



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Brandteknisk riskvärdering av Borås Kulturhus



Mathias Dalgren Wikland

Michael Hjelm

Annie Martinsson

Olga Nilsson

Lunds Tekniska Högskola

Rapport 9467, Lund 2014

Brandteknisk riskvärdering av

Borås Kulturhus

Mathias Dalgren Wikland

Michael Hjelm

Annie Martinsson

Olga Nilsson

Lund 2014

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

Avdelningen för brandteknik

Lunds Tekniska Högskola

Box 118

221 00 Lund

Telefon: 046 222 73 00

Hemsida: www.brand.lth.se

E-mail: brand@brand.lth.se

Department of Fire Safety Engineering

Lund Institute of Technology

Box 118

221 00 Lund

Telephone: +46 46 222 73 00

Homepage: www.brand.lth.se

E-mail: brand@brand.lth.se

Titel

Brandteknisk riskvärdering av Borås Kulturhus

Title

Fire safety evaluation of Borås Kulturhus

Rapport/Report

9467 © Avdelningen för brandteknik. Lunds Tekniska Högskola, 2014.

Av/By

Mathias Dalgren Wikland

Michael Hjelm

Annie Martinsson

Olga Nilsson

Brandingenjörprogrammet, Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2014

Fire Safety Engineering Program, Department of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology, 2014

Abstract

This report is the result of a fire safety evaluation of Borås Kulturhus. The report was written by students at the Fire Protection Engineering program at Lund University. The project focuses on the public safety within the building and not on the damage of the property. The building includes different types of activities such as theatre, public library and art museum. The aim was to evaluate the existing fire protection system and find the weaknesses in the system. Initially a visit was made at the object to gather information and get an overview of the building. Risk identification was then carried out to identify the worst case scenarios considering the public safety in the building. Comparisons between time to critical conditions caused by a fire and the time to evacuation were made to see if the fire safety is satisfactory. The areas regarding the two theaters was of most concern and the ones where most improvements were needed. Examples of improvements are education, information and fire safety equipment. The fire safety routines among the staff were estimated to be good according to the visit at Borås Kulturhus.

Nyckelord

Borås Kulturhus, brandteknisk riskvärdering, utrymning, Simulex, CFAST, FDS, kritiska förhållanden, riskanalys, känslighetsanalys

Keywords

Borås Kulturhus, fire safety evaluation, evacuation, Simulex, CFAST, FDS, critical conditions, risk analysis, sensitivity analysis

Språk/language

Svenska/Swedish

Förord

Vi vill rikta ett varmt tack till följande personer som har varit till stor hjälp under arbetets gång.

Nils Johansson	Handledare, doktorand vid avdelningen för brandteknik LTH
Peder Liljeroth	Handledare, brand-och riskingenjör Södra Älvsborgs räddningstjänstförbund
Andreas Leandersson	Handledare, brandingenjör Södra Älvsborgs räddningstjänstförbund
Jonathan Wahlqvist	Konsultation FDS, doktorand vid avdelningen för brandteknik LTH
Cedrik Persson	Konsultation ventilation, brandingenjör Bengt Dahlgren Brand och Risk AB
Bjarne Husted	Konsultation FDS, lektor vid avdelningen för brandteknik LTH
Monica Lanebäck Karlsson	Kontaktperson objekt, säkerhetssamordnare Borås Kulturhus

Sammanfattning

Rapporten är del av kursen *Brandteknisk riskvärdering* VBR054. En riskvärdering av Borås Kulturhus har utförts. Kulturhuset har flera olika verksamheter såsom bibliotek, museum, teater och café. Det finns ett heltäckande automatisk brandlarm samt automatisk vattensprinkler i vissa delar av byggnaden. Verksamheterna utvärderas utifrån personsäkerhet vid utrymning vilket medför att inga materiella skador beaktas. Personsäkerheten kvantifieras utifrån kritiska förhållanden gällande brandgaslagrets höjd, sikt, temperatur, strålning och toxicitet.

Utvärderingen baseras utifrån platsbesök där observationer kring utrymningsmöjligheter, potentiella brandscenarier och byggnadens geometri gjordes. Utifrån platsbesöket och statistik görs en grovanalys för att få fram de verksamheter som valts att analyseras. Dessa är garderob, stora teatern, lilla scen och biblioteket.

Analysen av brand- och utrymningsscenarierna hanterar osäkerheterna enligt Paté-Cornell nivå 2, det vill säga värsta troliga fall (Paté-Cornell, 1996). Detta medför att osäkerheterna endast behandlas kvalitativt.

Effektkurvorna som brandscenarierna baseras på utgår från tidigare försök och är omskalade för att anpassas till de aktuella brandscenarierna. Tiden till kritiska förhållanden bestäms för varje verksamhet utifrån effektkurvorna samt datorprogrammen CFAST och FDS. Denna tid jämförs mot en uppskattad utrymningstid. Utrymningstiden delas upp i varseblivningstid, förberedelsetid och förflyttningstid där den sistnämnda simuleras med hjälp av datorprogrammet Simulex. Varseblivningstiden uppskattas utifrån då branden förväntas upptäckas av personer eller detektorer. Förberedelsetiden tas utifrån tabellerade värden samt visuell uppskattning. Tidsskillnaden mellan utrymningstiden och tiden till kritiska förhållanden ger en säkerhetsmarginal som ska vara positiv för att acceptabla förhållanden ska föreligga. Om detta ej uppfylls rekommenderas åtgärder. Även om säkerhetsmarginalen är god kan åtgärder rekommenderas för att förbättra utrymningssituationen ytterligare.

Säkerhetsmarginalen uppfylls inte i stora teatern och lilla scen och därför bör åtgärder prioriteras i dessa utrymmen. Vissa åtgärder baseras på svar från enkätundersökningar från personalen. De åtgärder som ska/bör genomföras för hela verksamheten är:

- Kontinuerlig utbildning kring brandrisker och hantering av släckutrustning bör ske.
- Bättre skyltning och information vid utrymning av lilla scen ska finnas.
- Sprinklersystemet ska kontrolleras och besiktas enligt dimensionerande standard.
- Utrymningsvägar ska hållas fria.
- Skyltar gällande larmade utrymningsdörrar bör tas bort eller ersättas med lämpligare text.

Känslighetsanalys har genomförts för att se vilka parametrar i indata som påverkar slutresultatet i störst utsträckning. Dessa parametrars osäkerhet har sedan diskuterats. Sikten utgör den största osäkerheten för uppskattning av utrymningssäkerheten och bör därför beaktas med försiktighet.

Utifrån platsbesök görs bedömningen att det finns ett bra säkerhetstänk bland personal och ett bra brandskydd. Ett organisatoriskt brandskydd är av hög vikt för att upprätthålla och förbättra utrymningssäkerheten.

Nomenklatur

A_f = brandcellens golvarea

A_o = brandcellens omslutningsarea (inkl. öppningar)

c_p = specifik värmekapacitet [kJ/kgK]

D = avstånd från platta till punkt [m]

D^* = brandens karaktäristisk dimanter [-]

g = tyngdaccelerationen [m/s^2]

H = rumshöjden [m]

ΔH_{eff} = effektiv förbränningsvärme [MJ/kg]

$HRRPUA$ = effektutveckling per areaenhet [kW/m^2]

k = konstant för beräkning av brandgaslagrets höjd [-]

L_1 = halva flambredden [m]

L_2 = halva Flamhöjden [m]

m = massa brännbart material [kg]

m_{syre} = massa syre [kg]

n = brandtillväxthastighetsexponent [-]

Q = energi [MJ]

Q'' = brandbelastning [MJ/ m^2]

\dot{Q} = effektutveckling [kW]

\dot{Q}^* = dimensionslös effektutveckling [-]

\dot{q}'' = infallande strålning per areaenhet [kW/m^2]

q_o = brandbelastning per kvadratmeter omslutningsarea

q_f = brandbelastning per kvadratmeter golvarea

R_0 = radiellt avstånd från branden [m]

S = variabel för beräkning av synfaktor [-]

S = golvarea [m^2]

T = temperatur [K]

T_{∞} = omgivningstemperatur [K]

t = tid [s]

V_{rum} = volym utrymme [m^3]

α = tillväxthastighet [kW/s^2]

α = variabel för beräkning av synfaktor [-]

δx = celllängd [m]

ε = emissivitet [-]

σ = Stefan – Boltzmanns konstant [$5,67 \cdot 10^{-8} J/sm^2K^4$]

ρ_{∞} = densitet luft [kg/m^3]

ρ_g = densitet brandgaser [kg/m^3]

χ_r = fraktion av total energi som strålar [-]

ϕ = totala synfaktorn [-]

Akronymer

BBR	Boverkets Byggregler
BBRAD	Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd
CAD	Computer-Aided design
CFAST	The Consolidate model of Fire Growth and Smoke Transport
CFD	Computational Fluid Dynamics
FDS	Fire Dynamics Simulator
IDA	Indikatorer, Data och Analys
LES	Large Eddy Simulations
LSO	Lagen om skydd mot olyckor
LTH	Lunds Tekniska Högskola
MSB	Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
NIST	National Institute of Standards and Technology
SBN	Svensk Byggnorm
SRVFS	Statens räddningsverks författarsamling (nuvarande MSB)

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Syfte.....	1
1.2	Mål.....	1
1.3	Metod	1
1.4	Avgränsningar och begränsningar	2
2	Objektsbeskrivning	3
2.1	Allmänt	3
2.2	Brandteknisk klass och verksamhet.....	3
2.3	Plan 1.....	4
2.4	Plan 2.....	5
2.5	Plan 3.....	6
2.6	Plan 4.....	7
2.7	Plan 5.....	7
3	Befintligt brandskydd	8
3.1	Brandcellsgränser	8
3.2	Ytskikt	9
3.3	Bärverk	9
3.4	Sprinkler.....	9
3.5	Detektorer	10
3.6	Automatiskt brandlarm och utrymningslarm.....	10
3.7	Manuella släckredskap.....	10
3.8	Systematiskt brandskyddsarbete.....	10
3.9	Räddningstjänst.....	11
3.10	Ventilation	11
4	Risikanalys.....	13
4.1	Grovanalys.....	13
5	Utrymning	17
5.1	Utrymningstid.....	17
5.2	Skyddsmål.....	18
5.3	Kritiska förhållanden	18
5.4	Utrymningsbeskrivning.....	19
6	Scenario I – Garderob.....	22
6.1	Effektkurva	22
6.2	Tid till kritiska förhållanden.....	23
6.3	Utrymningstid.....	25
6.4	Resultat.....	25
6.5	Åtgärder utifrån brandscenarier	26
7	Scenario II – Publikdel vid stora teatern	27
7.1	Effektkurva	27
7.2	Tid till kritiska förhållanden.....	28
7.3	Utrymningstid.....	30

7.4	Resultat.....	30
7.5	Åtgärder utifrån brandscenarier	31
8	Scenario III – Lilla scen.....	33
8.1	Effektkurva	33
8.2	Tid till kritiska förhållanden.....	34
8.3	Utrymningstid.....	36
8.4	Resultat.....	36
8.5	Åtgärder utifrån brandscenarier	37
9	Scenario IV – Bibliotek	39
9.1	Effektkurva	39
9.2	Tid till kritiska förhållanden.....	41
9.3	Utrymningstid.....	42
9.4	Resultat.....	43
9.5	Åtgärder utifrån brandscenarier	43
10	Känslighetsanalys	44
10.1	Detektionstid	44
10.2	Förflyttningstid	45
10.3	Tid till kritiska förhållanden.....	46
11	Diskussion ej behandlade scenarier	52
11.1	Scenario 3 – Brand bakom scen vid stora teatern.....	52
11.2	Scenario 5 – Brand i museum	52
11.3	Scenario 6 – Brand i förvaringsutrymmen.....	52
11.4	Scenario 8 – Brand i verkstad	52
11.5	Scenario 9 – Brand i café	52
11.6	Scenario 11 – Brand i monter/foajé	53
12	Sammanställning åtgärder	54
12.1	Åtgärder utifrån brandscenarier	54
12.2	Åtgärder utifrån platsbesök	54
12.3	Åtgärder utifrån enkäter	59
12.4	Sammanfattning av åtgärder.....	60
13	Diskussion gällande osäkerheter	61
13.1	Statistik.....	61
13.2	Tid till kritiska förhållanden.....	61
13.3	Utrymningstid.....	64
13.4	FDS.....	65
13.5	CFAST.....	65
13.6	Felfunktion av tekniska system.....	66
13.7	Resultat.....	66
14	Slutsats	67
15	Referenser	68

Bilaga A: Brandcellsgränser	71
Bilaga B: Brandbelastning	74
Bilaga C: Enkätundersökning	76
Bilaga D: Systematiskt brandskyddsarbete	78
Bilaga E: Kontroll av gångavstånd och dörrbredd med förenklad dimensionering	79
Bilaga F: Statistik till grovanalys	84
Bilaga G: Datorprogram	85
Bilaga H: Scenario I – Garderob	87
Bilaga I: Scenario II – Publikdel vid stora teatern	90
Bilaga J: Scenario III – Lilla scenen	94
Bilaga K: Scenario IV – Bibliotek	98
Bilaga L: Strålning	102
Bilaga M: Brandgaslager	112
Bilaga N: CFAST-simuleringar	121
Bilaga O: Detact-T2	131
Bilaga P: Indata FDS	133
Bilaga Q: Utrymning	156

1 Inledning

Rapporten utförs i utbildningssyfte i kursen VBR054 Brandteknisk Riskvärdering på Lunds Tekniska Högskola. I kursen tilldelas studenterna ett objekt där ett platsbesök utförs för att utvärdera det befintliga brandskyddet, framförallt med avseende på utrymnings säkerheten. Varje grupp tilldelas en handledare från Lunds Tekniska Högskola och en handledare som är brandingenjör eller motsvarande som är bekant med objektet. Rapporten riktar sig främst till organisationen kring Borås Kulturhus samt Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund.

