2 x 0,2 x 0,2 m förutom närmast branden där storleken 0,1 x 0,1 x 0,1 m används. Därefter definieras geometrin gällande väggar, tak, golv och öppningar samt branden som antas följa effektutvecklingen beskriven i avsnitt 8.3 *Brandens tillväxthastighet och maxeffekt*. I taket i teaterfoajén finns i verkligheten balkar som försummas i simuleringen. Det kan göras tack vare att balkarna inte går hela vägen upp till taket, utan är placerade några decimeter under taket. Brandgasernas rörelser påverkas därför inte av balkarna i brandens tidiga skede. Under innertaket finns även på vissa ställen en välvd, gles panel, för dekoration, som försummas i simuleringen eftersom den anses påverka brandgasernas rörelser i mindre omfattning.

I programmet kan endast ett bränsle definieras och därför används vägda värden för bränslets soot-yield och förbränningsvärme. Bränslet antas bestå av 20 % polyuretanskum och 80 % trä då det motsvarar ungefär de mängder som finns i soffan och baren. I tabell 14 nedan redovisas värdena som används (Babrauskas, 2002). Träets förbränningsvärme är ett medelvärde för olika trätyper. I simuleringen antas att förbränningseffektiviteten är 0,7.

Tabell 14: Indata till FDS-simulering i Scenario 3.

Ämne	Soot-yield [g/g]	Förbränningsvärme [MJ/kg]
Polyuretanskum	0,2	28,85
Trä	0,015	20,45
20 % polyuretanskum, 80 % trä	0,052	22,13

För att kontrollera ungefär när branden kommer att spridas från soffan till baren görs strålningsberäkningar enligt tillvägagångssättet beskrivet i bilaga A. Resultatet redovisas i tabell 15 nedan.

Tabell 15: Strålningsberäkningar för Scenario 3.

Tid [s]	Flamhöjd [m]	Diameter [m]	Effekt [kW]	Synfaktor	Strålning [kW/m ²]
60	1,47	0,5	205	0,164	18
60	1,16	0,8	205	0,2	21
60	0,85	1,1	205	0,236	25
90	2,22	0,5	462	0,208	22
90	1,92	0,8	462	0,3	32
90	1,61	1,1	462	0,348	37

I beräkningarna antas att flammans temperatur är 900°C vilket anses vara ett konservativt antagande. Eftersom det är oklart exakt hur bred flamman kommer att

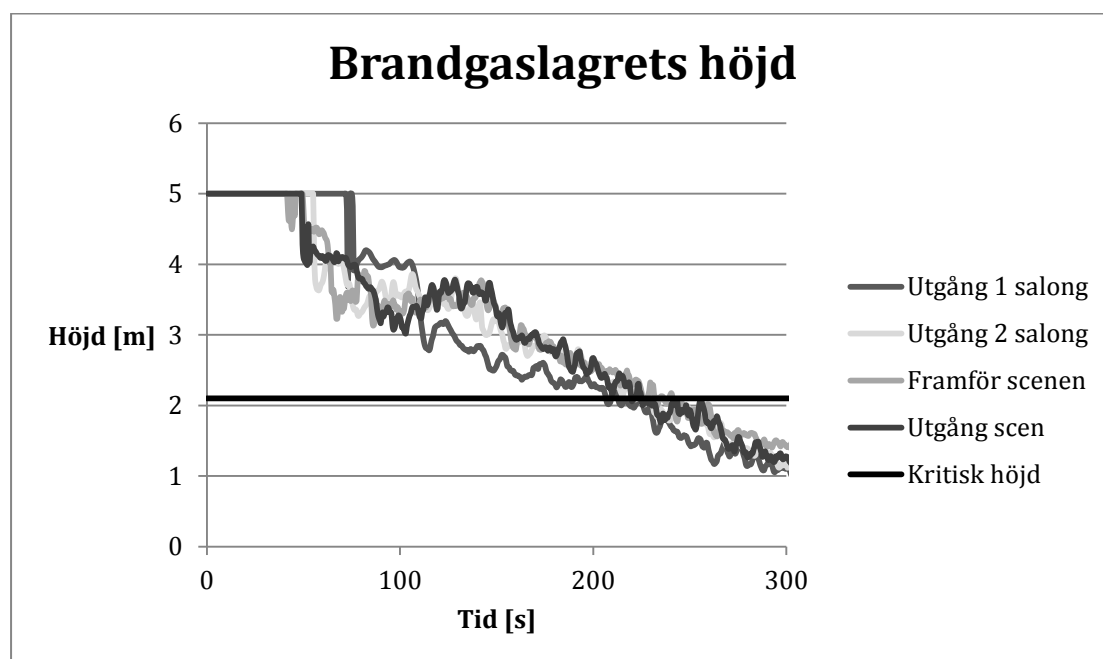
vara vid vissa tidpunkter görs flera strålningsberäkningar där diametern varieras. Den kritiska strålningsnivån för spontanantändning av trä varierar men ett konservativt antagande är att den är 25 kW/m^2 (Babrauskas, 2001). Då brandens diameter varierar mellan 0,5 m och 1,1 m kommer den infallande strålningen mot baren att vara 18-25 kW/m^2 efter 60 sekunder. Efter 90 sekunder är strålningen istället 22-37 kW/m^2 . På grund av materialets termiska tröghet fås en viss fördröjning innan brandspridning sker då den infallande strålningen uppnår den kritiska nivån. Antagandet görs därför att brandspridning till baren sker efter 90 sekunder då den infallande strålningen är 22-37 kW/m^2 vilket är ett konservativt antagande med hänsyn tagen till fördröjningen. Osäkerheten i tiden till brandspridning anses vara stor och en känslighetsanalys görs därför för att se hur resultatet påverkas då tiden till brandspridning varieras.

E.1.1 Resultat

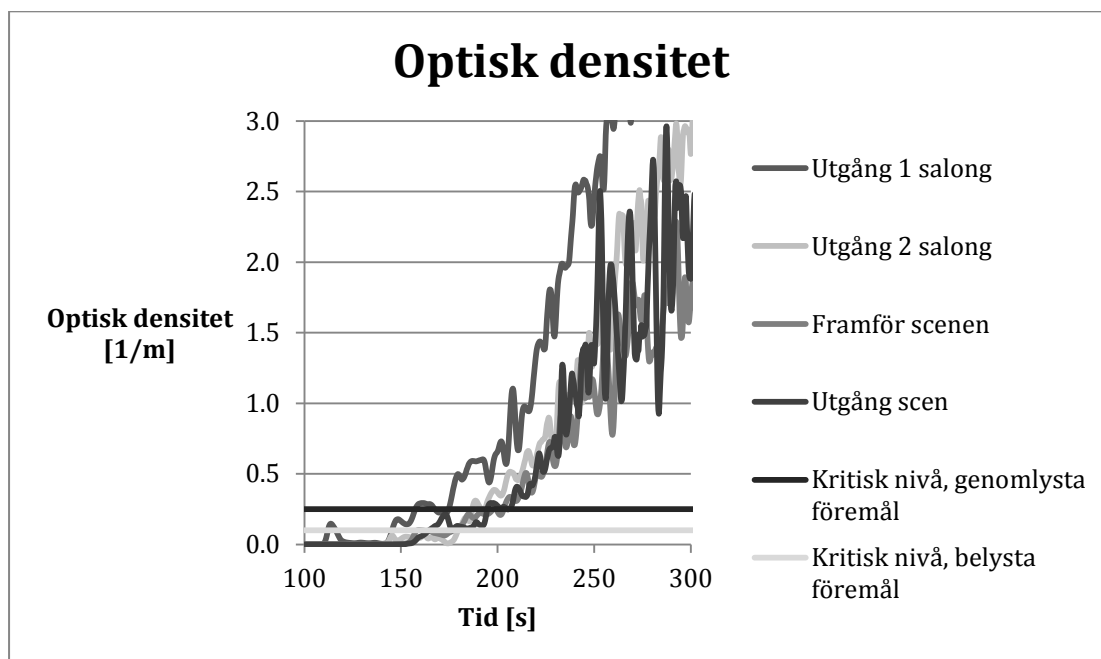
Resultatet av simuleringen redovisas i figur 87-91 och tabell 16 nedan. De avgörande parametrarna är brandgaslagrets höjd kombinerat med sikten och den tillgängliga utrymningstiden blir således 220 sekunder. Varseblivningstiden blir 60 sekunder.

Tabell 16: Tid till kritiska förhållanden uppnås.