1.1 Syfte

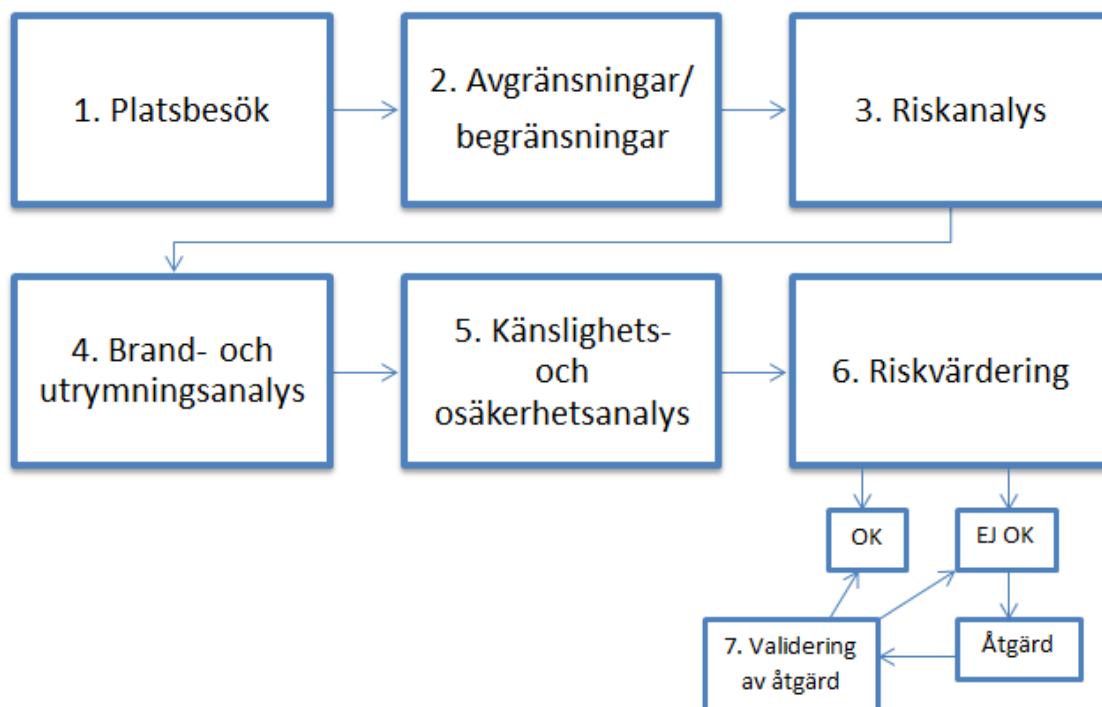
Syftet med projektet är att utföra en värdering av säkerhetsnivån för Borås Kulturhus och ta fram förslag på eventuella åtgärder.

1.2 Mål

Projektets mål är att utvärdera om personer som besöker Borås Kulturhus kan utrymma säkert vid händelse av brand. Om detta inte är fallet ska möjliga åtgärder tas fram.

1.3 Metod

Arbetsgången och tillvägagångssättet beskrivs i detta avsnitt och visas i form av ett flödesschema i Figur 1.



Figur 1. Schematisk bild över arbetsmetodiken

Steg 1- Platsbesök. Arbetsgången inleds med platsbesök för att undersöka utformning, verksamhet och brandskydd för objektet.

Steg 2- Avgränsningar/begränsningar. Därefter bestäms vilka avgränsningar och begränsningar som ska gälla för projektet. Dessa beskrivs i avsnitt 1.4.

Steg 3- Riskanalys. I detta steg identifieras ett större antal tänkbara brandscenarier som kan inträffa i objektet. Då scenarier har identifierats görs en grovanalys för att få fram ett mindre antal representativa värsta troliga fall. Riskidentifieringen och grovanalysen beskrivs i avsnitt 4.

Steg 4 – Brand-och utrymningsanalys. För de utvalda scenarierna utförs en analys för att undersöka om kritiska förhållanden inträffar och tid för utrymning. Detta steg görs för respektive scenario framtaget i steg 3. Datorprogrammen som används beskrivs närmare i Bilaga G: Datorprogram. Brand-och utrymningsanalysen beskrivs i avsnitt 6-9.

Steg 5 – Känslighets- och osäkerhetsanalys. Efter användning av de olika datorprogrammen FDS, CFAST, Simulex och Detact-T2 görs en känslighetsanalys för att undersöka vilka osäkra parametrar som påverkar slutresultatet mest. Detta steg innefattar också en diskussion kring osäkerheter angående använd data och beskrivs närmare i avsnitt 13.

Steg 6 - Riskvärdering. Från tidigare steg har utrymningstid och tid till kritiska förhållanden tagits fram. I denna del av arbetsgången värderas dessa tider.

Steg 7 – Validering av åtgärd. Anses personerna i lokalen kunna utföra en säker utrymning är nästa steg OK-rutan i Figur 1 vilket innebär att vidare analys ej görs. Om utrymningsförhållandena inte är säkra är nästa steg EJ OK-rutan vilket innebär att åtgärder ska vidtas. Därefter utförs en validering med vidtagna åtgärder för att se om utrymningsförhållandena är acceptabla. Steg 7 är en iterativ process.

1.4 Avgränsningar och begränsningar

Utifrån platsbesök och en grovanalys kommer olika brandscenarier att analyseras. Kulturhuset har flera verksamheter såsom bibliotek, två teatrar med tillhörande olika varianter av verkstäder och museum.

Med biblioteket avses endast verksamheten kopplad till själva biblioteket och inte tillhörande kontor eller sammanträdesrum belägna i samma brandcell. Bakgrunden till detta val är att i kontor och sammanträdesrum förväntas personalen ha god lokalkännedom vilket inte är fallet gällande biblioteket dit allmänheten har tillträde. Detta innebär att det är en publik lokal och besökare kan därmed inte förväntas ha god lokalkännedom. Endast plan 1-5 tas i beaktande för analysen då det är här människor i huvudsak vistas då stora delar är offentliga ytor och det kan finnas en utrymningsproblematik. I övriga delar av byggnaden kommer observerade brister vid platsbesöket att kommenteras.

Materiella skador som uppkommer i samband med brand tas ej i beaktande. I övrigt beaktas inte heller skador på bärverk och grundkonstruktion och dess konsekvenser på utrymning. Bärförmågan förutsätts vara intakt tills utrymning är avklarad. Då skyddsmålet fastställs för att möjliggöra säker utrymning undersöks ej brandförloppet vidare efter genomförd utrymning.

2 Objektsbeskrivning

Nedan följer en beskrivning av Borås Kulturhus.

2.1 Allmänt

Kulturhuset i Borås invigdes 1975 och renoverades 2010. Här finns flertalet verksamheter såsom bibliotek, teater, konstmuseum och café. Några gånger per år förekommer även större tillställningar såsom Kulturkvällen.

Kulturhuset består av åtta våningsplan. Dock består huvudverksamheten, där personer vistas, av fem våningsplan och den totala ytan uppgår till 16 800 m². Byggnaden är huvudsakligen uppdelad i fyra delar – bibliotek, teater, museum och foajé vid huvudingång. Dessa utgör hela eller delar av flera våningsplan. Våningsplanen sammanbinds med trappor och hissar.



Figur 2. Flygbild över Borås Kulturhus med de olika verksamheterna utmarkerade (Google Maps).

2.2 Brandteknisk klass och verksamhet

Borås Kulturhus bör vara dimensionerat enligt byggnadsklass Br1 då byggnaden har fler än tre våningsplan och skyddsbehovet bedöms stort enligt BBR 5:21 (Boverket II, 2008). Då Kulturhuset byggdes 1975 gällde troligtvis regelverket SBN 1967. Eftersom byggnaden renoverades år 2010 gäller BBR 2008. Därför väljs att kontrollera huruvida renoveringen uppfyllde de då gällande kraven. I denna upplaga förekommer inte begreppet verksamhetsklass. Istället används begreppet samlingslokal som motsvarar verksamhetsklass 2 i BBR 2010. Inga andra signifikanta skillnader har uppmärksamats mellan de olika byggreglerna.

I byggnaden förekommer flera verksamheter. De publika delarna klassas som samlingslokaler eftersom det vistas personer som inte förväntas ha god lokalkännedom, förväntas vara vakna och kan själva sätta sig i säkerhet. Biblioteket, teatern och museet klassas som samlingslokal där fler än

150 personer i respektive lokal får vistas. Lilla scen klassas däremot som samlingslokalen där maximala antalet personer i lokalen får vara 150 stycken.

Även verksamheter i form av kontorsdelar och verkstad förekommer i byggnaden där personal med god lokalkännedom vistas och har förutsättningar att själva sätta sig i säkerhet.

2.3 Plan 1

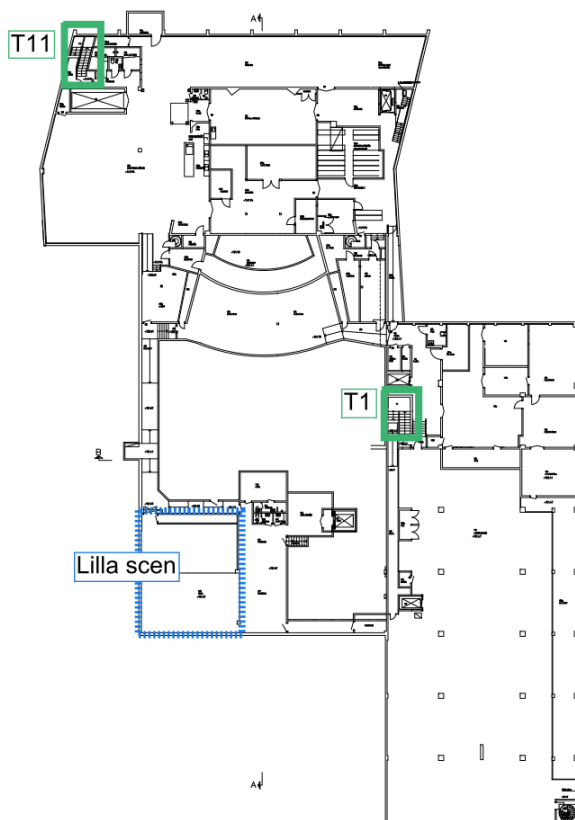
Plan 1 utgörs av lilla scen samt flertalet mindre utrymmen under den stora teatern. Hela våningsplanet är beläget under marknivå. Den lilla scenen har kapacitet för ungefär 90 sittplatser och läktaren är konstruerad för att ha möjlighet att göra temporära lösningar beroende på uppsättning. Kring den lilla scenen finns rekvisita och andra tillhörande utrymmen.

Under den stora teatern finns verkstad, måleri och smedja för tillverkning av rekvisita. Här finns också flertalet mindre förvaringsutrymmen.

På plan 1 finns även magasin och arkiv till biblioteket med tillhörande utrymmen. Till dessa utrymmen har endast bibliotekspersonalen tillträde. Om någon utomstående önskar nyttja bibliotekets magasin sker detta tillsammans med personal från biblioteket.

Ett av fläktrummen är beläget på detta plan.

Till plan 1 ansluter ett flertal trappor. Trapphus T1 och T11 klassas som utrymningsvägar, dock finns möjlighet att utrymma via andra vägar. Inga av trapphusen leder direkt ut i det fria. Utöver dessa ansluter även hissar plan 1 med ovanliggande plan. Detta kan ses i Figur 3.



Figur 3. Ritning över plan 1. Utrymningsvägar är markerade med grönt och verksamheterna tydliggörs med streckad blå linje.

2.4 Plan 2

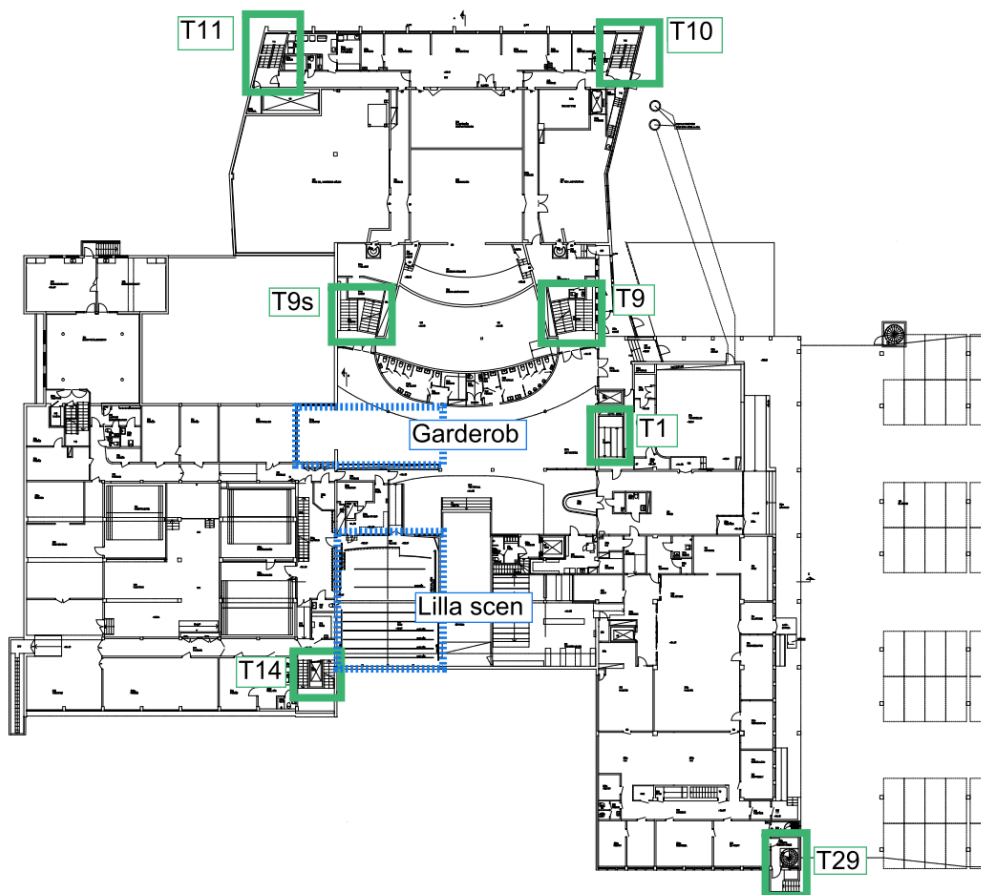
Plan 2 utgörs av flertalet mindre ej publika utrymmen. De flesta tillhör verksamheterna på våningsplanet ovan. Även plan 2 är beläget under markplan.

Lilla scenens övre delar med bland annat teknikrum och utrymningsvägar tillhör plan 2.

Vid den stora teatern finns tillhörande repetitionslokal och kontorslokaler. Här finns även en el- och ljudverkstad. Teaterentrén till publikdelen är belägen på plan 2 och vid denna finns garderoben.

Under biblioteksdelen finns bland annat magasin och en pågående ombyggnation till verksamhet riktad mot barn. I anslutning till biblioteket finns Vävarsalen som är 100 m² med en liten scen som används bland annat till uthyrning vid speciella tillfällen. Utanför entrén vid Vävarsalen finns en bilparkering.

Från plan 2 ansluter en mängd olika trappor och halvtrappor till intilliggande våningsplan. De trapphus som klassas som utrymningsvägar är T1, T9, T9s, T10, T11, T14 samt spiraltrappan T29. Detta presenteras i Figur 4. Utrymningsvägarna T9, T10 och T29 leder ut i det fria.



Figur 4. Ritning över plan 2. Utrymningsvägar är markerade med grönt och de olika delarna i byggnaden tydliggörs med streckad blå linje.

2.5 Plan 3

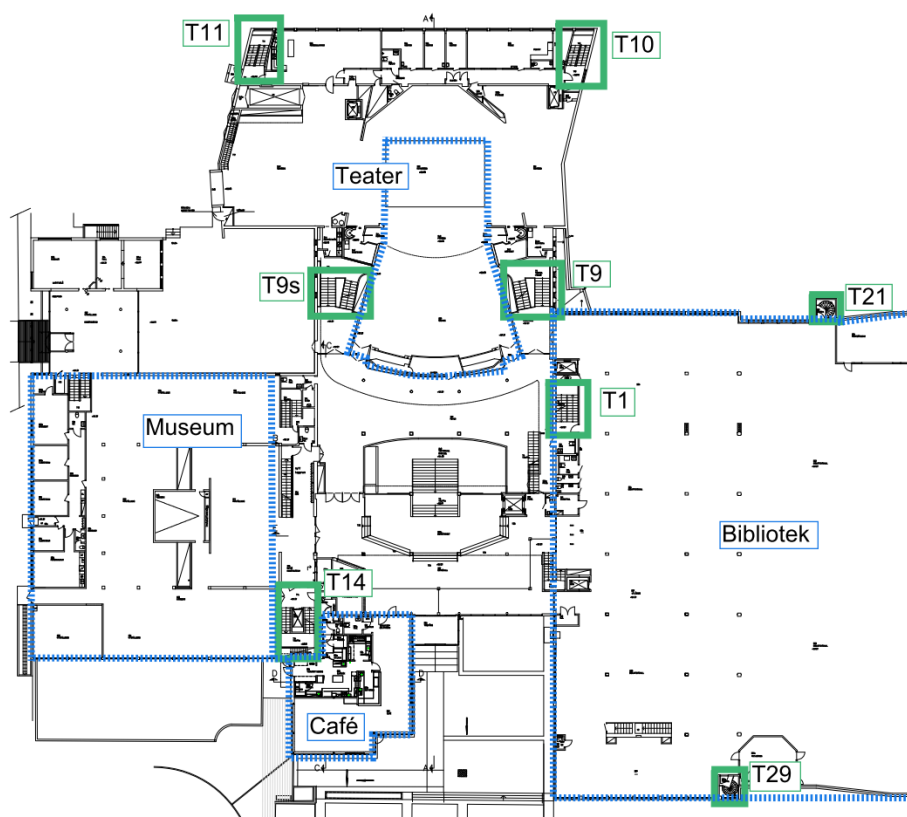
På plan 3 finns huvudingången till Kulturhuset i form av en öppen foajé med reception och fri yta för möjlighet till uppställning av montrar. Här förbinds bibliotek, museum och teater med sina respektive ingångar.

Den stora teatern är belägen mitt i huset, med ingångar på plan 3 till parketten. Dock sträcker sig teatern över ett flertal våningsplan. Det finns cirka 500 sittplatser, liknande biostolar, beläget på både publikdel och balkong. Kring scenen finns även stora bakomliggande utrymmen med rekvisita och annat materiel. Flertalet mindre utrymmen, avsedda för de anställda, med tillhörande kök är placerade i anslutning till teatern. Ovan stora teatern finns en tågvind som är ett utrymme för ljus- och elinstallationer.

Huvuddelen av biblioteket finns på plan 3. Biblioteket består av låga bokhyllor med flertalet läsplatser, reception och bokåterlämningsmaskin. Omgivningen är luftig och lättöverskådlig.

Största delen av Konstmuseet är framförallt beläget på plan tre. Museet besöks av mellan 10-200 personer om dagen. Ibland förekommer andra verksamheter såsom vernissage. Huvudlokalen för museet har stora fria ytor med begränsad möblering.

Från plan 3 fungerar trapphus T1, T9, T9s, T10, T11, T14 samt spiraltrapporna T29 och T21 som utrymningsvägar. Dessa utrymningsvägar finns markerade i Figur 5. Utrymningsvägarna T9s, T11, T21 och T29 leder ut i det fria.



Figur 5. Ritning över plan 3. Utrymningsvägar är markerade med grönt och de olika delarna i byggnaden tydliggörs med streckad blå linje.

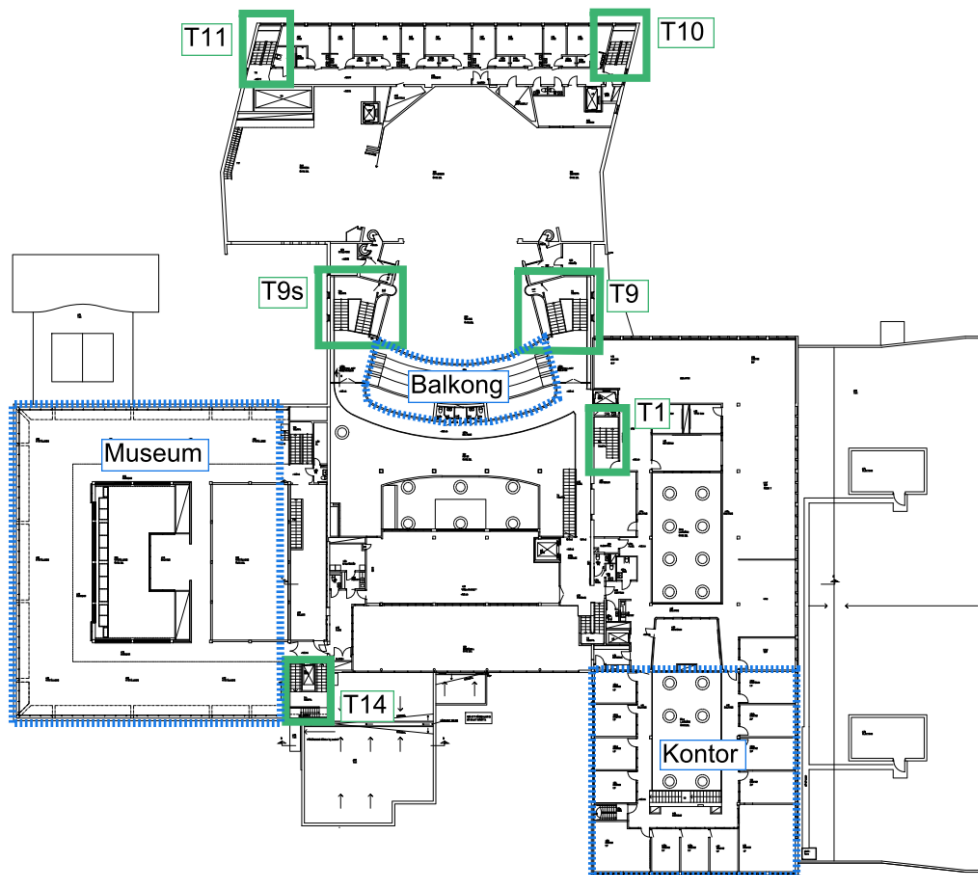
2.6 Plan 4

På plan 4 finns balkongen vid stora teatern samt utrymme för strålkastare och annan förvaring. I anslutning till teatern finns också loger och andra utrymmen för anställda.

På våningen ovan biblioteket finns kontorslokaler som bildar ett öppet atrium i mitten av biblioteket.

I konstmuseet finns ett mindre entresolplan för utställningar med soffor och annat möblemang.

Från plan 3 är trapporna T1, T9, T9s, T10, T11 samt T14 utrymningsvägar. Inga av trapphusen leder direkt ut i det fria. Deras placering presenteras i Figur 6.



Figur 6. Ritning över plan 4. Utrymningsvägar är markerade med grönt och de olika delarna i byggnaden tydliggörs med streckad röd linje.

2.7 Plan 5

Plan 5 består av ett mindre antal rum och vindsutrymmen för framförallt personal. Här finns även terrass och fläktrum.

3 Befintligt brandskydd

Det passiva och aktiva brandskyddet vid Borås Kulturhus redovisas och utvärderas i följande kapitel. Beskrivningen bygger på observation vid platsbesök, brandskyddsdokumentationen (Lovén, 2012) samt dokument gällande färgsättning i lokalen (Lagerqvist, 2012). Inom projektets ramar kan inte en heltäckande utvärdering av brandskyddet göras utan det genomförs en enklare kontroll för valda delar.

3.1 Brandcellsgränser

Byggnaden är indelad i ett flertal brandceller som till största del är utförda i brandteknisk klass EI 60 (Lovén, 2012). Utifrån beräkningar bör brandcellskiljande byggnadsdelar i Br1 minst vara EI 60, då brandbelastningen är mindre än 800 MJ/m^2 . Så är fallet i alla undersökta brandceller förutom biblioteket där beräknad brandbelastning är större än 1600 MJ/m^2 , vilket medför att brandcellskiljande delar ska vara utförda i EI 240 enligt BBR (Boverket I, 2008). Utifrån analytisk beräkning kan dock även brandcellsgränsen i biblioteket utföras i EI 60. För att följa beräkningar se Bilaga B: Brandbelastning.

Kulturhuset är huvudsakligen uppdelat i sex brandceller efter respektive verksamhet i de publika lokalerna – bibliotek, museum, huvudentré samt tre stycken i teatern. Flertalet mindre brandceller finns även inom dessa i form av hissar, trapphus och andra mindre utrymmen. Alla brandceller är uppförda i EI 60 om inget annat anges i rapporten. Ytterväggarna har ingen brandteknisk klass. Brandcellsgränserna redovisas med ritningar i Bilaga A: Brandcellsgränser.

3.1.1 Plan 1

På våningsplanet finns flertalet mindre brandcellsindelade utrymmen. Förutom hisschakt och trapphus finns även utrymme för fläkt- och elinstallationer och andra verksamheter såsom smedja, tapetseri och ljudstudio som utgör egna brandceller. Även lilla scen är en egen brandcell. I anslutning till smedjan finns ett kemikalieskåp i klass EI 90.

3.1.2 Plan 2

På våningsplan 2 finns flertalet mindre utrymmen som utgör egna brandceller. Under biblioteksdelen finns ett arkivrum uppfört i klass EI 120.

3.1.3 Plan 3

Mellan bibliotek och foajé finns en brandcellsavskiljande vägg. I bibliotekets brandcell ingår även kontorslokalerna på plan fyra. Inne i biblioteket finns totalt två hissar och fyra trapphus i egna brandceller. Även konstmuseet utgör en egen brandcell i och med brandväggen mellan museum och foajé.

Huvudentrés brandcell avgränsas mot biblioteket, teatern och museet. Denna brandcell utgörs av flertalet våningsplan i en öppen geometri. Enligt BBR 5:5 får inte en brandcell omfatta fler än två våningsplan. Dock är det godkänt i detta fall då sprinkler är installerade (Boverket I, 2008).

Teaterdelen är uppdelad i tre brandceller. En avgränsar scenen till publikdelen med ett brandjalusi, en bakom scen samt en till kontorslokalerna. Trappor samt hiss i anslutning till teatern är uppförda i egna brandceller.

3.1.4 Plan 4 och 5

Brandcellsindelningen på plan 4 och 5 utgörs i huvudsak av de olika verksamhetsområdena och i enlighet med våningsplan 3.

3.2 Ytskikt

Yttertaket på byggnaden är belagt med takpapp. Innerväggarna är målade om inget annat anges för varje del nedan. Byggnadens stomme är av betong precis som pelare och väggar. Balkar och tak består av betong och stål (Lovén, 2012).

Genom att ställa krav på ytskikt minskas byggnadsmaterialets bidrag till brandspridning och rökutveckling. Material ska inte heller falla ner eller droppa vid brand så att personer riskerar att skadas. Kraven som ställs på ytskikten beskrivs i Tabell 1 nedan enligt BBR 5:5 (Boverket I, 2008).

Tabell 1. Krav på ytskikt enligt BBR 5:5 (Boverket I, 2008)

Yta	Lokaltyp	Ytskiktsklass
Tak	Alla	B-s1,d0
Vägg	Utrymningsväg, samlingslokaler	B-s1,d0
	Övriga rum	C-s2,d0
Golv	Utrymningsvägar	C _{fi} -s1
	Samlingslokaler	D _{fi} -s1

I ytskiktclassen visar d- hur mycket det får droppa, s – hur stor rökutveckling det får bli och versalen står för vilken hastighet flamspridning får ha över materialet (Boverket I, 2008). B-s1,d0 är exempelvis normal målningsbehandling på betong eller gipsskiva med pappskikt (Norgips, ud) vilket vid platsbesök observerades vara väggmaterialen. Golvet i Kulturhuset är trägolv, marmor eller plastmattor och klarar kraven på C_{fi}-s1. Gällande träfaner i teaterfoajén får trä med brandskyddande egenskaper förekomma eftersom ytskiktskravet är B. Då egenskaperna för träet inte är kända kan ytskiktskraven inte garanteras vara uppfyllda. Nedan redovisas ytskikten för respektive utrymme.

Tabell 2. Ytskikt i respektive utrymme (Lagerqvist, 2012)

Utrymme	Ytskikt golv	Ytskikt väggar
Foajé	Marmor, tygmattor	Betong
Stora teatern	Textilmattor	Betong, lackad träfanér
Bibliotek	Oljat trägolv	Betong
Lilla scen	Trægolv	Betong

3.3 Bärverk

Fristående betongpelare i byggnaden är brandskyddade till R 90 och de inbyggda pelarna har en brandteknisk klass på R 90 och R 60. Friliggande balkar har brandklassen R 60 (Lovén, 2012).

3.4 Sprinkler

Vattensprinkler förekommer i stora delar av byggnaden och specificeras i Tabell 3 nedan.

Tabell 3. Förekomst av sprinkler och riskklass för de olika verksamheterna (Lovén, 2012)

Sprinkler förekommer:	Riskklass:
Teatern	OH3
Lilla scen	N3
Garderob	OH1
Foajén	OH1
Verkstaden	N3

Alla sprinklerhuvuden har ett RTI som motsvarar *fast response*, det vill säga lägre än $50 \text{ ms}^{1/2}$ och i stort sett alla har en aktiveringstemperatur på $68 \text{ }^\circ\text{C}$. Sprinkleranläggningen är installerad enligt SBF 120:6 samt SS-EN 12845:2004 (Lovén, 2012).

3.5 Detektorer

I byggnaden förekommer rökdetektorer, värmedetektorer och multidetektorer som är rök- och värmedetektorer. Största delen är rökdetektorer, vilka är installerade i teatern, garderoben, biblioteket och museet. Vid lilla scenen förekommer multidetektorer. På tåg vinden vid stora teatern finns ett antal värmedetektorer.