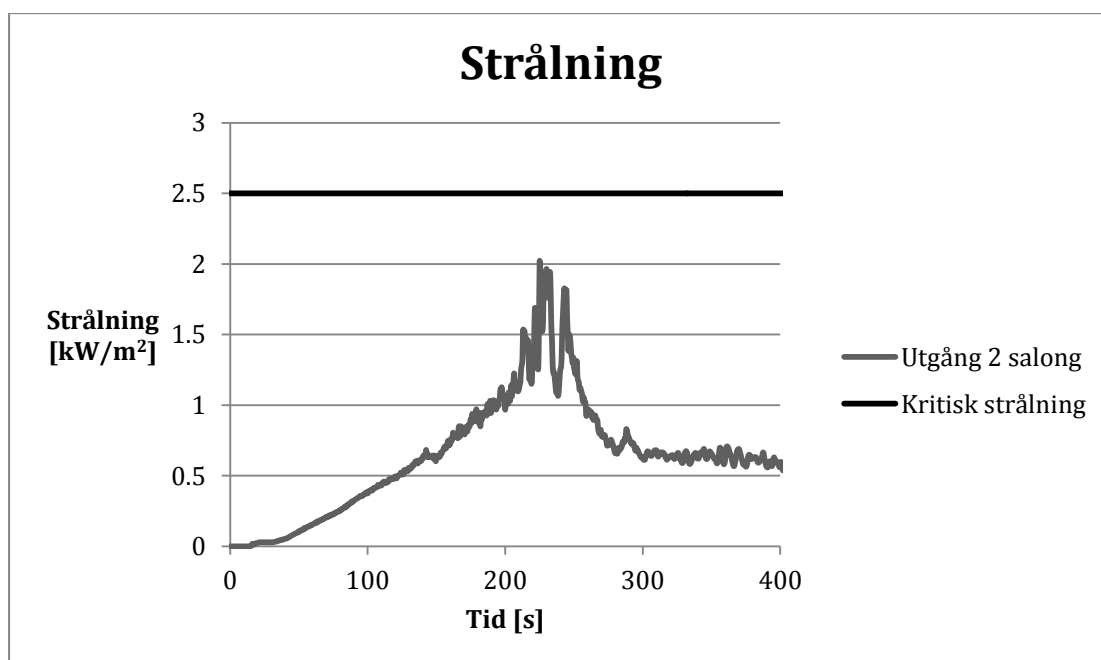
Kriterium	Nivå	Tid till uppnådd nivå [s]
Brandgaslagrets nivå ovan golv	$1,6 + 0,1 \cdot 5 = 2,1 \text{ m}$	220
Siktbarhet, 2,0 m ovan golv	10,0 m i utrymmen $> 100 \text{ m}^2$	150
Temperatur	Max 80°C	240
Värmestrålning	Max $2,5 \text{ kW/m}^2$	Uppnås ej



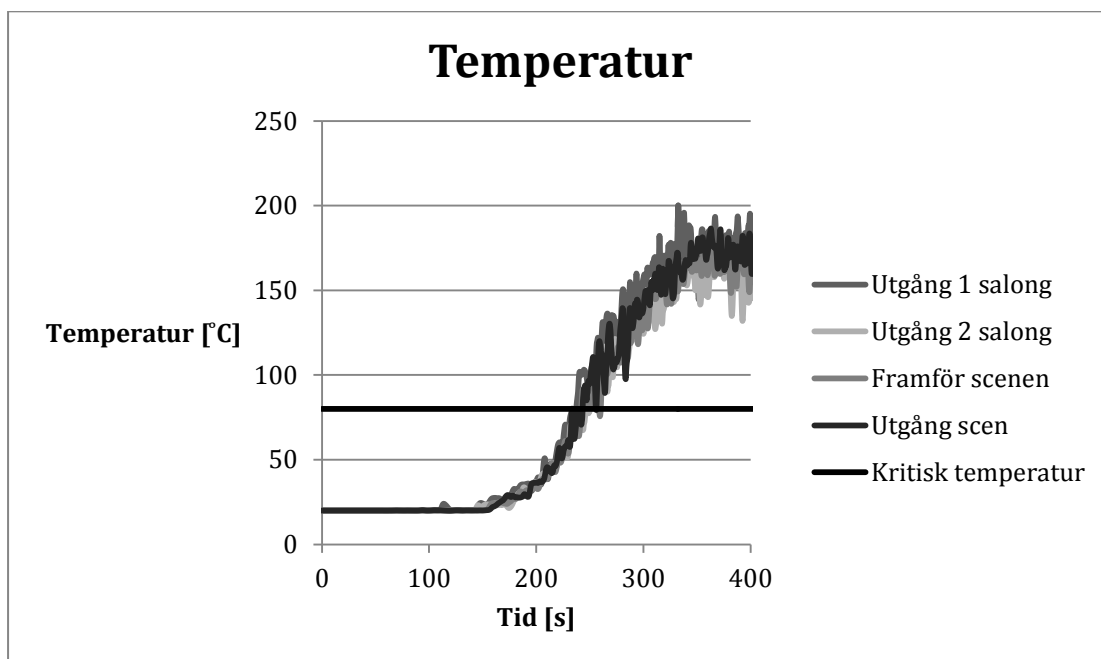
Figur 87: Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden.



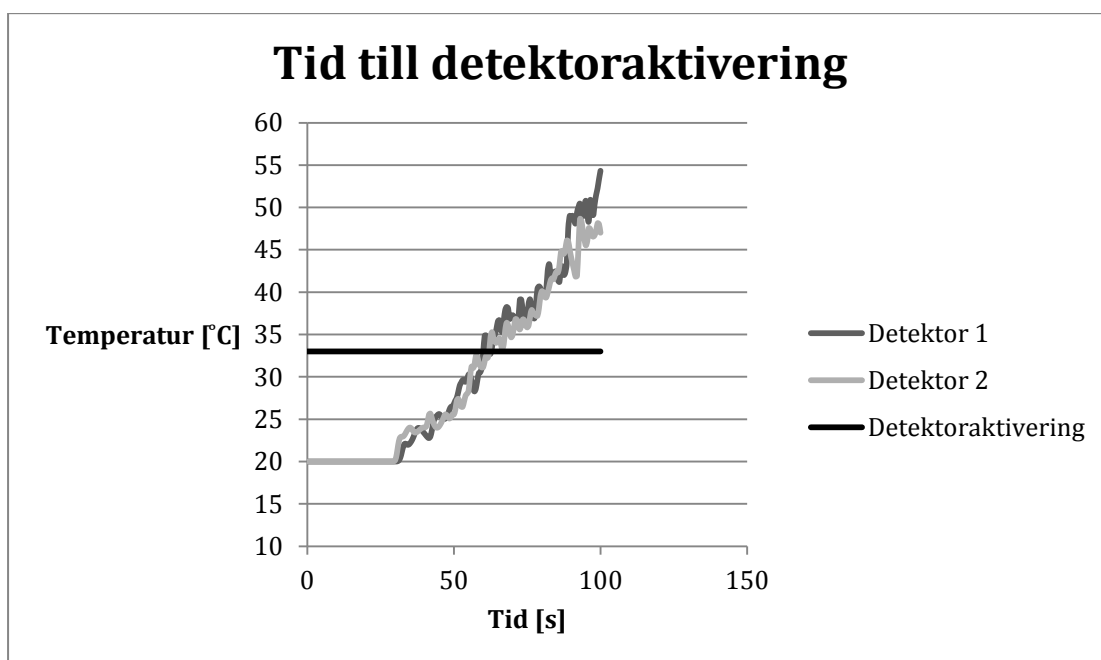
Figur 88: Optisk densitet som funktion av tiden.



Figur 89: Strålning som funktion av tiden.

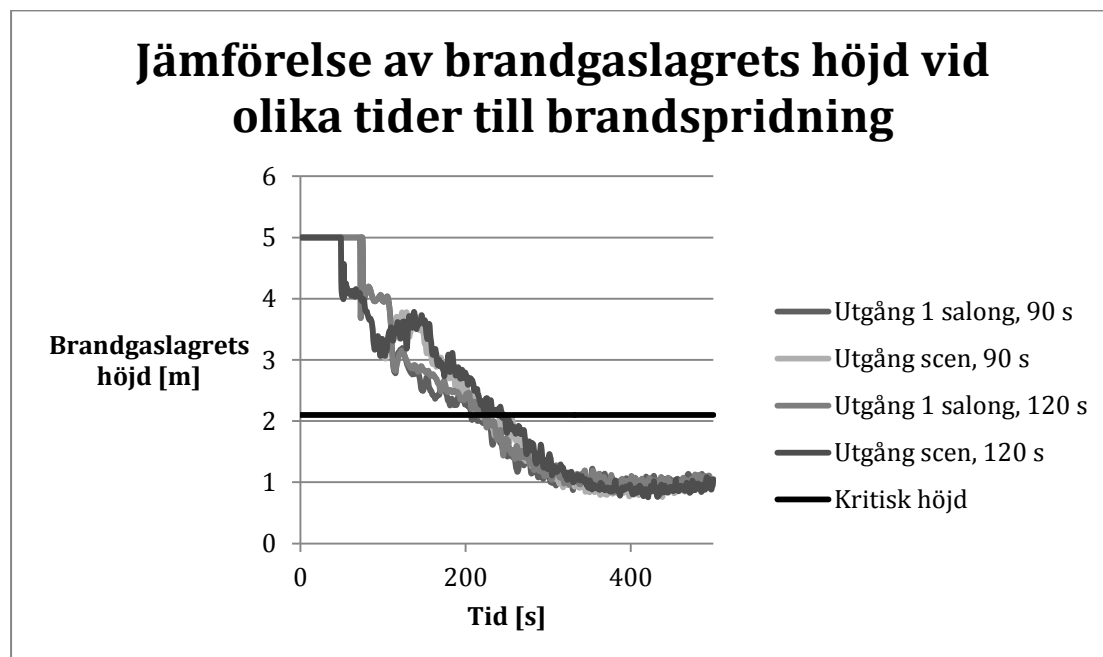


Figur 90: Temperatur som funktion av tiden.