3.6 Automatiskt brandlarm och utrymningslarm

I hela byggnaden finns ett heltäckande automatiskt brandlarm och utrymningslarm enligt SBF 110:6 som är vidarekopplat till räddningstjänsten. I byggnaden finns larmklockor och i vissa fall talat meddelande. På flera ställen vid bland annat nödutgångar och entréer finns larmtryckknappar utplacerade. I stora teatern tänds belysningen, ljudanläggningen stängs av och ett brandjalusi mot scenen fälls ner när brandlarmet aktiverar (Lovén, 2012). Vid aktivering av brandlarm i lilla scen är det okänt vad som sker gällande exempelvis belysning och ljudanläggning. Dock bör det kontrolleras att belysning tänds och ljudanläggningen stängs av vid larm.

3.7 Manuella släckredskap

Handbrandsläckare finns utplacerade över hela byggnaden och är av typen skum- eller koldioxidsläckare. Runt om i byggnaden finns även inomhusbrandposter. Enligt brandskyddshandboken bör avståndet till handbrandsläckare/brandposter inte vara mer än 25 meter (Brandskyddshandboken, 2012).

I bibliotek finns skum- och pulverläckare och inomhusbrandposter. I denna del uppfylls avståndskravet på 25 meter.

Vid teatern och teaterscenen finns skumsläckare och inomhusbrandposter. Även i denna del av byggnaden uppfylls avståndskraven.

Vid lilla scen finns skumsläckare och brandpost. Avståndskraven bedöms vara uppfyllda. Enligt ritningar finns endast brandposter och inte handbrandsläckare i museet. Även här uppfylls avståndskravet.

I verkstaden där måleri, snickeri och smedja inkluderas förekommer både skum- och koldioxidsläckare samt brandposter inom acceptabla avstånd.

I övriga delar av byggnaden förutsätts avståndskravet uppfyllas.

3.8 Systematiskt brandskyddsarbete

Enligt 2 kapitlet, 2 § lagen (2003:778) om skydd mot olyckor ska det finnas ett systematiskt brandskyddsarbete och det bör bedrivas enligt Statens räddningsverks allmänna råd SRVFS 2004:3 (SRVFS, 2004). Detta bedrivs bland annat genom kontinuerlig brandutbildning via kommunen vart tredje år, samt att nyanställda utbildas. En uppsättning på teatern pågår i cirka två månader och därmed byts skådespelare och personal ut regelbundet, vilket ställer krav på återkommande utbildning. Skriftliga instruktioner vid brand förekommer enligt Bilaga D: Systematiskt brandskyddsarbete. Dessa instruktioner innefattar bland annat manuellt talat meddelande.

Från en enkätundersökning riktad till personal vid platsbesöket visade det sig att samtliga som svarade hade kunskap om hur de själva ska utrymma vid brand. Dock är kunskapen sämre kring assistans till funktionsnedsatta vid utrymning. Undersökningen påvisade också att flera i personalen inte känner sig bekväma att använda handbrandsläckare. För fullständigt resultat av enkätundersökningen, se Bilaga C: Enkätundersökning.

Utifrån platsbesök görs bedömningen att det finns ett bra säkerhetstänk bland personal som ett bra brandskydd.

3.9 Räddningstjänst

I Borås finns Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund som vid utryckning till Kulturhuset har en utryckningstid på cirka tre till fyra minuter¹ beroende på bland annat trafiken. Marken runt Kulturhuset är hårdgjorda ytor vilket ger räddningstjänsten bra möjlighet till uppställning av fordon. Det finns möjlighet till utrymning via tak och räddningstjänstens stege.

3.10 Ventilation

Ventilationssystemet är utformat som ett till- och frånluftssystem med värmeåtervinning (Lovén, 2012).

Större delen av brandcellerna i byggnaden är försedda med luft från separata aggregat som är placerade i källaren och på yttertaket. För att förhindra brandgasspridning mellan brandceller finns brandspjäll installerade som stängs vid brandindikering (Ahlinder, 2010). Det finns även brandspjäll som hindrar brand- och rökspridning mellan olika utrymmen. Vid installation av brand-/brandgasspjäll är det viktigt med isolering i motsvarande brandklass mellan spjäll och brandcellsgräns. Om ventilationssystem går via en annan brandcell är det viktigt att genomföringar är brandtekniskt klassade (Boverket I, 2008).

Ventilationsritningar har granskats och nedan följer en redogörelse för huvudverksamheterna.

3.10.1 Foajé

I foajén finns både till- och frånluftsdon dock inga brandgasspjäll. Frånluften från garderoben går till ett trycksatt avluftsschakt. Tilluften i garderoben är kopplad till tilluften i entrén vilket i praktiken kan innebära brandgasspridning via ventilationssystem vid brand. Dock är det öppet mellan utrymmena och därmed anses inte spridning via ventilation inte vara ett problem i detta fall. Eftersom det är ett stort öppet utrymme kommer det troligen inte bli någon väsentlig tryckökning i utrymmet och därmed bedöms risken för spridning via ventilationen vara liten. Det är troligare att spridning sker via det öppna utrymmet.

3.10.2 Stora teatern

I stora teatern finns både till- och frånluftsdon, brandgasfläktar och brandgasspjäll. All tilluft till publikdelen är kopplad till ett uteluftsschakt och frånluft till det trycksatta avluftsschaktet. Från kontor, attribut och magasin under logerna är tilluften sammankopplad med tilluften på ovanliggande utrymmen på plan 3 och 5 utan att några spjäll förekommer. Det kan medföra att om en brand skulle ske i det utrymmet kan spridning av brandgaser inträffa, vilket innebär spridning till annan brandcell. Detta kan förhindras med ytterligare installationer av brandgasspjäll. De befintliga brandgasspjällen är placerade i fläktrummet och betjäna smedjan samt plan 4.

¹ Andreas Leandersson, brandingenjör Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund, 2014-02-05

Brandgasfläktarna betjänar endast utrymmet bakom scen samt sidoscenen då ett brandjalusi kommer skilja av publikdelen från scenen vid eventuell brand. Fyra brandgasfläktar är placerade på taket ovanför scenutrymmet samt två stycken på taket ovanför sidoscenen. Information angående dessa fläktar är begränsad och därför görs ingen ytterligare analys utan endast råd om vad som bör kontrolleras för att säkerställa deras funktionalitet.

- Är fläktarna tryckstyrda? Om så är fallet, är de utsatta för vindpåverkan?

Tryckstyrda fläktar upprätthåller en viss tryckskillnad mellan inne och ute. Fläktarna varierar flödet så att denna tryckskillnad upprätthålls. Beroende på var tryckgivaren sitter kan de vara känsliga för vindpåverkan. Föreligger vindpåverkan kan det finnas risk för en betydande tryckskillnad mellan inne och ute vilket kan leda till att fläktarna drar fel flöde vid aktivering.

- Är fläktarna förreglerade så att de enbart kan starta om tilluften öppnas?

För att brandgasfläktarna ska fungera enligt dimensionering måste tilluften vara tillfredställande. Om fläktarna är förreglerade så att de endast kan starta då tilluften är öppen finns troligtvis microbrytare installerade. Då ska dessa brytare kontrolleras när brandgasfläktar kontrolleras.

- Om fläktarna ej är styrda på något av ovanstående sätt, hur starka är de då?

Är fläktarna tillräckligt starka och ingen tilluft finns att tillgå kan ett stort undertryck skapas så att utrymningen försvåras drastiskt².

- Hur ofta kontrolleras brandgasfläktarna?
- Hur ser skötsel av fläktarna ut?

Det är viktigt att kontroller sker kontinuerligt för att funktion ska säkerställas. Vintertid är det exempelvis viktigt att de ej är täckta med snö som kan försämra tillförlitligheten.

3.10.3 Lilla scen

Vid lilla scen finns både till- och frånluftsdon som är kopplade till ett eget aggregat. Därför finns inget behov av exempelvis brandgasspjäll. Från logerna vid lilla scen är tilluften sammankopplad med tilluften till kök och café utan att brandgasspjäll finns installerade. Detta kan medföra brandgasspridning mellan olika brandceller vid eventuell brand.

3.10.4 Bibliotek

I bibliotek finns både till- och frånluftsdon som är kopplade till egna aggregat. Från biblioteket med kontorsplatser är tilluften kopplad till tilluften i pentry och konferensrum våningen ovan. I praktiken kan det innebära brandgasspridning via ventilationssystem vid brand. Eftersom det är ett stort öppet utrymme kommer det dock inte bli någon väsentlig tryckökning i utrymmet och därmed bedöms risken för spridning via ventilationen vara liten.

² Cedrik Persson, brandingenjör Bengt Dahlgren Brand och Risk AB, mailkontakt, 2014-03-25

4 Riskanalys

En riskanalys görs för att identifiera de risker som kan komma att påverka en säker utrymning. Avsikten med identifieringen är att utvärdera olika scenarier som representerar värsta troliga fall för att undersöka hur väl utrymningen fungerar.

4.1 Grovanalys

I Kulturhuset i Borås kan ett stort antal brandscenarier tänkas inträffa och en grovanalys görs för att få fram representativa och troliga scenarier. Dessa scenarier jämförs med avseende på sannolikhet och konsekvens och placeras i en riskmatris. De scenarier som hamnar i det gröna området anses acceptabla. I det orange området anses scenarierna vara acceptabla efter enklare åtgärder och en medvetenhet om att de finns, medan de i det röda området anses vara oacceptabla. Scenarierna i matrisens röda område kommer att bearbetas och analyseras vidare.

Elva brandscenarier väljs ut på olika platser i Kulturhuset. Utifrån statistik gällande brandorsak i teatrar/bibliotek/museum/biografer, textil- och träverkstäder, kontorsbyggnader och caféer tas en frekvens fram för respektive scenario. Statistiken används endast som bedömning av frekvens i grovanalysen och ingen hänsyn tas till brandens omfattning och dess konsekvenser. För detaljerad beräkning och statistik se Bilaga F: Statistik till grovanalys. Dessa scenarier placeras sen i en riskmatris med konsekvens på x-axel och sannolikhet på y-axel. Sannolikheten rangordnas efter hur ofta en brand inträffar enligt nedanstående skala:

1. <1 gång på 250 år
2. >1 gång per 250 år
3. >1 gång per 125 år
4. >1 gång per 50 år
5. >1 gång per 5 år

Utifrån de frekvenser som beräknats i Bilaga F: Statistik till grovanalys gällande hur ofta en brand inträffar i denna typ av byggnad kan bedömningen göras att brand är relativt ovanlig. Statistiken bygger på insatser i Sverige under år 2005-2012 (MSB, 2014).

Konsekvensen för respektive scenario uppskattas kvalitativt utifrån personsäkerhet samt utrymningsförhållandena och skalan 1-5 motsvarar:

1. Övergående, lindriga obehag
2. Enstaka skadade, varaktiga obehag
3. Enstaka svårt skadade, svåra obehag
4. Enstaka döda, flera svårt skadade
5. Flera döda

De elva brandscenariernas sammanvägda sannolikhet och konsekvens diskuteras och presenteras nedan.

1. Brand i garderob

Garderoben är belägen utanför teatern i foajén. Jackorna hänger fritt på stänger utan någon avskiljande vägg. Folk kan passera nära inpå och garderoben är placerad i en tänkbar väg för utrymning vilket kan ge den stora konsekvenser. Brandbelastningen bedöms hög. De som vistas här kan ha funktionsnedsättningar eller dålig lokalkännedom vilket kan försvåra en utrymning.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 4

2. Brand i publik del vid stora teatern

Lokalen har 500 sittplatser på både publikdel och balkong. Det förekommer föreställningar för alla typer av målgrupper vilket kan ge en komplex och varierand utrymningssituation. Stolarna är flamskyddsbehandlade. Det förekommer en hel del elektrisk utrustning. De som vistas här kan ha funktionsnedsättningar eller dålig lokalkännedom vilket kan försvåra en utrymning.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 4

3. Brand bakom scen vid stora teatern

I utrymmet bakom scen förekommer mycket elinstallationer och rekvisita. De som vistas på denna plats har god lokalkännedom och någon form av utbildning inom lokalens brandskydd. Beroende på uppsättning kan antalet som rör sig bakom scen variera. Uppskattningsvis rör det sig om mellan 20-50 personer.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 2

4. Brand vid lilla scenen

Lilla scenen är belägen i en mindre lokal med lutande läktare där den översta raden hamnar nära taket. Utrymning sker näst intill enbart i övre delen av lokalen vilket kan ge en komplex och tidskrävande utrymning. Även vid denna scen förekommer det föreställningar för blandade målgrupper. De som vistas här kan ha funktionsnedsättningar eller dålig lokalkännedom vilket kan försvåra en utrymning.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 5

5. Brand i museum

Lokalen är luftig och persontätheten låg. Brandbelastningen anses även den vara låg. De som vistas här kan ha funktionsnedsättningar eller dålig lokalkännedom vilket kan försvåra en utrymning.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 2

6. Brand i förvaringsutrymmen

Dessa utrymmen är endast till för behörig personal vilket medför god lokalkännedom. Dock kan det ta tid innan en brand upptäcks här vilket vägs in i konsekvensbedömningen.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 2

7. Brand i bibliotek

Lokalen har både ett atrium och partier med lägre takhöjd. Det förekommer ett stort antal hyllor och övrigt möblemang. De som vistas här kan ha funktionsnedsättningar eller dålig lokalkännedom vilket kan försvåra en utrymning.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 4

8. Brand i verkstaden

I verkstaden förekommer trä- och textilindustri. Flertalet möjliga tändkällor ger stor sannolikhet för brand. De som vistas här har god lokalkännedom. Förekomst av nödljus och liknade är okänt.

Sannolikhet: 4

Konsekvens: 2

9. Brand i café

I utrymmet bedrivs ordinär caféverksamhet vilket medför en brandrisk, exempelvis i kök och med levande ljus på borden. Gästerna kan inte antas ha god lokalkännedom. Dock är utrymmet litet med glasade väggar och därför bedöms inte utrymningen bli komplex.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 3

10. Brand i kontorsdel

I kontorsdelen vistas endast personal med god lokalkännedom. Tändkällorna anses vara få vilket ger den låga sannolikheten.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 2

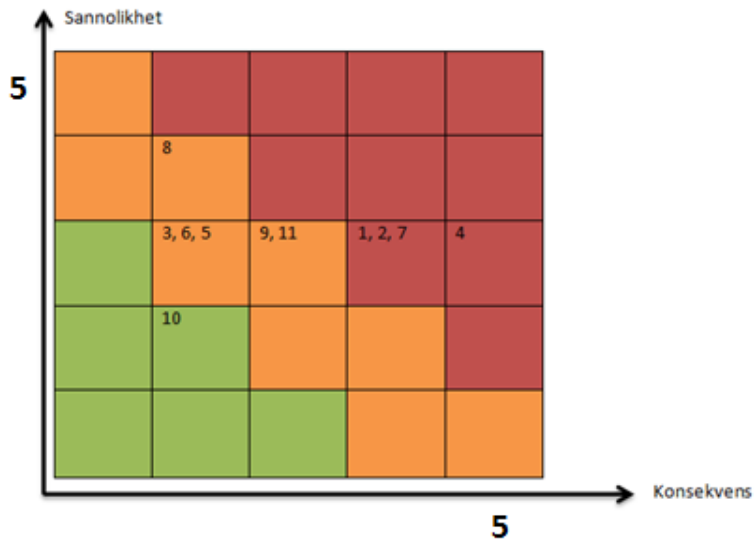
11. Brand i monter/foajé

Det kan förekomma arrangemang i foajén som leder till en tillfällig förhöjd brandbelastning och ökad persontäthet. Dock är det nära huvudentrén och luftig miljö vilket inte gör utrymningen alltför komplex.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 3

I Figur 7 nedan presenteras ovanstående scenarier i en riskmatris.



Figur 7. Riskmatris. Grönt område utgörs av acceptabla risker, orange är acceptabla efter rimliga åtgärder, rött är oacceptabla risker

Utifrån riskmatrisen väljs de scenarier som hamnar i det röda området för vidare analys och de som hamnar i det orange området kommer endast att diskuteras kvalitativt. De scenarier som kommer att analyseras vidare i rapporten får en ny beteckning och presenteras i Tabell 4 nedan.

Tabell 4. Ny beteckning för brandscenarier

Nuvarande beteckning	Ny beteckning	Plats	Analyseras i avsnitt
Scenario 1	Scenario I	Garderob	6. Scenario I – Garderob
Scenario 2	Scenario II	Stora teatern	7. Scenario II – Publikdel vid stora teatern
Scenario 4	Scenario III	Lilla scen	8. Scenario III – Lilla scen
Scenario 7	Scenario IV	Bibliotek	9. Scenario IV – Bibliotek

5 Utrymning

Nedan presenteras utrymningsteori och Kulturhusets aktuella utrymningssituation.

5.1 Utrymningstid

För alla scenarier beräknas en utrymningstid. Utrymningstiden består av en varseblivningstid, förberedelsetid och förflyttningstid. För att säkerställa acceptabla utrymningsmöjligheter ska utrymningstiden vara kortare än den tid det tar för kritiska förhållanden att inträffa. Om säkerhetsmarginalen ger negativ tidsskillnad innebär det att kritiska förhållanden uppnås innan utrymning är avklarad och personer utsätts därmed för risk (Frantzich, 2001).

Utrymningstiden kan variera och kan vara svår att uppskatta. Betydande faktorer kan bero på personer, byggnadens utformning och brandens inverkan. Den sociala aspekten spelar roll, huruvida det är en person eller en stor grupp kan agerandet se annorlunda ut. I samlingslokaler, såsom teatrar, kan reaktionstiden vara lång då många känner ett motstånd till att påbörja utrymningen (Frantzich, 2001).

5.1.1 Varseblivningstid

Tiden från det att branden startar tills dess att signal för utrymning uppfattas är varseblivningstiden. Tiden bör ej understiga 30 sekunder och kan beräknas utifrån tiden till att utrymningslarm startar (Frantzich, 2001). Den tiden kan simuleras fram i datormodeller eller utifrån värden och observationer från FDS-simuleringar. Varseblivningstiden kan också bero på huruvida personen ser branden eller inte samt förekomsten av automatiskt brandlarm.

Finns inget utrymningslarm försvåras uppskattandet av varseblivningstiden. Det är då svårt att uppskatta varseblivningstiden då den kan variera från några sekunder till flera minuter (Frantzich, 2001).

5.1.2 Förberedelsetid

Från det att personen uppfattat signal för utrymning till det att personen börjar utrymma är förberedelsetiden. Den tiden kan bero på:

- personens tillstånd
- typ av utrymningslarm
- belysning
- skyltning utrymningsvägar
- verksamhet.

Förslag på förberedelsetider presenteras i Tabell 5 nedan (Boverket II, 2013).

Tabell 5. Förslag på förberedelsetider

Verksamhet	Person ser branden	Förberedelsetid
Offentlig miljö, skola, kontor, varuhus, butik	Ja	1 minut
Mindre lokal med larmdon i aktuell lokal; mindre biograf, butik, kyrka	Nej	1 minut

5.1.3 Förflyttningstid

Tiden från det att personen påbörjat utrymning till att personen är på säker plats är förflyttningstiden. Denna tid beror bland annat på:

- dörrbredd
- antal dörrar
- persontäthet
- personens gånghastighet
- personflöde
- avstånd till utrymningsväg
- antal personer.

(Frantzich, 2001)

I denna rapport uppskattas förflyttningstiden med hjälp av datorprogrammet Simulex som beskrivs i Bilaga G: Datorprogram.

5.2 Skyddsmål

Skyddsmålet är att besökare på Borås Kulturhus ska kunna genomföra en säker utrymning om en brand skulle inträffa. Detta innebär att ingen ska utsättas för kritiska förhållanden.

5.3 Kritiska förhållanden

För att skyddsmålet ska uppfyllas krävs att kriterierna för förhållandet i brandrummet beaktas. Då känsligheten för värme och brandgaser varierar från person till person finns kriterier för kritiska förhållanden utifrån fastställda riktlinjer. Kriterierna beskrivs i Tabell 6 och delar är hämtade från BBRAD 3 tabell 7 (Boverket II, 2013).

Tabell 6. Kriterier för kritiska förhållanden enligt BBRAD 3 (Boverket II, 2013)

Kriterium	Nivå
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv	Lägst 1,6 meter adderat med rumshöjden multiplicerat med 0,1 ($1,6 + (\text{rumshöjd} * 0,1)$)
2. Sikt två meter ovanför golv	10 meter (1 obscura) i utrymmen $>100 \text{ m}^2$
3. Värmestrålning	Kortvarig strålning på max 10 kW/ m^2
4. Temperatur	Max 80°C
5. Toxicitet 2 meter ovan golv	– Kolmonoxidkoncentration ska vara mindre än 2000 ppm – Koldioxidkoncentration ska vara mindre än 5 % – Syrgaskoncentration ska vara större än 15 %

För att acceptabla utrymningsförhållanden ska föreligga krävs att kriterium 1 eller 2 samt 3-5 uppfylls. Det betyder att utrymning genom brandgaser i vissa fall kan accepteras om sikten är god (Boverket II, 2013).

Kvantifiering gällande toxicitet är osäkert då gaskoncentrationerna är beroende av exempelvis omgivning, mängd, bränsle och tillgång till syre. Sammantaget görs bedömningen att kriteriet gällande toxicitet inte kan beaktas i rapporten på grund av de stora osäkerheterna och mätsvårigheterna.

Temperaturen mäts vid höjden 1,8 meter ovan golv eftersom personer riskerar att bli utsatta för temperaturen vid denna höjd. Alla parametrar för kritiska förhållanden ligger i anslutning till nödutgångar.

Värmestrålningen beräknas med hjälp av handberäkningar och görs för att avgöra huruvida strålningen från flaman och brandgaslagret påverkar utrymningsmöjligheten.

5.4 Utrymningsbeskrivning

Utrymningsbeskrivningen syftar till att undersöka vilka möjligheter för säker utrymning som finns i lokalerna. Här fokuseras det främst på de samlingslokaler där mycket människor vistas.

Kraven på utrymningsvägar för de aktuella samlingslokalerna ställs av BBR enligt nedan (Boverket I, 2008).

- Minst två av varandra oberoende utrymningsvägar. Med oberoende utrymningsväg krävs ett minsta avstånd på 5 meter mellan utgångarna i samma brandcell.
- För byggnader med fler än ett plan krävs minst en utrymningsväg per plan.
- För den aktuella verksamheten krävs ett minsta gångavstånd på 30 meter till närmaste utrymningsväg. I utrymmen med sprinkler kan avståndet ökas med en tredjedel till 40 meter. Vid utrymning via trappor beräknas gångavståndet genom att trappans höjd multipliceras med fyra. Detta gäller inte för trappor på läktare eller gradänger inom en samlingslokal, där räknas istället det verkliga gångavståndet i trappans lutning.
- Varje utrymningsväg bör ha en bredd på minst 1,2 meter. Vid ett personantal mindre än 150 kan dörrbredden vara 0,8 meter. Dessutom ska den totala bredden av utrymningsvägarna bör vara minst 1 meter per 150 personer. Om den bredaste utrymningsvägen blockeras bör de återstående ha en bredd som motsvarar minst 1 meter per 300 personer (Boverket I, 2008).
- Gäller endast samlingslokaler >150 personer: Om utrymning kan ske åt två håll bör inte bänkraderna vara bredare än 40 sittplatser. Om däremot utrymning endast kan ske åt ett håll bör inte antalet sittplatser överstiga 10. Avståndet mellan bänkraderna bör vara minst 0,45 meter och stolarna bör vara fastsatta i golvet enligt BFS 2011:26 (Boverket II, 2011).

5.4.1 Garderob

Garderoben är belägen på plan 2. Dock utgörs brandcellen också av plan 3 vilket gör att utrymning kan ske från detta plan vid brand. Totalt finns åtta olika nödutgångar, varav fem finns på plan 2 och tre stycken på plan 3.

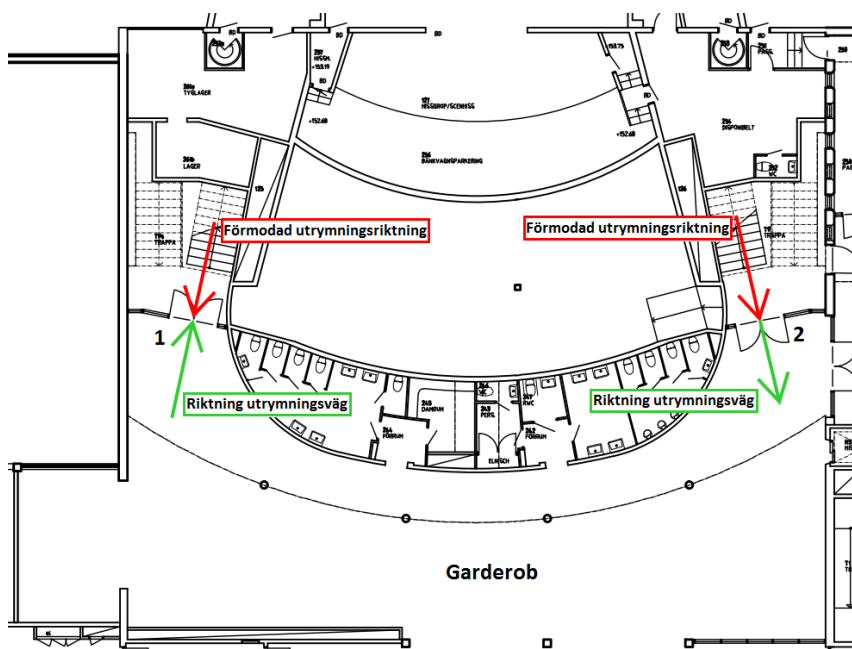
En kvalitativ bedömning görs att den sammanlagda dörrbredden är tillräcklig för lokalen då det finns ett stort antal tillgängliga dörrar.

Beräkningar gällande gångavstånd i lokalen visar att kraven uppfylls enligt Bilaga E: Kontroll av gångavstånd och dörrbredd. En analytisk dimensionering görs för att kontrollera huruvida en utrymningsväg kan tas bort enligt personalens önskemål som beskrivs i avsnittet nedan.

5.4.2 Publikdel i stora teatern

Utrymning av teatersalongen sker via sex dörrar, varav två finns på sidorna i nedre delen av lokalen, två upptill i bakre delen samt två från balkongen. De två dörrarna på sidorna har bredden 0,9 meter och de två övre dörrarna samt dörrarna från balkongen är 2,1 meter breda. Total bredd på utrymningsvägarna är alltså 10,2 meter. BBR anger att utrymningsvägar bör vara minst 1,2 meter breda vilket alltså inte uppfylls i lokalen. Lokalen är dimensionerad för 500 personer och enligt beräkningar i Bilaga E: Kontroll av gångavstånd och dörrbredd är bredden på utrymningsvägarna tillräcklig för att uppfylla kraven. Vid analytisk dimensionering delas teatern upp i balkong och parkett.

Personalen vid teatern har påtalat problem gällande den tänkta utrymningsvägen via den ena av de nedre nödutgångarna i teatern. Denna leder till trapphus där utrymningsvägen sedan fortsätter upp för en halvtrappa och ut i det fria. Detta är en annan väg än den publiken tar vid inpassering till teatern och är istället försedd med dörrar avsedda för utrymning åt andra hållet enligt nödutgång 1 i Figur 8 nedan. Eftersom personer i okända miljöer tenderar att utrymma samma väg som de kom in kan detta vålla problem i en utrymningssituation då det finns risk för stor folksamling framför dessa dörrar utan att de går att öppna på grund av dess öppningsriktning (Frantzich, 2001). Dessutom finns garderoben, där publiken förvarar sina jackor, bakom dessa dörrar vilket ytterligare kan öka sannolikheten att personer kommer välja denna utrymningsväg istället för den avsedda. Nödutgången på motsatt sida i nedre delen av teatern leder till trapphus och vidare till nödutgång 2 enligt Figur 8. Det innebär att utrymningsvägarna ser olika ut beroende på vilken av de nedre nödutgångarna i teatern besökaren väljer.



Figur 8. Beskrivning av observerat problem vid utrymning från stora teatern på plan 2

Dörrarna i utrymningsvägarna i teatern är försedda med tryckbeslag med manuell låsvred och kan låsas inifrån teaterlokalen.

Handikapplatser finns vid övre delen av parketten och utrymning sker via de bakre dörrarna och vidare ut mot det fria via en gång ut mot innergården.

Beräkningar visar att bredden på utrymningsvägarna inte uppfyller kraven för lokalen som är avsedd för 500 personer eftersom vissa av dörrarna är smalare än 1,2 meter. Dock kommer en analytisk dimensionering göras och inga slutsatser dras utifrån dörrbredden med förenklad dimensionering. Gångavståndet är kortare än 40 meter och därmed acceptabelt. Beräkningar kan följas i Bilaga E: Kontroll av gångavstånd och dörrbredd.