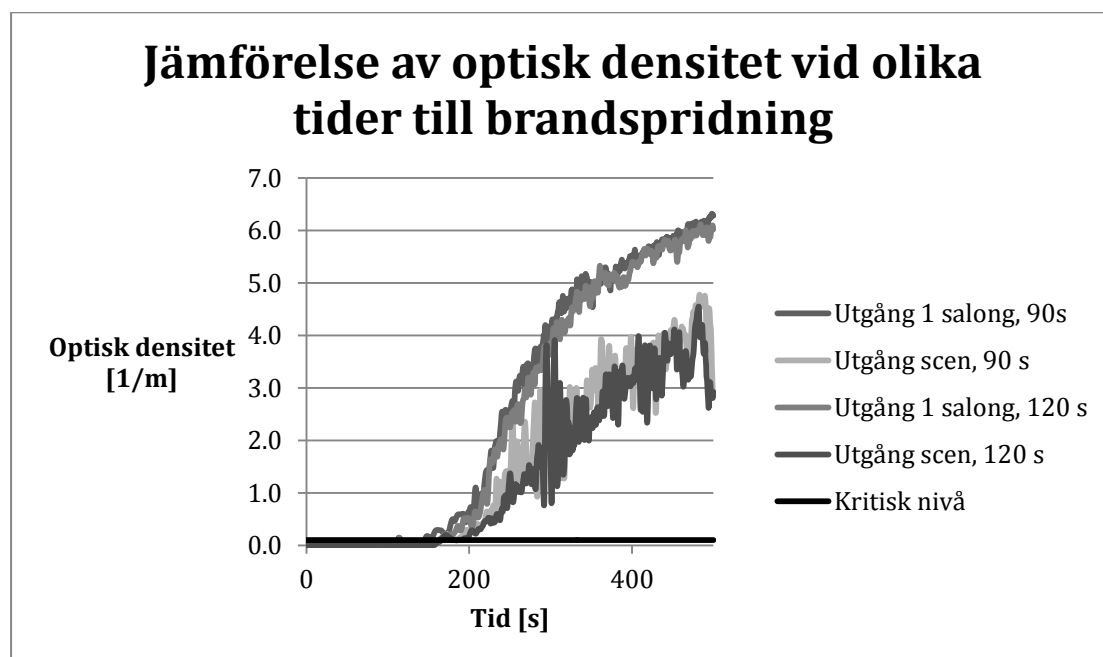


Figur 91: Tid till detektoraktivering.

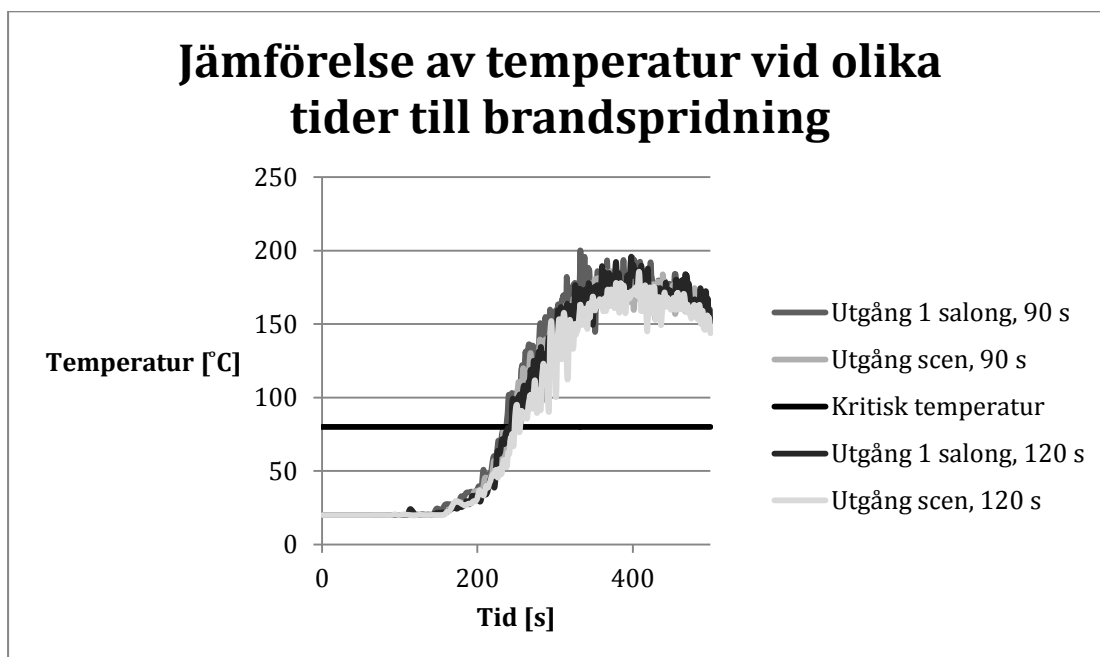
E.2 Känslighetsanalys av tid till brandspridning och cellstorlek



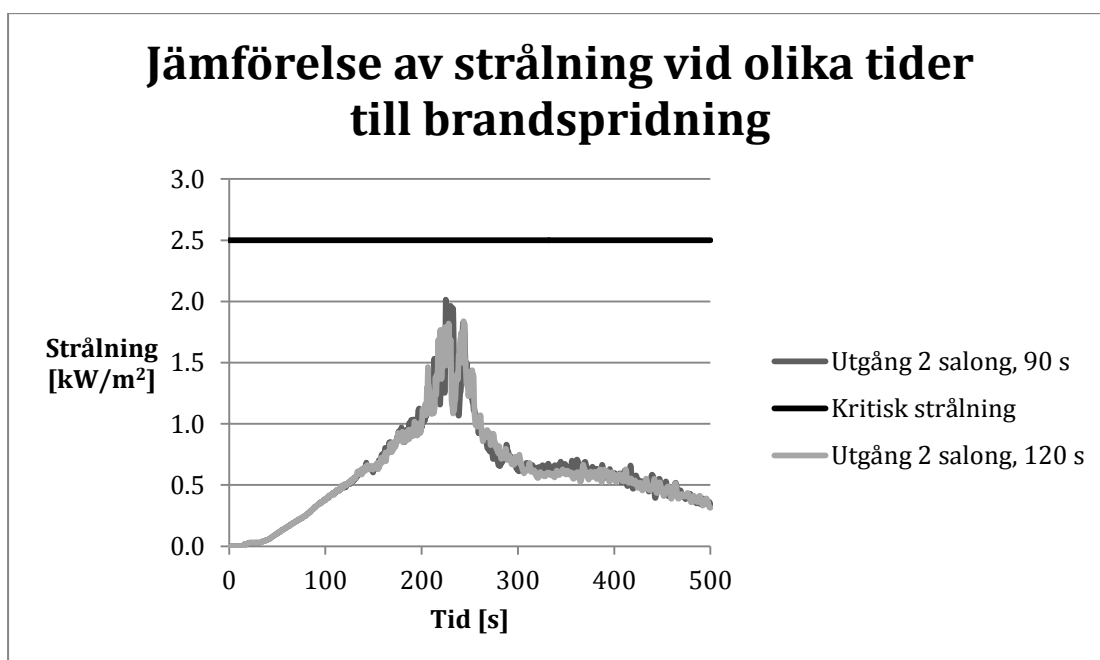
Figur 92: Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden vid olika tider till brandspridning.



Figur 93: Optisk densitet som funktion av tiden vid olika tider till brandspridning.

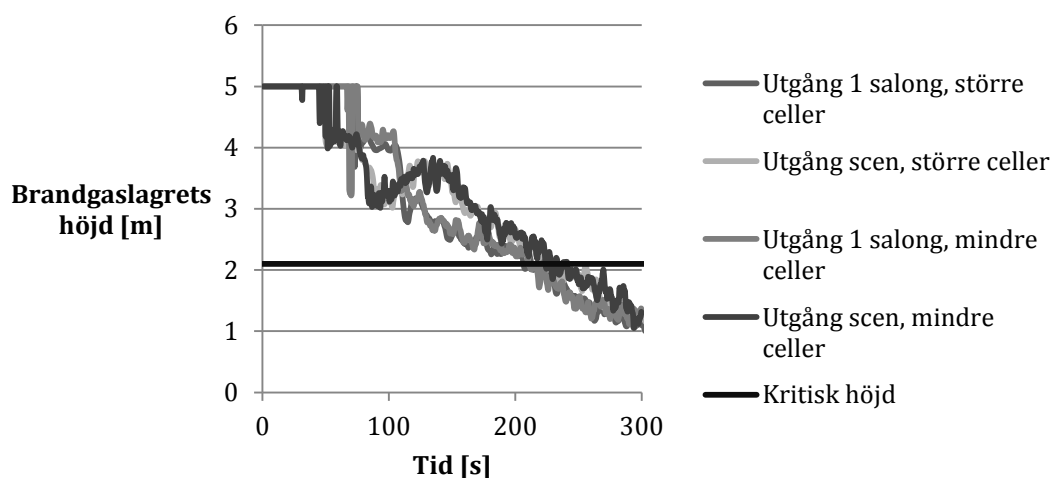


Figur 94: Temperatur som funktion av tiden vid olika tider till brandspridning.