5.4.3 Lilla scen

Lilla scen är lokaliserad på plan ett och två med kapacitet för ungefär 150 personer. Dock finns endast sittplatser för 90 personer. Antalet personer i ensemblen är okänd. Dock bedöms antalet inte vara så stort att de påverkar utrymningen nämnvärt. Lokalen är försedd med två huvudsakliga utrymningsvägar vid övre delen av läktaren samt i rummet intill. Avståndet mellan dörrarna är sex meter, vilket är tillräckligt för att klassas som två av varandra oberoende utrymningsvägar. En av dörrarna är 0,9 meter och den andra 1,4 meter bred. Ena dörren leder direkt till foajén och den andra ut till ett trapphus för vidare utrymning via exempelvis konstmuseet och foajén. Eftersom foajén är så pass stor bedöms denna svårblockerad och därav kommer utrymning kunna ske via denna.

Handikapplatser finns vid övre delen av läktaren och utrymning sker via dörren som leder direkt till foajén.

Beräkningar visar att bredden på utrymningsvägarna uppfyller kraven för lokalen som är avsedd för 150 personer och gångavståndet är kortare än 40 meter, eftersom sprinkler är installerat. Beräkningar kan följas i Bilaga E: Kontroll av gångavstånd och dörrbredd.

5.4.4 Bibliotek

Biblioteket är försett med fem utrymningsvägar varav två spiraltrappor ut i det fria samt tre som leder ut i trapphus eller annan byggnadsdel. Spiraltrapporna är lokaliserade på varsin sida av biblioteket med dörrbredden 1 meter. Den tredje utrymningsvägen är 1,8 meter bred och leder ut i trapphus T9 enligt Figur 5 och vidare ut i närliggande entré. Den femte utrymningsvägen från biblioteket utgörs av huvudingången där automatiska skjutdörrar finns placerade. Dessa är cirka 2,2 meter breda vid maximal öppning. Rörelsesensorerna stängs av automatiskt vid brandlarm och dörrarna får då öppnas manuellt för att möjliggöra utrymning via foajén.

Samtliga nödutgångar, förutom skjutdörren, är försedda med plomberade nödöppningsbeslag enligt SS-EN 179 (Brandskyddshanboken, 2012).

Möjlighet för utrymning av handikappade är begränsad i spiraltrapporna. Dock kan detta ske via huvudingången. Utrymningsvägen via trapphus T9 kan bedömas utgöra en tillfällig flyktplats, eftersom denna överstiger arean tre kvadratmeter vid dimensionering enligt personantal. På denna plats kan exempelvis rullstolsburna invänta hjälp under kortare tid eftersom trapphuset är utformat som egen brandcell (Boverket I, 2011). Krav på arean gällande flyktplats är tagen från en nyare BBR än vad Kulturhuset är renoverat efter, det vill säga BBR 2008. Då kraven uppfylls enligt den nya standarden beaktas inte den äldre. Dessutom är platån ovanför trappan så pass stor att en rullstol inte anses utgöra hinder för andra utrymmande.

Beräkningar visar att bredden på utrymningsvägarna uppfyller kraven för lokalen som är avsedd för 300 personer. Dock är gångavståndet längre än 30 meter. Därför kommer en analytisk dimensionering göras för att kontrollera om utrymningsförhållandena är acceptabla. Beräkningar kan följas i Bilaga E: Kontroll av gångavstånd och dörrbredd.

6 Scenario I – Garderob

Utanför stora teatern finns en större öppen garderob. Kläderna hänger fritt utan någon form av avskiljande vägg. Vid en välbesökt föreställning bedöms det kunna förekomma upp till 300 vinterjackor i detta utrymme, vilket utgör en stor brandbelastning och kan ge ett snabbt brandförlopp. Det finns ett automatiskt vattensprinklersystem i utrymmet. Vid en eventuell utrymning vill många passera garderoben eftersom det är vägen via garderoben till entrén de kom in (Frantzich, 2001). Likaså kan folk vintertid vilja ta med sig sina ytterkläder vid en utrymningssituation. En brand i garderoben kan uppkomma på grund av exempelvis anlagd brand, elfel eller fel i belysning. Eftersom utrymmet där garderoben är belägen ligger invid foajén utgör de tillsammans en stor yta med öppen planlösning vilket ger en god tillgång på luft vid brand. I Figur 9 nedan ses en bild av garderoben.



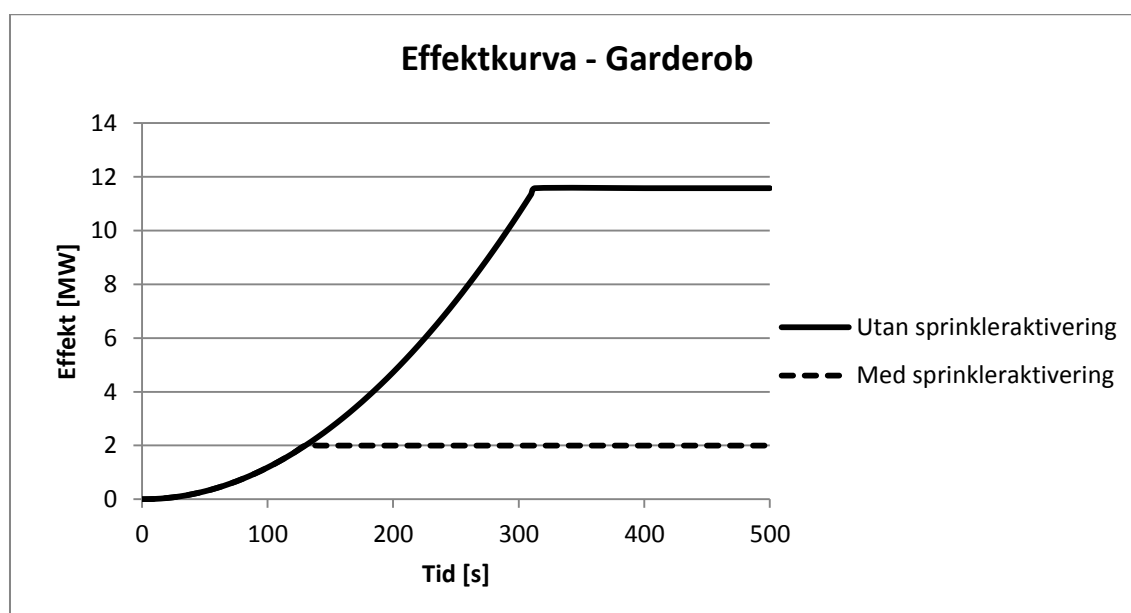
Figur 9. Bild från platsbesök över garderoben

6.1 Effektkurva

Tillväxtfasen beräknas med en αt^2 -kurva fram tills dess att maxeffekten uppnås. Därefter antas branden uppnå stationära förhållanden. Tiden under dessa två första faser bedöms vara så lång så att utrymning hinner ske och därför kommer ingen hänsyn tas till avsvlningsfasen. Scenariot bygger på att ingen insats från besökare eller personal görs. I lokalen finns automatisk vattensprinkleranläggning installerad enligt standarder som presenteras i avsnitt 3.4. För fullständiga beräkningar se Bilaga H: Scenario I – Garderob.

Garderoben betjänar framförallt teaterns besökare. Vid en fullsatt föreställning är det 500 besökare. Dock så är medelbeläggningen på föreställningarna 58 procent vilket motsvarar 290 personer. Utifrån detta samt en uppskattning av garderobens kapacitet antas den innehålla 300 jackor. En vinterjacka antas väga ett kilo vilket gör att den maximala brandbelastningen blir 300 kg jackor. Från tidigare experiment med jackor (Bwalya et al, 2007) skalas effektutvecklingen om linjärt vilket ger en maximal effekt för samtliga jackor på 11,6 MW. Flamhöjden når troligtvis taket vid denna effekt och spridningen kan då ske snabbare. Dock aktiverar sprinkler innan denna effekt uppnås och utrymning bör vara avklarad. Därför tas ingen hänsyn till brandspridning via tak.

Effektkurva med och utan sprinkleraktivering ses i Figur 10. Tid till sprinkleraktivering tas fram enligt Bilaga O: Detact-T2 . Utifrån försöket i *Design fires for commercial premises- phase 2* tabell 2 (Bwalya et al, 2007) beräknas tillväxthastigheten till $0,1182\text{kW/s}^2$ vilket nästan motsvarar ett ultrasnabbt brandförlopp. Detta medför att den maximala effekten 11,6 MW nås efter cirka fem minuter om sprinkler ej aktiveras och en maximal effekt på cirka 2 MW uppnås efter cirka två minuter om sprinkler aktiveras. Vid sprinkleraktivering antas effekten bli konstant och ingen hänsyn tas till om de släcker. Tillväxthastigheten och förhållandena vid den maximala effekten är av intresse (Staffansson, 2010). Därför tas ingen hänsyn till avsvlningsfasen.



Figur 10. Diagram för effektutvecklingen i garderoben

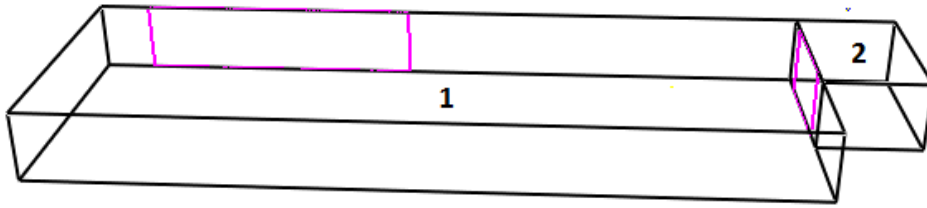
Ventilationen ska stängas av vid brand och detta scenario är placerat i foajén som har stora öppna ytor och högt i tak (Lovén, 2012). Därför görs en kvalitativ bedömning att syretillgången kommer vara tillräcklig för att branden kommer vara bränslekontrollerad.

6.2 Tid till kritiska förhållanden

Nedan presenteras de beräkningar och simuleringar som gjorts för beräkning av tid till kritiska förhållanden. Utrymning från garderoben kan ske från flertalet dörrar vilket innebär att personer inte behöver passera branden och utsättas för strålning och hög temperatur från flammor för att ta sig till en säker plats. Därför antas kritiska nivåer i garderoben inträffa när brandgaslagrets höjd ovanför golv understiger 1,9 meter och/eller sikten understiger 10 meter samt temperaturen överstiger $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6.2.1 Datorberäkningar

Scenariet simuleras i CFAST och garderobens geometri presenteras i Figur 11. I simuleringarna beaktas endast rum 1, eftersom det är i denna del människor vistas. Här förvaras även delar av jackorna. Rum 2 utgör utrymme endast avsett för jackor och därför förekommer ett begränsat personantal på denna plats. Den fria öppningen från rum 1 motsvarar resten av foajén. Branden är placerad i en av stängerna strax utanför rum 2. Detta bedöms vara ett ogynnsamt fall då spridning kan ske till intilliggande stänger på båda sidor.



Figur 11. Schematisk bild över lokaluppbyggnad för simulering av garderoben i CFAST

Scenariot i garderoben simuleras i CFAST för att kontrollera om risk föreligger att det uppstår kritiska förhållanden vid utrymning. Enligt beräkningar är geometrin inte giltig gällande förhållandet mellan längd och höjd. Trots detta används resultaten för att kunna göra en bedömning huruvida kritiska förhållanden uppstår eller ej.

Enligt Bilaga L: Strålning påverkar inte strålningen från flammen utrymningsmöjligheterna. Simuleringen görs utan sprinkler och resultatet sammanställs i Tabell 7 nedan. Detaljerad beskrivning av simuleringen återfinns i Bilaga N: CFAST-simuleringar.

Tabell 7. Kriterier och tid till kritiska förhållanden för garderoben

Kriterium	Nivå	Tid till kritisk nivå rum 1 [s]
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv	1,9 m	Uppnås ej
2. Sikt två meter ovan golv	1 obscura	Uppnås ej
3. Värmestrålning	Max 10 kW/ m ²	Se Bilaga L: Strålning
4. Temperatur 1,8 m ovan golv	Max 80°C	Uppnås ej
5. Toxicitet	-	-

Enligt simuleringen i CFAST uppnås inte kritiska förhållanden i garderoben vid denna typ av brand. Anledningen till detta är troligtvis att stor del av brandgaserna flödar ut till foajén. Takhöjden i foajén anses vara så hög att kritiska förhållanden ej uppnås innan utrymning bör vara avklarad. I simuleringarna kontrolleras inte sikten på grund av datorprogrammets begränsningar samt att brandgaslagrets nivå inte når kritiska nivåer.

Handberäkningar på brandgaslagrets höjd utförs för att verifiera resultaten i CFAST och presenteras i Bilaga M: Brandgaslager.

Simulering i FDS anses inte nödvändigt på grund av utrymmets utformning, resultat gällande tid till kritiska förhållanden från CFAST och överrensstämmande handberäkningar.

6.3 Utrymningstid

Vid brand i garderoben kan stora teatern, lilla scen och foajén behöva utrymmas. Simuleringarna innefattar värsta troliga fall under en paus i fullsatt föreställning i stora teatern vilket innebär att 500 personer vistas i foajén. Simuleringarna innefattar även föreställningar med lägre beläggning enligt Bilaga Q: Utrymning.

För beräkning av utrymningstid används metoder och resonemang som diskuteras i 5.1.

I foajén finns rökdetektorer som kommer indikera branden och tiden tills att de aktiverar motsvarar varseblivningstiden för detta scenario. För att få fram aktiveringstiden används Detact-T2 som kan följas i Bilaga O: Detact-T2 och tiden till detektering beräknas till 70 sekunder.

Förberedelsetiden tas från Tabell 5 och utifrån lokal och situation jämförs detta scenario med *mindre lokal, med larmdon i aktuell lokal* i denna tabell. Tiden sätts då till 60 sekunder.

Tabell 8. Varseblivningstid och förberedelsetid för garderoben

Typ	Tid [s]
Varseblivningstid	70
Förberedelsetid	60

Med hjälp av Simulex har flera utrymningssituationer med olika fördelningar mellan populationer och utrymningvägar simulerats vilka kan ses i Bilaga Q: Utrymning. Utifrån varje simulering beräknas en förflyttningstid och utifrån denna beräknas en utrymningstid enligt avsnitt 5. Endast besökare i garderoben simuleras. Utrymning från övriga närliggande lokaler tas ej i beaktande och antas ej påverka resultatet nämnvärt. Detta eftersom utrymningsscenarierna inträffar då det är paus i föreställningen på stora teatern och alla personer redan befinner sig i foajén.

I detta scenario har 30 % av personerna på plan två och tre styrts att ta huvudingången eftersom många kommer att vilja ta den vägen de kom in. Resten använder de utrymningvägar som beräknats av standardavståndskartan, vilket betyder att personerna väljer den närmaste utgången. Personerna är utplacerade proportionellt på plan två, tre och fyra (balkong) beroende på fördelning av sittplatser.

Av simuleringarna framgår att utrymningstiden varierar mellan 193 och 255 sekunder. Detaljerade utrymningstider för varje simulering i Simulex presenteras i Bilaga Q: Utrymning.

6.4 Resultat

Resultatet presenteras som tidsskillnaden mellan tid till kritiska förhållanden och utrymningstiden det vill säga säkerhetsmarginalen. Tiderna har beräknats med hjälp av Simulex, Detact-T2 och CFAST.

Av simuleringarna framgår att säkerhetsmarginalen varierar mellan 193 och 255 sekunder. Dessa är detsamma som utrymningstiden eftersom kritiska förhållanden inte uppstår i lokalen vilket innebär att ingen person i utrymningsscenarierna kommer att utsättas för kritiska förhållanden. Detaljerade utrymningstider för varje simulering presenteras i Bilaga Q: Utrymning.

6.5 Åtgärder utifrån brandscenarier

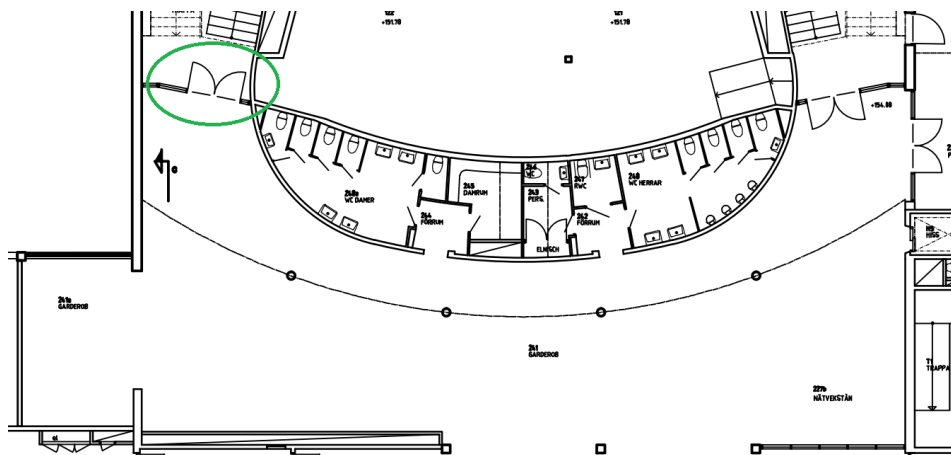
Nedan presenteras föreslagna åtgärder samt validering av dessa.

6.5.1 Riktning utrymningsväg

Problem: Enligt avsnitt 5.4.2 upplever personalen problem gällande riktning på en utrymningsväg. Riktningen är tvärtemot personernas förmodade beteende vid utrymning från teatern.

Åtgärd: Riktningen på utrymningsvägen i Figur 12 bör ändras enligt personalens önskemål.

Effekt av åtgärd: Enligt avsnitt 6.4 utsätts aldrig personer för kritiska förhållanden i de simulerade scenarierna oavsett om utrymningsdörren på plan 2 blockerades eller ej, se Bilaga Q: Utrymning för beskrivning av simuleringsscenarierna. Simuleringarna visar att utrymningsituationen är acceptabel även då ytterligare dörrar är blockerade. Detta innebär att åtgärden kan genomföras enligt personalens önskemål utan att det får konsekvenser för människors säkerhet. Denna åtgärd syftar främst till att anpassa utrymningsvägarna till människans beteende vid brand och underlättar utrymning av stora teatern. Detta sker utan att göra försämringar vid utrymning enligt scenario I. Det bör påpekas att gångavståndet ej uppfylls då denna utrymningsväg tas bort. Dock har det inte betydelse för tiden till utrymning.



Figur 12. Ritning över garderob där felvänd dörr är grönmärkerad

6.5.2 Förkastade åtgärder

Inga åtgärder förkastas eftersom ingen övrig problematik vid garderoben har framkommit.

7 Scenario II – Publikdel vid stora teatern

I publikdelen vid den stora teatern kan en brand uppkomma på grund av elfel i kablar och utrustning eller av belysning i form av till exempel överhettning i kombination med damm. Det kan även förekomma en anlagd brand. Branden kan sedan spridas till sittplatser, mattor och rekvisita. I lokalen kan det förekomma cirka 500 personer, vilket gör utrymningen komplex. Balkongen anses vara kritisk på grund av den låga takhöjden och lokalens geometri. Vid scenen finns ett brandjalusi och därför tas ingen hänsyn till bränder på scen och bakomvarande utrymmen. Figur 13 visar en bild över parkett och balkong i stora teatern.



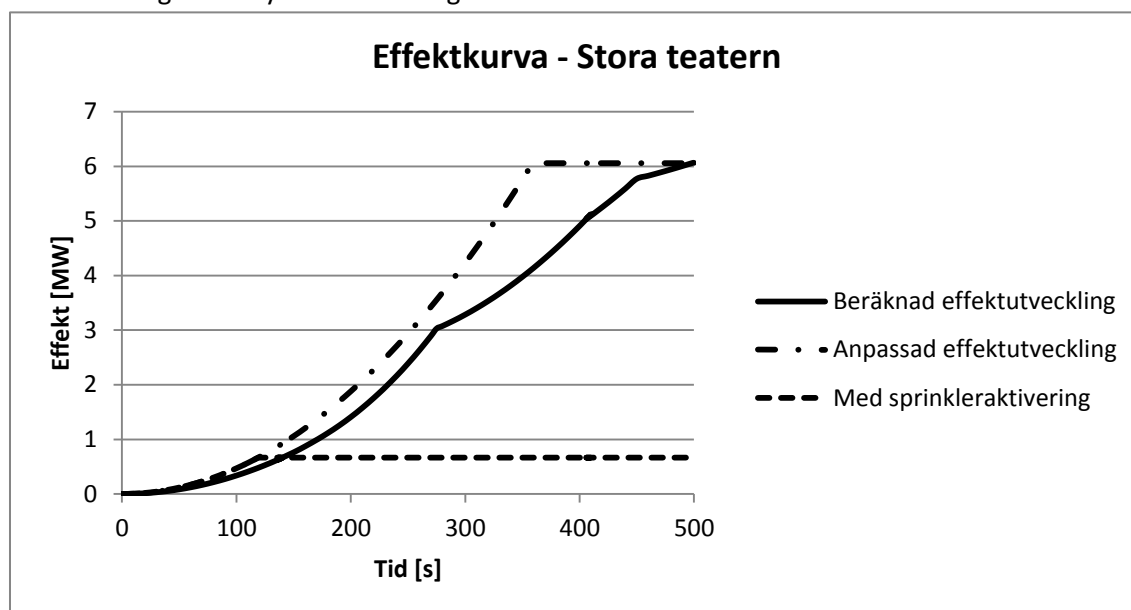
Figur 13. Bild från platsbesök över publikdelen i stora teatern

7.1 Effektkurva

Tillväxtfasen beräknas med en αt^2 -kurva fram tills att maxeffekten uppnås. Därefter antas branden uppnå stationära förhållanden. Tiden under dessa två första faser bedöms vara så lång så att utrymning hinner ske och därför kommer ingen hänsyn tas till avsvlningsfasen. Scenariot bygger på att ingen insats från besökare eller personal görs. I lokalen finns automatisk vattensprinkleranläggning installerad enligt standarder som presenteras i avsnitt 3.4. För fullständiga beräkningar se Bilaga I: Scenario II – Publikdel vid stora teatern.

Vid beräkningar av maximal effekt i den publika delen används det bränslepaket som har snabbast tillväxthastighet. Den branden antas starta i mixerbord och sprida sig till intilliggande stolar. Mixerbord skulle även kunna motsvara ljudanläggning eller annan elektronik. De stolar som beräknats i bränslepaketet är flamskyddade. Effektkurvan presenteras i Figur 14. Den heldragna kurvan motsvarar det beräknade brandförloppet med spridning, medan den punkt-streckade kurvan motsvarar en tillväxtfas med en tillväxthastighet på $0,047 \text{ kW/s}^2$ vilket är en snabb tillväxtfas. I vidare beräkningar angående kritisk tid för utrymning kommer den punkt-streckade kurvan användas för att täcka in flera troliga brandförlopp. Den maximala effekten är cirka 6 MW och uppnås efter cirka 400 sekunder. Den streckade kurvan visar effektkurvan vid sprinkleraktivering. Aktivering sker efter cirka 120 sekunder, enligt FDS-simulering, och stabiliserar då effekten vid cirka 0,7 MW. Vid sprinkleraktivering antas effekten bli konstant och ingen hänsyn tas till om de släcker.

Tillväxthastigheten och förhållandena vid den maximala effekten är av intresse (Staffansson, 2010). Därför tas ingen hänsyn till avsvlningsfasen.



Figur 14. Diagram för effektutvecklingen i stora teatern

En brand i teatersalongen kommer under hela tillväxtfasen till maxeffekten vara bränslekontrollerad, med antagandet att brandjalusiet vid scen åker ner. För beräkningar gällande tillgänglig mängd syre se Bilaga I: Scenario II – Publikdel vid stora teatern.

7.2 Tid till kritiska förhållanden

Nedan presenteras de beräkningar och simuleringar som gjorts för beräkning av tid till kritiska förhållanden.

Kritiska förhållanden i publikdelen vid stora teatern innebär att brandgaslagrets höjd ovanför golv understiger 2,4 meter för parkett och 1,9 meter för balkong och/eller sikten 1 obscura samt att temperaturen överstiger 80 °C på höjden 1,8 meter från golv. Strålningsberäkningar i Bilaga L: Strålning visar att vid sprinkleraktivering krävs ett avstånd på två meter från flammen för att utsättas för en strålning på 10 kW/m². Detta innebär att det finns tillräckligt utrymme i lokalen för att utrymma på ett säkert avstånd från branden. Det avståndet är beräknat utifrån den effekt som uppnåtts vid en tid där alla bör ha utrymt.

7.2.1 Datorberäkningar

Simuleringar från CFAST visar att risk för kritiska förhållanden föreligger. Detta och lokalens geometri gör att FDS-simuleringar anses nödvändigt främst för att kontrollera förhållandena för personer som befinner sig på balkongen. Detaljerad beskrivning av simuleringen från CFAST återfinns i Bilaga N: CFAST-simuleringar.

Nedan presenteras resultaten för simuleringarna utan och med sprinkleraktivering för stora teatern. Utan sprinkleraktivering innebär opåverkad effekt och med sprinkleraktivering innebär reducerad effekt efter sprinkleraktivering. Indata och modell presenteras i Bilaga P: Indata FDS. Geometrin som används vid simulering innebär att inga brandgaser eller rök kan ta sig ovanför snedtaget.

I verkligheten finns det öppningar i innertaket, dock på grund av ovisshet kring storlek och utrymmet ovan har taket approximerats till ett snedtak.

7.2.1.1 Utan sprinkleraktivering

Tabell 9 nedan visar resultat från simuleringar i FDS utan sprinkleraktivering.

Tabell 9. Kriterier och tid till kritiska förhållanden för stora teatern enligt simulering utan sprinkleraktivering i FDS

Kriterium	Nivå	Tid till kritisk nivå [s]
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv	1,9 m - balkong	50
	2,4 m - parkett	150
2. Sikt två meter ovan golv	1 obscura – balkong	48
	1 obscura – parkett	195
3. Värmestrålning	Max 10 kW/ m ²	Se Bilaga L: Strålning
4. Temperatur 1,8 m ovan golv	Max 80°C - balkong	185
	Max 80°C - parkett	286
5. Toxicitet	-	-

Efter 50 sekunder uppnår både brandgaslagrets höjd och sikt respektive kritiska nivåer på balkongen och därmed uppstår kritiska förhållanden. På parketten uppnås kritiska förhållanden efter 195 sekunder. Strålningen utgör ingen påverkan på resultatet enligt Bilaga L: Strålning.

7.2.1.2 Med sprinkleraktivering

I första simuleringen har sprinkleraktivering kontrollerats vid denna typ av brand. Första sprinklern aktiverar efter 119 sekunder och efter detta kan effekten antas konstant enligt avsnitt 7.1.

Placeringen på sprinklerhuvudena sätts såsom de observerats vid platsbesök. Utifrån effekten vid sprinkleraktivering fås resultat enligt Tabell 10 nedan.

Tabell 10. Kriterier och tid till kritiska förhållanden för stora teatern enligt simulering med sprinkleraktivering i FDS

Kriterium	Nivå	Tid till kritisk nivå [s]
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv	1,9 m - balkong	50
	2,4 m - parkett	160
2. Sikt två meter ovan golv	1 obscura – balkong	48
	1 obscura – parkett	219
3. Värmestrålning	Max 10 kW/ m ²	Se Bilaga L: Strålning
4. Temperatur 1,8 m ovan golv	Max 80°C - balkong	Uppnås ej
	Max 80°C - parkett	Uppnås ej
5. Toxicitet	-	-

Eftersom aktivering av sprinkler inte inträffar innan kritiska förhållanden uppstår för balkongen är dessa tider enligt tidigare simulering. På parkett uppstår kritiska förhållanden efter 219 sekunder. Strålningen utgör ingen påverkan på resultatet enligt Bilaga L: Strålning.

7.3 Utrymningstid

Utrymningsscenario i teatern är beaktansvärt då personal stänger av detektorer vid föreställning, vilket kan leda till att upptäckt av brand fördröjs. Det påverkar i sin tur varseblivningstiden.

För beräkning av utrymningstid används metoder och resonemang som diskuteras i avsnitt 5.1.

Då detektorerna i vanliga fall stängs av vid föreställningar kan inte tiden till detektion användas som varseblivningstid. Vid FDS-simuleringarna observeras att det aktuella brandscenariot ger upphov till kraftig rökutveckling vilket medför att branden kommer upptäckas tidigt. Utifrån visuell bedömning ansätts därför varseblivningstiden till 30 sekunder.

I simuleringen observeras att ett brandgaslager bildas på balkongen redan efter 40-50 sekunder och vid denna tid anses människor påbörja utrymning vilket medför att förberedelsetiden ansätts till 20 sekunder. Denna tid är kortare än det tabellerade värdet i Tabell 5 och beror på tidigare nämnda orsaker gällande besökarnas möjlighet till tidig upptäckt av brand.