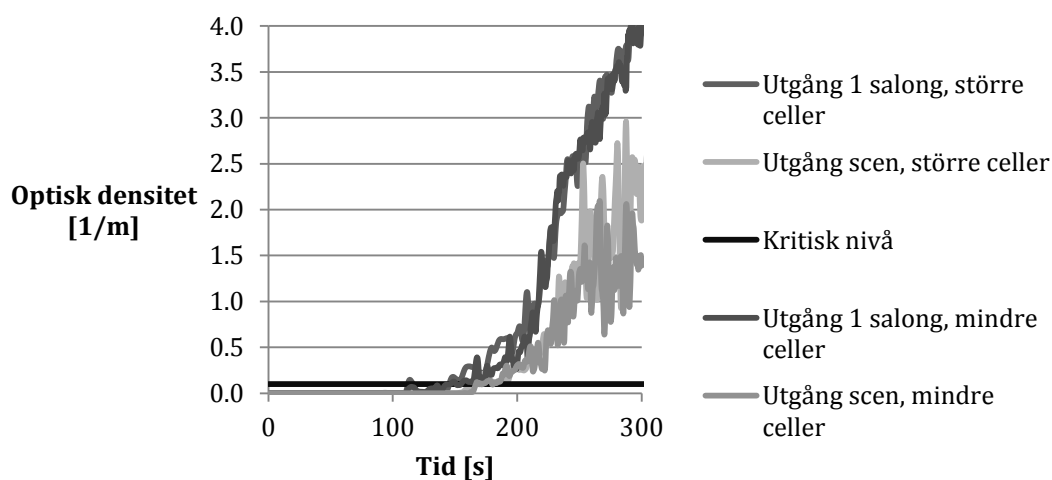
Figur 95: Strålning som funktion av tiden vid olika tider till brandspridning.

Jämförelse av brandgaslagrets höjd vid olika cellstorlekar

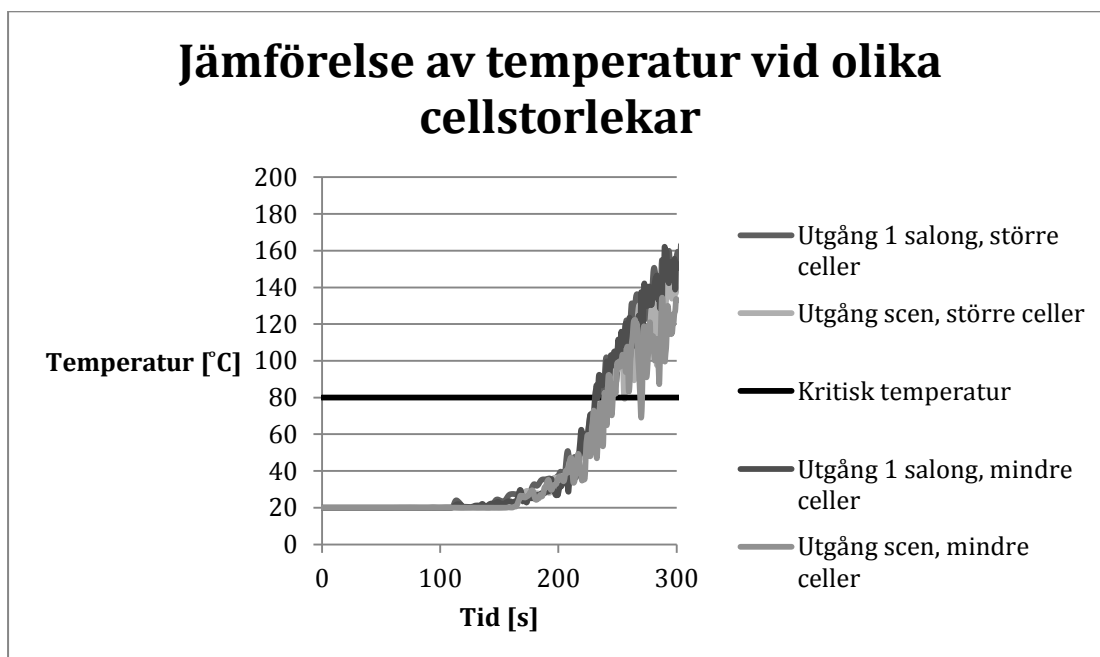


Figur 96: Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden vid olika cellstorlekar.

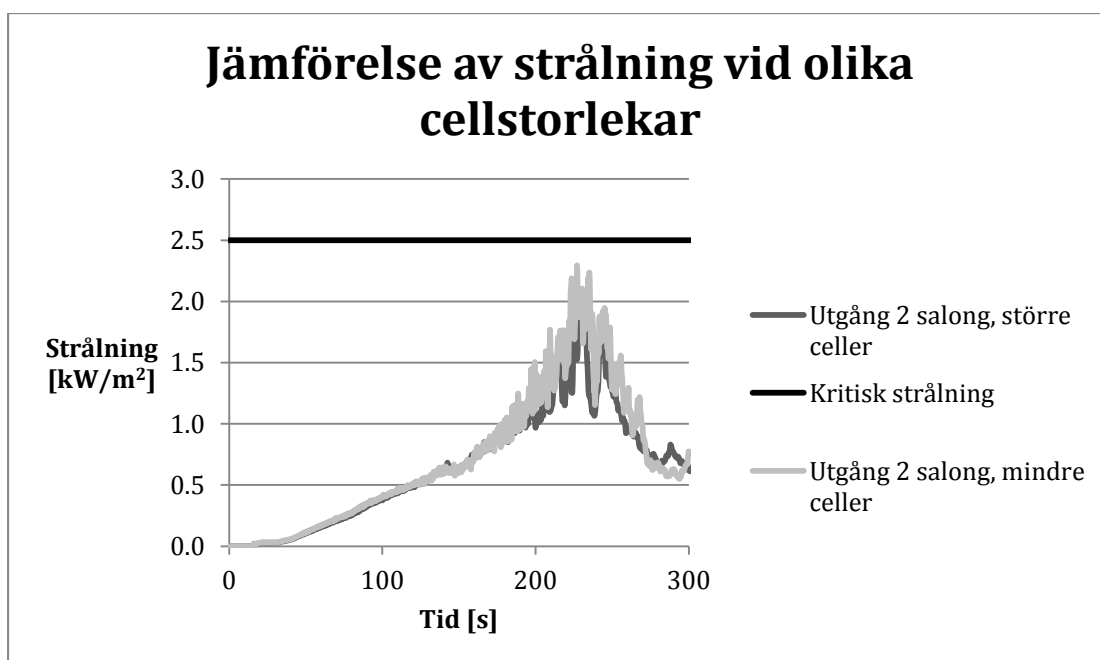
Jämförelse av optisk densitet vid olika cellstorlekar



Figur 97: Optisk densitet som funktion av tiden vid olika cellstorlekar.



Figur 98: Temperatur som funktion av tiden vid olika cellstorlekar.



Figur 99: Strålning som funktion av tiden vid olika cellstorlekar.

Bilaga F – Indata för simuleringar

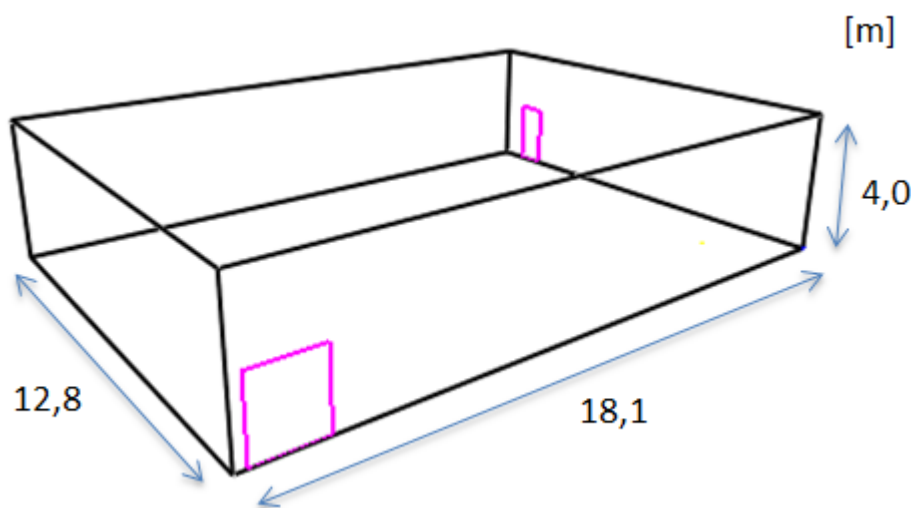
Nedan redovisas all indata för datorsimuleringarna som görs i rapporten.

F.1 Scenario 1 – Scen i Studioscenen

Nedan presenteras indata för simuleringar i Scenario 1.

F.1.1 CFAST

Indata för CFAST-simuleringar i Scenario 1.



Figur 100: Den simulerade geometrin för Studioscenen.

Tabell 17: Måtten på Studioscenen.

Geometri	Mått [m]
Längd	18,1
Bredd	12,8
Höjd	4,0

Tabell 18: Måtten på utrymningsvägarna i Studioscenen.

Utrymningsväg	Höjd [m]	Bredd [m]
Ordinarie	2	1,8
Alternativ	2	0,9

Tabell 19: Brandens placering och indata.

Placering (x, y, z) [m]	Maxeffekt [kW]	Tid under maxeffekt [s]	Material
2, 2, 0	2000	300	Wood pine

Tabell 20: Brandens indata (Babrauskas, 2002; Hultquist, 2000).

Material	Förbränningsvärme [MJ/kg]	Pyrolyseringsvärme [kJ/kg]	H/C	C/CO ₂
Wood	20,45	1600	0,14	0,012

Tabell 21: Vagg-/takmaterial i Studioscenen.

Lokal	Vagg-/takmaterial
Studioscenen	Particle board, high density

F.1.2 Validering av CFAST-simuleringar

För att efterlikna simuleringen i CFAST i största möjliga mån används samma geometri även i FDS-simuleringen. Ytskiktet på väggarna och taket definieras med data för väggmaterial från de förinställda värdena i CFAST. Då endast ytskiktet definieras i CFAST liknas resten av väggen med en lättbetongvägg med värden från Karlsson & Quintiere (2000). Tillväxthastigheten sätts till 0,047 kW/s² och maxeffekten till 2 MW. Värdet för soot-yield väljs till 0,015, vilket motsvarar värdet för trä och förbränningsvärmets sätts till 20450 kJ/kg (Babrauskas, 2002), vilket är samma värde som används i CFAST.

Nedan presenteras indatafilen till FDS-simuleringen i Scenario 1.

```

STUDIOSCENEN2
&HEAD CHID='STUDIOSCENEN2' TITLE='STUDIOSCENEN2'/
--- MESH FÖR RUMMET ---
&MESH IJK=135,192,45, XB=0.0,13.5,0.0,19.20,0.0,4.5,/
--- TID ---
&TIME T_END=250.0, /
--- STRÅLNING ---
&MISC RADIATION=.TRUE./
--- MATERIAL ---
&MATL ID = 'PARTICLE BOARD'
CONDUCTIVITY = 0.00017
SPECIFIC_HEAT = 1.3
DENSITY = 1000. /
&MATL ID = 'LIGHTWEIGHT'
CONDUCTIVITY = 0.15
SPECIFIC_HEAT = 1.0
DENSITY = 500. /
&SURF ID = 'PARTICLE BOARD WALL'
MATL_ID = 'PARTICLE BOARD','LIGHTWEIGHT'
BACKING = 'EXPOSED'
THICKNESS = 0.013,0.187
COLOR = 'MELON' /
&REAC ID = 'CELLULOSE'
SOOT_YIELD = 0.015
C = 6.
H = 10.
O = 5.
HEAT_OF_COMBUSTION = 20450.
IDEAL =.FALSE. / SFPE, TABLE 3-4.14, VÄRDE FÖR WOOD (RED OAK)
CFAST, HÄMTADE FRÅN SFPE TABLE C.4
--- BRÄNNARE ---
&SURF ID='FIRE', RAMP_Q='tsquared', HRRPUA=1990.2, COLOR='RED' /
&RAMP ID='tsquared', T= 0.0, F=0.00 /
&RAMP ID='tsquared', T= 10.0, F=0.00 /
&RAMP ID='tsquared', T= 20.0, F=0.01 /
&RAMP ID='tsquared', T= 30.0, F=0.02 /
&RAMP ID='tsquared', T= 40.0, F=0.04 /
&RAMP ID='tsquared', T= 50.0, F=0.06 /
&RAMP ID='tsquared', T= 60.0, F=0.08 /
&RAMP ID='tsquared', T= 70.0, F=0.12 /
&RAMP ID='tsquared', T= 80.0, F=0.15 /
&RAMP ID='tsquared', T= 90.0, F=0.19 /
&RAMP ID='tsquared', T= 100.0, F=0.24 /

```

&RAMP ID='tsquared', T= 110.0, F=0.29 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 120.0, F=0.34 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 130.0, F=0.40 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 140.0, F=0.46 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 150.0, F=0.53 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 160.0, F=0.60 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 170.0, F=0.68 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 180.0, F=0.76 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 190.0, F=0.85 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 200.0, F=0.94 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 210.0, F=1.0 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 220.0, F=1.0 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 230.0, F=1.0 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 240.0, F=1.0 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 250.0, F=1.0 /
 &OBST XB=9,9,10,9,15,7,16,7,0,1,0,2, SURF_IDS='FIRE','INERT','INERT' /

--- VÄGGAR ---
 &OBST XB=0,0,13,0,0,0,1,0,1,4,1, SURF_ID='PARTICLE BOARD WALL' / SÖDRA VÄGGEN
 &OBST XB=0,0,13,0,18,2,18,3,0,1,4,1, SURF_ID='PARTICLE BOARD WALL' / NORRA VÄGGEN
 &OBST XB=0,0,1,0,1,18,2,0,1,4,1, SURF_ID='PARTICLE BOARD WALL' / VÄSTRA VÄGGEN
 &OBST XB=12,9,13,0,0,1,18,2,0,1,4,1, SURF_ID='PARTICLE BOARD WALL' / ÖSTRA VÄGGEN

--- GOLV ---
 &OBST XB=0,0,13,0,0,0,18,3,0,0,0,1, SURF_ID='INERT' / GOLVET

--- TAK ---
 &OBST XB=0,0,13,0,0,0,18,3,4,1,4,2, SURF_ID='PARTICLE BOARD WALL' / TAKET

--- DÖRREN ---
 &HOLE XB=0,9,1,8,18,19,18,31,0,1,2,1 /
 &HOLE XB=12,89,13,0,1,0,4,2,2,0,1,2,1 /

--- VENTS ---
 &VENT XB=13,5,13,5,0,0,19,2,0,0,4,5, SURF_ID='OPEN' / ÖSTRA VÄGGEN
 &VENT XB=0,0,0,0,18,3,19,2,0,0,4,5, SURF_ID='OPEN' / VÄSTRA VÄGGEN
 &VENT XB=13,0,13,5,0,0,0,0,0,4,5, SURF_ID='OPEN' / SÖDRA VÄGGEN
 &VENT XB=0,0,13,5,19,2,19,2,0,0,4,5, SURF_ID='OPEN' / NORRA VÄGGEN
 &VENT XB=0,0,13,5,0,0,19,2,4,5,4,5, SURF_ID='OPEN' / TAKET

--- UTDATA ---
 &DEVC XB=6,5,6,5,13,5,13,5,0,1,4,1, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANDGASLAGRETS HÖJD' /
 /NÄRMEST BRANDEN
 &DEVC XB=6,5,6,5,9,0,9,0,0,1,4,1, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANDGASLAGRETS HÖJD' /MITTEN
 AV RUMMET
 &DEVC XB=6,5,6,5,4,5,4,5,0,1,4,1, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANDGASLAGRETS HÖJD' /LÄNGST
 BORT FRÅN BRANDEN
 &SLCF PBX=10,4, QUANTITY='TEMPERATURE' / TEMPERATUREN I RUMMET
 &SLCF PBX=10,4, QUANTITY='OPTICAL DENSITY' / OPTISKA DENSITETEN I RUMMET
 &DEVC ID='DT1', PROP_ID='DETEKTOR1', XYZ=7,9, 15,1, 3,95 / FÖRSTA DETEKTORNS PLACERING
 &PROP ID='DETEKTOR1', QUANTITY='LINK TEMPERATURE', RTI=1,0 ,
 ACTIVATION_TEMPERATURE=33,0 / FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR DETEKTORAKTIVERING

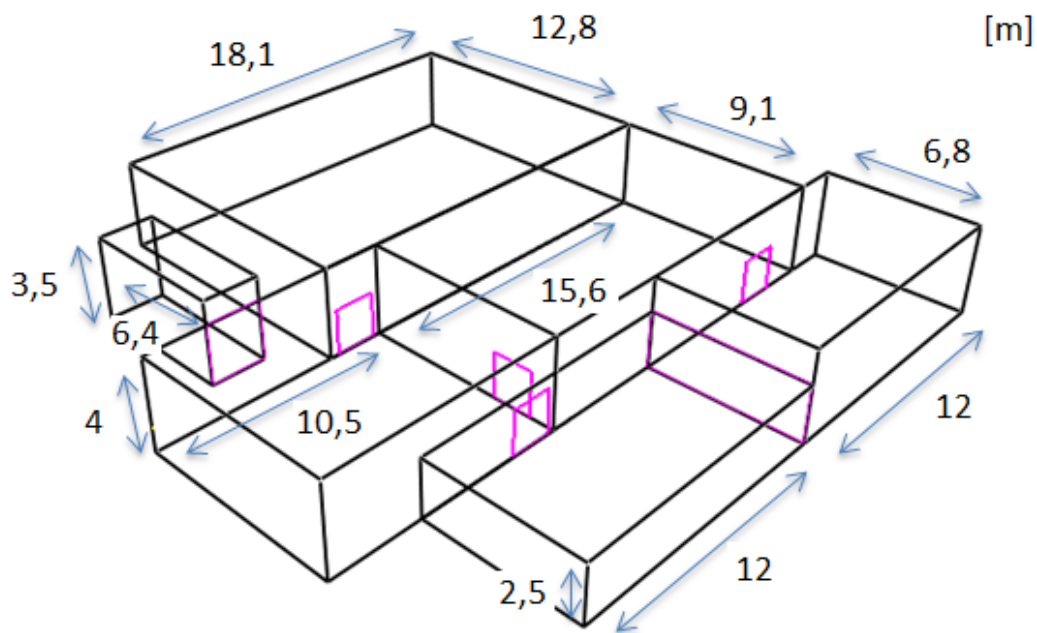
&DEVC ID='DT2', PROP_ID='DETEKTOR2', XYZ=7,9, 3,1, 3,95 / ANDRA DETEKTORNS PLACERING
 &PROP ID='DETEKTOR2', QUANTITY='LINK TEMPERATURE', RTI=1,0 ,
 ACTIVATION_TEMPERATURE=33,0 / FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR DETEKTORAKTIVERING
 &TAIL/

F.2 Scenario 2 – Obevakad garderob i Studiofoajén

Nedan presenteras indata för simuleringar i Scenario 2.

F.2.1 CFAST

Indata för CFAST-simuleringar i Scenario 2.



Figur 101: Den simulerade geometrin för Scenario 2.

Tabell 22: Måtten på alla lokaler som behandlas i Scenario 2.

Lokal	Geometri	Mått [m]
Studioscenen	Längd	18,1
	Bredd	12,8
	Höjd	4
Studiofoajén	Längd	10,5
	Bredd	9,1
	Höjd	4
Fredssalen	Längd	15,6
	Bredd	9,1
	Höjd	4
Kongressfoajén 1	Längd	12
	Bredd	6,8
	Höjd	2,5
Kongressfoajén 2	Längd	12
	Bredd	6,8
	Höjd	2,5
Hallen	Längd	2,3
	Bredd	6,4
	Höjd	3,5

Tabell 23: Måtten på alla dörrar som behandlas i Scenario 2.

Dörr	Höjd [m]	Bredd [m]
Studiofoajén - Studioscenen	2	1,8
Studiofoajén - Fredssalen	2	1,8
Studiofoajén - Kongressfoajén	2	1,8
Fredssalen - Kongressfoajén	2	1,8
Studiofoajén - Hallen	2,5	2,3

Tabell 24: Väggtakmaterial för lokalerna som behandlas i Scenario 2.

Lokal	Vägg-/takmaterial
Studioscenen	Particle board, high density
Fredssalen	Concrete, lightweight
Kongressfoajén	Concrete, lightweight
Studiofoajén	Concrete, lightweight
Hallen	Concrete, lightweight

Tabell 25: Brandens placering och indata.

Placering i Studiofoajén (x, y, z) [m]	α [kW/s ²]	Tid under maxeffekt [s]	Avsvlningsfas [s]	Material
1; 6,5; 1	0,19	1	100	50 % wool 50 % polyester

Tabell 26: Grundvärden för olika material som ingår i branden i Scenario 2 (Babrauskas, 2002; Hultquist, 2000).

Material	Förbränningsvärme [MJ/kg]	Pyrolyseringsvärme [kJ/kg]	H/C	C/CO ₂
Wool	20,7 - 26,6	1000 - 2200		
Polyester	23,8		0,1175	0,08
Wood	19,1 - 21,8	1000 - 2200	0,14	0,012

Värdena i tabell 26 ovan ger följande medelvärden, vilka används som indata i CFAST vid simuleringarna:

Tabell 27: Brandens indata.

Förbränningsvärme [MJ/kg]	Pyrolyseringsvärme [kJ/kg]	H/C	C/CO ₂
23,7	1600	0,13	0,05

F.2.2 Validering av CFAST-simuleringar

För att efterlikna simuleringen i CFAST används samma geometri även i CFD-simuleringen. Tillväxthastigheten sätts till 0,19 kW/s² och maxeffekten till 6 MW. Värdet för soot-yield väljs till 0,049, vilket motsvarar ett medelvärde för polyester och ull. Förbränningsvärmets sätts till 23700 kJ/kg (Babrauskas, 2002), vilket är samma värde som används i CFAST.

```

STUDIOFOAJÉN
&HEAD CHID='VALIDERING2' TITLE='VALIDERING2'/

--- MESH FÖR RUMMET ---
&MESH IJK=20,20,48, XB=0.5,2.5,6.0,8.0,0.0,4.8,/
&MESH IJK=48,30,24, XB=-0.1,9.5,0.0,6.0,0.0,4.8,/
&MESH IJK=3,10,24, XB=-0.1,0.5,6.0,8.0,0.0,4.8,/
&MESH IJK=36,10,24, XB=2.5,9.7,6.0,8.0,0.0,4.8,/
&MESH IJK=48,18,24, XB=-0.1,9.5,8.0,11.6,0.0,4.8,/
&MESH IJK=48,75,24, XB=-0.1,9.5,11.6,26.6,0.0,4.8,/
&MESH IJK=36,15,20, XB=-7.3,-0.1,2.0,5.0,1.4,5.4,/
TOTALT ANTAL CELLER 181056

MESH FÖR BRANDEN
MESH SÖDER OM BRANDEN
MESH VÄSTER OM BRANDEN
MESH ÖSTER OM BRANDEN
MESH NORR OM BRANDEN
MESH FÖR FREDSSALEN
MESH FÖR HALLEN

--- TID ---
&TIME T_END=340.0, /

--- STRÅLNING ---
&MISC RADIATION=.TRUE./

--- MATERIAL ---
&MATL ID = 'LIGHTWEIGHT'
CONDUCTIVITY = 0.15
SPECIFIC_HEAT = 1.0
DENSITY = 500. /

ENCLOSURE FIRE DYNAMICS

&SURF ID = 'CONCRETE WALL'
MATL_ID = 'LIGHTWEIGHT'
BACKING = 'EXPOSED'
THICKNESS = 0.2
COLOR = 'MELON' /

&REAC ID = 'POLYESTER'
SOOT_YIELD = 0.049
C = 1.
H = 1.4
O = 0.22
HEAT_OF_COMBUSTION = 23700.
IDEAL =.FALSE. / SOOT YIELD = MEDELVÄRDE AV VÄRDEN FÖR WOOL OCH POLYESTER HÄMTADE FRÅN
SFPE TABLE 3-4.14,
HEAT OF COMBUSTION = 23700 (MEDELVÄRDE FRÅN SFPE)

--- EFFEKT ---
&SURF ID='FIRE', RAMP_Q='tsquared', HRRPUA=6000.0, COLOR='RED' /
&RAMP ID='tsquared', T= 0.0, F=0.00 /
&RAMP ID='tsquared', T= 10.0, F=0.00 /
&RAMP ID='tsquared', T= 20.0, F=0.01 /
&RAMP ID='tsquared', T= 30.0, F=0.03 /
&RAMP ID='tsquared', T= 40.0, F=0.05 /
&RAMP ID='tsquared', T= 50.0, F=0.08 /
&RAMP ID='tsquared', T= 60.0, F=0.11 /
&RAMP ID='tsquared', T= 70.0, F=0.15 /
&RAMP ID='tsquared', T= 80.0, F=0.20 /
&RAMP ID='tsquared', T= 90.0, F=0.26 /
&RAMP ID='tsquared', T= 100.0, F=0.32 /
&RAMP ID='tsquared', T= 110.0, F=0.38 /
&RAMP ID='tsquared', T= 120.0, F=0.45 /

```

&RAMP ID='tsquared', T= 130.0, F=0.53 /
&RAMP ID='tsquared', T= 140.0, F=0.62 /
&RAMP ID='tsquared', T= 150.0, F=0.71 /
&RAMP ID='tsquared', T= 160.0, F=0.81 /
&RAMP ID='tsquared', T= 170.0, F=0.91 /
&RAMP ID='tsquared', T= 180.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared', T= 190.0, F=0.91 /
&RAMP ID='tsquared', T= 200.0, F=0.81 /
&RAMP ID='tsquared', T= 210.0, F=0.71 /
&RAMP ID='tsquared', T= 220.0, F=0.62 /
&RAMP ID='tsquared', T= 230.0, F=0.53 /
&RAMP ID='tsquared', T= 240.0, F=0.45 /
&RAMP ID='tsquared', T= 250.0, F=0.38 /
&RAMP ID='tsquared', T= 260.0, F=0.32 /
&RAMP ID='tsquared', T= 270.0, F=0.26 /
&RAMP ID='tsquared', T= 280.0, F=0.20 /
&RAMP ID='tsquared', T= 290.0, F=0.15 /
&RAMP ID='tsquared', T= 300.0, F=0.11 /
&RAMP ID='tsquared', T= 310.0, F=0.08 /
&RAMP ID='tsquared', T= 320.0, F=0.05 /
&RAMP ID='tsquared', T= 330.0, F=0.03 /
&RAMP ID='tsquared', T= 340.0, F=0.01 /

--- BRÄNNARE ---

&OBST XB=1.0,2.0,6.5,7.5,0.1,1.0, SURF_IDS='FIRE','INERT','INERT' /

--- VÄGGAR ---

&OBST XB=-0.1,9.5,0.0,0.2,0.2,4.2, SURF_ID='CONCRETE WALL' / SÖDRA VÄGGEN I STUDIOFOAJEN
&OBST XB=-0.1,9.5,10.6,10.8,0.2,4.2, SURF_ID='CONCRETE WALL' / NORRA VÄGGEN I STUDIOFOAJEN
&OBST XB=-0.1,0.1,0.2,10.6,0.2,4.2, SURF_ID='CONCRETE WALL' / VÄSTRA VÄGGEN I STUDIOFOAJEN
&OBST XB=9.3,9.5,0.2,10.6,0.2,4.2, SURF_ID='CONCRETE WALL' / ÖSTRA VÄGGEN I STUDIOFOAJEN

&OBST XB=-6.9,-0.1,2.4,2.6,1.6,5.2, SURF_ID='CONCRETE WALL' / SÖDRA VÄGGEN I HALLEN
&OBST XB=-6.9,-0.1,4.8,5.0,1.6,5.2, SURF_ID='CONCRETE WALL' / NORRA VÄGGEN I HALLEN
&OBST XB=-6.9,-6.7,2.6,4.8,1.6,5.2, SURF_ID='CONCRETE WALL' / VÄSTRA VÄGGEN I HALLEN
&OBST XB=-0.3,-0.1,2.6,4.8,1.6,5.2, SURF_ID='CONCRETE WALL' / ÖSTRA VÄGGEN I HALLEN

&OBST XB=-0.1,9.5,26.4,26.6,0.2,4.2, SURF_ID='CONCRETE WALL' / NORRA VÄGGEN I FREDSSALEN
&OBST XB=-0.1,0.1,10.8,26.4,0.2,4.2, SURF_ID='CONCRETE WALL' / VÄSTRA VÄGGEN I FREDSSALEN
&OBST XB=9.3,9.5,10.8,26.4,0.2,4.2, SURF_ID='CONCRETE WALL' / ÖSTRA VÄGGEN I FREDSSALEN

--- GOLV ---

&OBST XB=-0.1,9.5,0.0,26.6,0.0,0.2, SURF_ID='CONCRETE WALL' / GOLVET I STUDIOFOAJEN OCH FREDSSALEN
&OBST XB=-6.9,-0.1,2.4,5.0,1.4,1.6, SURF_ID='CONCRETE WALL' / GOLVET I HALLEN

--- TAK ---

&OBST XB=-0.1,9.5,0.0,26.6,4.2,4.4, SURF_ID='CONCRETE WALL' / TAKET I STUDIOFOAJEN OCH FREDSSALEN
&OBST XB=-6.9,-0.1,2.4,5.0,5.2,5.4, SURF_ID='CONCRETE WALL' / TAKET I HALLEN

--- HÅL ---

&HOLE XB=-0.31,0.11,2.6,4.8,1.6,4.2, / MELLAN HALLEN OCH STUDIOFOAJEN
&HOLE XB=6.3,8.1,10.59,10.81,0.2,2.2, / MELLAN STUDIOFOAJEN OCH FREDSSALEN

--- UTDATA ---

&DEVC XB=6.5,6.5,6.5,6.5,0.2,4.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANDGASLAGRETS HÖJD I STUDIOFOAJEN' /
&DEVC XB=6.5,6.5,15.6,15.6,0.2,4.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANDGASLAGRETS HÖJD I FREDSSALEN 1' /
&DEVC XB=3.5,3.5,18.6,18.6,0.2,4.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANDGASLAGRETS HÖJD I FREDSSALEN 2' /

&SLCF PBX=6.5, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&TAIL/

F.3 Scenario 3 – Teaterfoajén

Nedan presenteras indatafilen till FDS-simuleringen i Scenario 3.

```
&HEAD CHID='TEATERFOAJE', TITLE='TEATERFOAJE' /

&MESH IJK=180, 32, 27, XB=0.0, 36, 0.0, 6.4, -0.2, 5.2 /
&MESH IJK=45, 72, 27, XB=27, 36, 6.4, 20.8, -0.2, 5.2 /
&MESH IJK=45, 15, 5, XB=27, 36, 0, 3, -1.2, -0.2 /

---BRANDEN---

&MESH IJK=30, 40, 54, XB=33, 36, 20.8, 24.8, -0.2, 5.2 /

---BREDVID BRANDEN---

&MESH IJK=30, 20, 27, XB=27, 33, 20.8, 24.8, -0.2, 5.2 /
&MESH IJK=45, 45, 27, XB=27, 36, 24.8, 33.8, -0.2, 5.2 /

&TIME T_END=500 /

&MATL ID='GLAS', CONDUCTIVITY=0.8, SPECIFIC_HEAT=0.84, DENSITY=2600 / KARLSSON & QUINTIERE,
2000
&MATL ID='LATTBETONG', CONDUCTIVITY=0.125, SPECIFIC_HEAT=1.05, DENSITY=525 / TAGET FRÅN
CFAST

&SURF ID='GLASVAGG', MATL_ID='GLAS', THICKNESS=0.01, RGB= 0, 0, 100, TRANSPARENCY=0.05 /
&SURF ID='BETONGVAGG', MATL_ID='LATTBETONG', THICKNESS=0.15, RGB=128, 128, 128 /

---GOLVET---

CAFETERIA

&OBST XB=0.0, 27, 0.2, 6.4, -0.2, 0.0, SURF_ID='BETONGVAGG' /
&OBST XB=27, 35.8, 3, 6.4, -0.2, 0.0, SURF_ID='BETONGVAGG' /

FOAJE

&OBST XB=27.2, 35.8, 6.4, 33.4, -0.2, 0.0, SURF_ID='BETONGVAGG' /

ENTRE

&OBST XB=27, 35.8, 0.2, 3, -1.2, -1, SURF_ID='BETONGVAGG' /

---TAKET---

CAFETERIA

&OBST XB=0.0, 35.8, 0.2, 6.4, 5, 5.2, SURF_ID='BETONGVAGG' /

FOAJE

&OBST XB=27.2, 35.8, 6.4, 33.4, 5, 5.2, SURF_ID='BETONGVAGG' /

---VÄGGAR---

CAFETERIA

&OBST XB=0.0, 35.8, 0.2, 0.4, 0.0, 5.0, SURF_ID='GLASVAGG' /
&OBST XB=0.0, 0.2, 0.4, 6.2, 0.0, 5.0, SURF_ID='GLASVAGG' /
&OBST XB=0.0, 27.4, 6.2, 6.4, 0.0, 5.0, SURF_ID='BETONGVAGG' /
&OBST XB=35.6, 35.8, 0.4, 6.4, 0.0, 5.0, SURF_ID='BETONGVAGG' /

FOAJE
```

&OBST XB=27.2, 27.4, 6.4, 33.2, 0.0, 5.0, SURF_ID='BETONGVAGG' /
&OBST XB=27.2, 35.8, 33.2, 33.4, 0.0, 5.0, SURF_ID='GLASVAGG' /
&OBST XB=35.6, 35.8, 6.4, 33.2, 0.0, 5.0, SURF_ID='BETONGVAGG' /

MELLAN CAFETERIA OCH FOAJE

&OBST XB=27, 27.2, 2.5, 6.2, 0.0, 5.0, SURF_ID='BETONGVAGG' /
&HOLE XB=26.9, 27.3, 4, 6.2, 0.0, 2.4 /

ENTRE

&OBST XB=27, 35.8, 2.8, 3, -1, 0, SURF_ID='BETONGVAGG' /
&OBST XB=27, 27.2, 0.4, 2.8, -1, 0, SURF_ID='BETONGVAGG' /
&OBST XB=35.6, 35.8, 0.4, 2.8, -1, 0, SURF_ID='BETONGVAGG' /
&OBST XB=27, 35.8, 0.2, 0.4, -1, 0, SURF_ID='GLASVAGG' /

---VENTS OCH HOLES---

HUVUDENTRE

&VENT XB=0, 36, 0, 0, -0.2, 5.2, SURF_ID='OPEN' /
&VENT XB=0, 0, 0, 0.2, -0.2, 5.2, SURF_ID='OPEN' /
&VENT XB=36, 36, 0, 0.2, -0.2, 5.2, SURF_ID='OPEN' /
&VENT XB=0, 36, 0, 0.2, 5.2, 5.2, SURF_ID='OPEN' /
&VENT XB=27, 36, 0, 0, -1.2, -0.2, SURF_ID='OPEN' /

&HOLE XB=32.4, 34.8, -0.1, 0.3, -1, 1 /
&HOLE XB=29, 31.4, -0.1, 0.3, -1, 1 /

VID SCENEN

&VENT XB=36, 36, 6.4, 20.8, -0.2, 5.2, SURF_ID='OPEN' /
&VENT XB=36, 36, 20.8, 24.8, -0.2, 5.2, SURF_ID='OPEN' /
&VENT XB=36, 36, 24.8, 33.8, -0.2, 5.2, SURF_ID='OPEN' /

&HOLE XB=35.5, 35.9, 31.2, 32.2, 0, 2 /

TEATERFOAJE

&VENT XB=27, 27, 6.4, 20.8, -0.2, 5.2, SURF_ID='OPEN' /
&VENT XB=27, 27, 20.8, 24.8, -0.2, 5.2, SURF_ID='OPEN' /
&VENT XB=27, 27, 24.8, 33.8, -0.2, 5.2, SURF_ID='OPEN' /
&VENT XB=27, 36, 33.8, 33.8, -0.2, 5.2, SURF_ID='OPEN' /
&VENT XB=27, 36, 33.4, 33.8, 5.2, 5.2, SURF_ID='OPEN' /

&HOLE XB=27.1, 27.5, 6.6, 7.8, 0, 2 /
&HOLE XB=27.1, 27.5, 25.8, 27, 0, 2 /

---BRÄNSLE---

&REAC ID='WOOD'
SOOT_YIELD=0.052
C=6.
H=10.
O=5.
HEAT_OF_COMBUSTION=15491
IDEAL=.FALSE. /

---EFFEKTUTVECKLINGAR---

&SURF ID='SOFA', RAMP_Q='tsquared', HRRPUA=3002.0, COLOR='ORANGE RED' /
&RAMP ID='tsquared', T= 0.0, F=0.0 /
&RAMP ID='tsquared', T= 10.0, F=0.0 /
&RAMP ID='tsquared', T= 20.0, F=0.01 /

&RAMP ID='tsquared', T= 30.0, F=0.01 /
&RAMP ID='tsquared', T= 40.0, F=0.02 /
&RAMP ID='tsquared', T= 50.0, F=0.04 /
&RAMP ID='tsquared', T= 60.0, F=0.06 /
&RAMP ID='tsquared', T= 70.0, F=0.08 /
&RAMP ID='tsquared', T= 80.0, F=0.10 /
&RAMP ID='tsquared', T= 90.0, F=0.13 /
&RAMP ID='tsquared', T= 100.0, F=0.16 /
&RAMP ID='tsquared', T= 110.0, F=0.19 /
&RAMP ID='tsquared', T= 120.0, F=0.22 /
&RAMP ID='tsquared', T= 130.0, F=0.26 /
&RAMP ID='tsquared', T= 140.0, F=0.31 /
&RAMP ID='tsquared', T= 150.0, F=0.35 /
&RAMP ID='tsquared', T= 160.0, F=0.40 /
&RAMP ID='tsquared', T= 170.0, F=0.45 /
&RAMP ID='tsquared', T= 180.0, F=0.51 /
&RAMP ID='tsquared', T= 190.0, F=0.56 /
&RAMP ID='tsquared', T= 200.0, F=0.62 /
&RAMP ID='tsquared', T= 210.0, F=0.69 /
&RAMP ID='tsquared', T= 220.0, F=0.76 /
&RAMP ID='tsquared', T= 230.0, F=0.83 /
&RAMP ID='tsquared', T= 240.0, F=0.90 /
&RAMP ID='tsquared', T= 250.0, F=0.98 /
&RAMP ID='tsquared', T= 260.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared', T= 270.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared', T= 280.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared', T= 290.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared', T= 300.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared', T= 310.0, F=0.90 /
&RAMP ID='tsquared', T= 320.0, F=0.83 /
&RAMP ID='tsquared', T= 330.0, F=0.76 /
&RAMP ID='tsquared', T= 340.0, F=0.69 /
&RAMP ID='tsquared', T= 350.0, F=0.62 /
&RAMP ID='tsquared', T= 360.0, F=0.56 /
&RAMP ID='tsquared', T= 370.0, F=0.51 /
&RAMP ID='tsquared', T= 380.0, F=0.45 /
&RAMP ID='tsquared', T= 390.0, F=0.40 /
&RAMP ID='tsquared', T= 400.0, F=0.35 /
&RAMP ID='tsquared', T= 410.0, F=0.31 /
&RAMP ID='tsquared', T= 420.0, F=0.26 /
&RAMP ID='tsquared', T= 430.0, F=0.22 /
&RAMP ID='tsquared', T= 440.0, F=0.19 /
&RAMP ID='tsquared', T= 450.0, F=0.16 /
&RAMP ID='tsquared', T= 460.0, F=0.13 /
&RAMP ID='tsquared', T= 470.0, F=0.10 /
&RAMP ID='tsquared', T= 480.0, F=0.08 /
&RAMP ID='tsquared', T= 490.0, F=0.06 /
&RAMP ID='tsquared', T= 500.0, F=0.04 /

&SURF ID='BAR', RAMP_Q='tsquared2', HRRPUA=2009.6, COLOR='RASPBERRY' /
&RAMP ID='tsquared2', T= 0.0, F=0.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 10.0, F=0.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 20.0, F=0.01 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 30.0, F=0.02 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 40.0, F=0.04 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 50.0, F=0.06 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 60.0, F=0.08 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 70.0, F=0.11 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 80.0, F=0.15 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 90.0, F=0.19 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 100.0, F=0.23 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 110.0, F=0.28 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 120.0, F=0.34 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 130.0, F=0.39 /

&RAMP ID='tsquared2', T= 140.0, F=0.46 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 150.0, F=0.53 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 160.0, F=0.60 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 170.0, F=0.67 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 180.0, F=0.76 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 190.0, F=0.84 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 200.0, F=0.93 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 210.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 220.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 230.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 240.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 250.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 260.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 270.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 280.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 290.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 300.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 310.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 320.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 330.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 340.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 350.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 360.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 370.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 380.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 390.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 400.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 410.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 420.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 430.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 440.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 450.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 460.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 470.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 480.0, F=1.00 /
&RAMP ID='tsquared2', T= 490.0, F=1.00 /

---BRANDOBJEKT---

&OBST XB=33.8, 34.8, 21.3, 22.3, 0, 1, COLOR='BLACK', SURF_IDS='BAR', 'INERT', 'INERT',
DEVC_ID='TIMER1' / BAREN
&OBST XB=33.8, 34.8, 23.3, 24.3, 0, 0.4, COLOR='BLACK', SURF_IDS='SOFA', 'INERT', 'INERT' / SOFFAN
&DEVC XYZ=0.1,0.1,0.1, ID='TIMER1', SETPOINT=90, QUANTITY='TIME', INITIAL_STATE=.FALSE./

---UTDATA---

DETEKTORER

&PROP ID='DETEKTOR', QUANTITY='LINK TEMPERATURE', RTI=1, ACTIVATION_TEMPERATURE=33. /
&DEVC ID='DETEKTOR 1', PROP_ID='DETEKTOR', XYZ=31.55, 18.85, 4.95 /
&DEVC ID='DETEKTOR 2', PROP_ID='DETEKTOR', XYZ=27.95, 23.85, 4.95 /

SPRINKLER

&PROP ID='SPRINKLER', QUANTITY='LINK TEMPERATURE', RTI=50, ACTIVATION_TEMPERATURE=68. /
&DEVC ID='SPRINKLER 1', PROP_ID='SPRINKLER', XYZ=32.8, 25.8, 4.95 /
&DEVC ID='SPRINKLER 2', PROP_ID='SPRINKLER', XYZ=32.8, 19.8, 4.95 /

BRANDGASLAGRETS HÖJD

&DEVC XB=28, 28, 26.4, 26.4, 0, 5, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANDGASLAGRETS HOJD 1' /
UTANFÖR BORTE UTGÅNGEN FRÅN SALONGEN
&DEVC XB=28, 28, 7.2, 7.2, 0, 5, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANDGASLAGRETS HOJD 2' / UTANFÖR
NÄRMRE UTGÅNGEN FRÅN SALONGEN

&DEVC XB=31.5, 31.5, 29, 29, 0, 5, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANDGASLAGRETS HOJD 3' /
FRAMFÖR SCENEN
&DEVC XB=31.9, 31.9, 1, 1, -1, 5, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANDGASLAGRETS HOJD 4' / VID
HUVUDENTREN
&DEVC XB=35, 35, 31.7, 31.7, 0, 5, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BRANDGASLAGRETS HOJD 5' / VID
SCENUTGÅNGEN

OPTISK DENSITET

&DEVC XYZ=28, 26.4, 2, QUANTITY='OPTICAL DENSITY', ID='OPTISK DENSITET 1' / UTANFÖR BORTE
UTGÅNGEN FRÅN SALONGEN
&DEVC XYZ=28, 7.2, 2, QUANTITY='OPTICAL DENSITY', ID='OPTISK DENSITET 2' / UTANFÖR NÄRMRE
UTGÅNGEN FRÅN SALONGEN
&DEVC XYZ=31.5, 29, 2, QUANTITY='OPTICAL DENSITY', ID='OPTISK DENSITET 3' / FRAMFÖR SCENEN
&DEVC XYZ=31.9, 1, 1, QUANTITY='OPTICAL DENSITY', ID='OPTISK DENSITET 4' / VID HUVUDENTREN
&DEVC XYZ=35, 31.7, 2, QUANTITY='OPTICAL DENSITY', ID='OPTISK DENSITET 5' / VID SCENUTGÅNGEN

TEMPERATUR

&DEVC XYZ=28, 26.4, 2, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='TEMPERATUR 1' / UTANFÖR BORTE
UTGÅNGEN FRÅN SALONGEN
&DEVC XYZ=28, 7.2, 2, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='TEMPERATUR 2' / UTANFÖR NÄRMRE
UTGÅNGEN FRÅN SALONGEN
&DEVC XYZ=31.5, 29, 2, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='TEMPERATUR 3' / FRAMFÖR SCENEN
&DEVC XYZ=31.9, 1, 1, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='TEMPERATUR 4' / VID HUVUDENTREN
&DEVC XYZ=35, 31.7, 2, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='TEMPERATUR 5' / VID SCENUTGÅNGEN

STRÅLNING

&PROP ID='STRALNING', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX' /
&DEVC ID='STRALNING 1', PROP_ID='STRALNING', IOR=1, XYZ=27.4, 25.5, 1.5 /

&TAIL /