Tabell 11. Varseblivningstid och förberedelsetid för stora teatern

Typ	Tid [s]
Varseblivningstid	30
Förberedelsetid	20

Med hjälp av Simulex har flera utrymningssituationer med olika fördelningar mellan populationer och utrymningvägar simulerats vilka kan ses i Bilaga Q: Utrymning. Utifrån varje simulering beräknas en förflyttningstid och utifrån denna beräknas en utrymningstid enligt avsnitt 5.

I detta scenario har standardavståndskartan använts, vilket betyder att personerna väljer den närmaste utgången. Personerna är utplacerade proportionellt på parkett och balkong beroende på fördelning av sittplatser.

Av simuleringarna framgår att utrymningstiden för parketten varierar mellan 112 och 203 sekunder. På balkongen varierar utrymningstiden mellan 106 och 169 sekunder. Detaljerade utrymningstider för varje simulering i Simulex presenteras i Bilaga Q: Utrymning.

7.4 Resultat

Resultatet presenteras som tidsskillnaden mellan tid till kritiska förhållanden och utrymningstiden det vill säga säkerhetsmarginalen. Tiderna har beräknats med hjälp av Simulex och FDS.

I Tabell 12 nedan presenteras resultatet som är tidsmarginalen mellan tid till kritiska förhållanden och utrymningstid. Säkerhetsmarginalen vid parkett utan sprinkler är framtaget utifrån att kritiska förhållanden inträffar efter 195 sekunder och vid sprinkleraktivering uppnås kritiska förhållanden efter 219 sekunder. Säkerhetsmarginalen vid balkong är framtaget utifrån att kritiska förhållanden inträffar efter 50 sekunder både utan och vid sprinkleraktivering. Detaljerade utrymningstider för varje simulering presenteras i Bilaga Q: Utrymning.

Tabell 12. Säkerhetsmarginaler med och utan sprinkleraktivering för parkett och balkong vid stora teatern

Plats	Säkerhetsmarginal utan sprinkler [s]	Säkerhetsmarginal med sprinkler [s]
Parkett	-8 till 83	16 till 107
Balkong	-119 till -56	-119 till -56

Resultatet i Bilaga Q: Utrymning visar att säker utrymning kan utföras från parketten i många scenarier med en säkerhetsmarginal på minst en minut då sprinkler aktiverar. Dock kan säker utrymning inte utföras i något av scenarierna på balkongen.

7.5 Åtgärder utifrån brandscenarier

Nedan presenteras föreslagna åtgärder samt validering av dessa. Om kritiska förhållanden inte uppkommer på balkongen antas det inte heller ske på parketten.

7.5.1 Kontroll och besiktning av sprinklersystem

Problem: Förhållandena i lokalen kan försämrats snabbt om sprinkler ej aktiverar och säker utrymning kan då inte säkerställas. På parkett påverkar sprinkleraktivering utrymningsförhållandena. Vid balkongen hinner däremot inte sprinkler aktivera innan kritiska förhållanden uppstått. På grund av olika tillbyggnader har kompletteringar gjorts i annan sprinklerstandard än vid ursprunglig dimensionering vilket kan påverka systemets tillförlitlighet (Lovén, 2012).

Åtgärd: Genom kontroll och besiktning av sprinklersystemets dimensionering enligt gällande standard och säkerställa dess funktion förbättras möjligheterna för säker utrymning från balkongen. Systemet bör uppfylla en gemensam standard enligt SBF 120:6 samt SS-EN 12845:2004 (Brandskyddsföreningen).

Effekt av åtgärd: Enligt simuleringar och beräkningar förbättras utrymningsförhållandena på parkett vid sprinkleraktivering och säker utrymning kan då ske.

7.5.2 Organisatoriskt brandskyddsarbete

Problem: Uppkommer brand i närheten av mixerbordet kan branden snabbt utvecklas och skapa dåliga förhållanden för personer på balkongen.

Åtgärd: Genom att kontrollera placeringen av handbrandsläckare samt skapa medvetenhet hos personalen som arbetar vid föreställningar kan branden kontrolleras i ett tidigt skede. Handbrandsläckare bör vara placerade i närheten av mixerbordet och på de platser där risk att brand uppkommer är störst. Ytterligare åtgärder gällande det organisatoriska brandskyddet är viktig del i ett fungerande brandskydd. Exempel på åtgärd är brandvakt vid föreställning.

Effekt av åtgärd: Ett snabbt ingripande ökar chanserna att förhindra brandförloppet. Denna åtgärd förlitar sig på den mänskliga faktorn eftersom inga brandtekniska installationer kan göras för att säkerställa utrymning innan kritiska förhållanden inträffar. Det förligger oftast osäkerheter då personers agerande inte går att garantera.

7.5.3 Förkastade åtgärder

- List längs med taket ovan balkong för att förhindra brandgasspridning. Förkastas på grund av problematik gällande aktivering och funktion. Aktivering måste ske innan kritiska förhållanden som uppstår redan efter 50 sekunder vilket anses orimligt. Svårigheter gällande listens funktion uppstår om branden placeras på annan plats än i simuleringarna eftersom brandgaserna istället då kan stängas in ovan balkongen vilket kan förvärra situationen.
- Eftersom det blir rökfyllt väldigt fort har en lösning med brandgasventilation diskuterats. Problemet är att den inte ska aktivera förrän sprinklern aktiverat och vid sprinkleraktivering har redan kritiska förhållanden uppnåtts. Simuleringar har gjorts utan sprinkler för att klargöra om ventilationen kan vara ett alternativ till sprinkler. Eftersom det är en kraftig rökutveckling används fläktar för att öka det bortförda massflödet. Om tilluften placeras på någon vägg trycks brandgaserna över parketten och skapar dåliga utrymningsförhållanden där.

En installation av tilluft till brandgasventilationen bedöms vara omfattande och på grund av att simuleringarna inte visar på avsevärda bättre utrymningsförhållanden vid rimliga massflöden anses det befintliga sprinklersystemet vara ett bättre alternativ.

- Genom insättning av ytterligare nödutgångar längst bak på balkongen med utrymning via tak kan utrymningsmöjligheterna förbättras. Utifrån simuleringar kan utrymningstiden förkortas med cirka 60 sekunder. Dock uppstår kritiska förhållanden innan slutförd utrymning och detta anses därför inte vara en nödvändig åtgärd. Däremot kan detta undersökas vidare för framtida åtgärder.

8 Scenario III – Lilla scen

En brand vid lilla scen kan ske på grund av till exempel elfel i kablar och utrustning eller av belysning i form av till exempel överhettning i kombination med damm. Branden kan spridas till rekvisita, draperier och stolar. Lokalen är relativt liten, vilket gör att brandgaslagret snabbt kan sjunka till en nivå som försvårar utrymning. Detta i kombination med att takhöjden vid utrymningsvägarnas placering är låg kan ge en kritisk utrymningssituation. Brandbelastningen bedöms vara medelhög. I Figur 15 visas en bild över läktaren vid lilla scen.

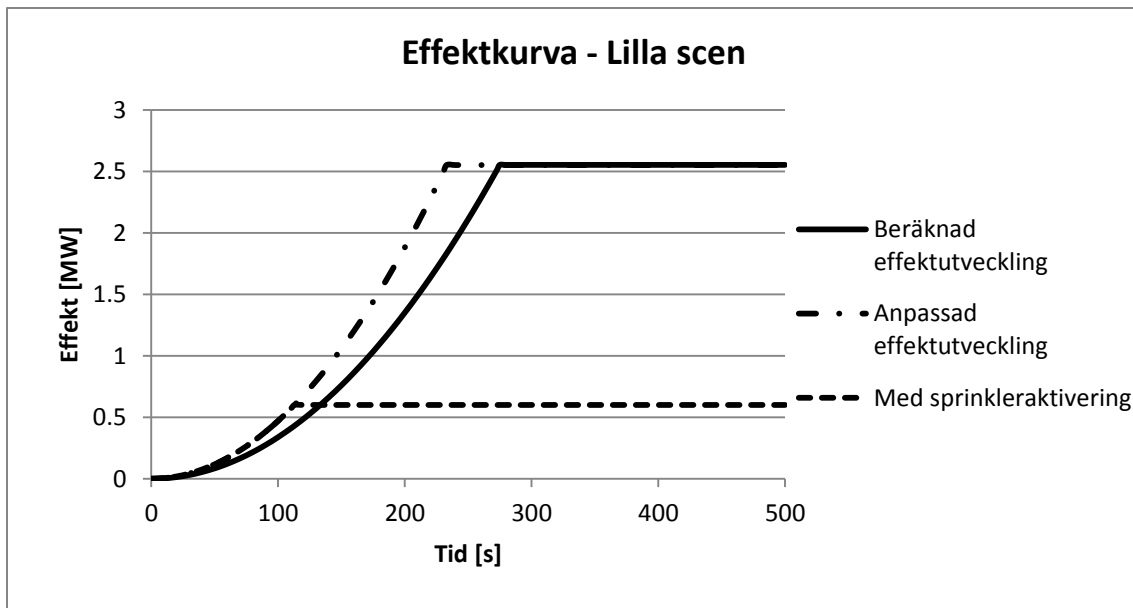


Figur 15. Bild från platsbesök över publikdelen i lilla scen

8.1 Effektkurva

Tillväxtfasen beräknas med en αt^2 -kurva fram tills att maxeffekten uppnås. Därefter antas branden uppnå stationära förhållanden. Tiden under dessa två första faser bedöms vara så lång så att utrymning hinner ske och därför kommer ingen hänsyn tas till avsvlningsfasen. Scenariot bygger på att ingen insats från besökare eller personal görs. I lokalen finns automatisk vattensprinkleranläggning installerad enligt standarder som presenteras i avsnitt 3.4. För fullständiga beräkningar se Bilaga J: Scenario III – Lilla scenen.

Utifrån en bedömning av potentiella brandscenarier i lilla scen, såsom brand i stolar, rekvisita, mixerbord och kablar, jämförs tillväxthastigheter. Det scenario med snabbast tillväxt är mixerbord (NRC, ud) och därför bygger effektkurvan som ska representera en brand i lilla scen på det scenariot. Den beräknade tillväxthastigheten är $0,0338 \text{ kW/s}^2$ och den maximala effekten som uppnås är cirka 2,5 MW efter cirka 275 sekunder. I Figur 16 presenteras effektkurvan. Den heldragna kurvan i diagrammet motsvarar brandförloppet med den uträknade tillväxthastigheten, medan den punkt-streckade kurvan har en tillväxthastighet på $0,047 \text{ kW/s}^2$ och motsvarar en snabb tillväxtfas. I vidare beräkningar angående kritisk tid för utrymning kommer den punkt-streckade kurvan användas för att täcka in flera troliga brandförlopp. Den maximala effekten för den anpassade kurvan nås efter cirka 230 sekunder. Den streckade kurvan visar effektkurvan vid sprinkleraktivering. Aktivering sker efter cirka 113 sekunder enligt simulering i FDS. Vid sprinkleraktivering antas effekten bli konstant vid 0,6 MW och ingen hänsyn tas till om de släcker. Tillväxthastigheten och förhållandena vid den maximala effekten är av intresse (Staffansson, 2010). Därför tas ingen hänsyn till avsvlningsfasen.



Figur 16. Diagram för effektutvecklingen i lilla scenen

Då ventilationen ska stängas av vid brandlarm (Lovén, 2012) kontrolleras via beräkningar om branden kommer bli ventilationskontrollerad eller inte. I detta fall då det finns stora öppningar till anslutande rum kommer branden under hela förloppet att vara bränslekontrollerad. För beräkningar av tillgänglig mängd syre se Bilaga J: Scenario III – Lilla scenen.

8.2 Tid till kritiska förhållanden

Nedan presenteras de beräkningar och simuleringar som gjorts för beräkning av tid till kritiska förhållanden. Kritiska förhållanden vid lilla scen innebär att brandgaslagrets höjd ovanför golv understiger 2 meter för personerna vid scen och 3,5 meter för personer vid övre läktaren och/eller sikten understiger 10 meter samt temperaturen 80 °C på höjden 1,8 meter över golvet.

Kriterierna angående strålningspåverkan och toxicitet anses inte avgöra när kritiska förhållanden inträffar. Strålningsberäkningar i Bilaga L: Strålning visar att vid sprinkleraktivering krävs ett avstånd på två meter från flamman för att utsättas för en strålning på 10 kW/m². Detta innebär att det finns tillräckligt utrymme i lokalen för att utrymma på ett säkert avstånd från branden. Det avståndet är beräknat utifrån den effekt som uppnåtts vid en tid där alla bör ha utrymt.

8.2.1 Datorberäkningar

Simuleringar från CFAST visar att risk för kritiska förhållanden föreligger. Detta och lokalens geometri gör att FDS-simuleringar anses nödvändigt. Detaljerad beskrivning av simuleringen från CFAST återfinns i Bilaga N: CFAST-simuleringar.

Nedan presenteras resultaten för FDS-simuleringarna utan och med sprinkleraktivering för lilla scen. Utan sprinkleraktivering innebär opåverkad effekt och med sprinkleraktivering innebär reducerad effekt efter sprinkleraktivering. Branden har placerat långt bak i lokalen då utrymningsdörrar är placerade här samt att tiden till kritiska förhållanden blir kortare. Denna plats bedöms som ogynnsam. Indata och modell presenteras i Bilaga P: Indata FDS.

8.2.1.1 Utan sprinkleraktivering

Tabell 13 nedan visar resultat från simuleringar i FDS utan sprinkleraktivering.

Tabell 13. Kriterier och tid till kritiska förhållanden för stora teatern enligt simulering utan sprinkleraktivering i FDS

Kriterium	Nivå	Tid till kritisk nivå [s]
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv	3,5 m - övre läktare	72
	2 m - golv	172
2. Sikt två meter ovan golv	1 obscura	54
3. Värmestrålning	Max 10 kW/ m ²	230, se Bilaga L: Strålning
4. Temperatur 1,8 m ovan golv	Max 80°C - övre läktare	144
	Max 80°C - golv	277
5. Toxicitet	-	-

Kritiska förhållanden uppstår efter 72 sekunder för övre läktaren där de huvudsakliga nödutgångarna är belägna eftersom sikten och brandgaslagrets nivå då når kritiska nivåer.

8.2.1.2 Med sprinkleraktivering

I första simuleringen har tiden till sprinkleraktivering kontrollerats för användning i denna simulering. Första sprinklern aktiveras efter 113 sekunder. Vid sprinkleraktivering antas effektkurvan bli konstant enligt avsnitt 8.1. Denna effekt ger resultat enligt Tabell 14 nedan.

Tabell 14. Kriterier och tid till kritiska förhållanden för stora teatern enligt simulering med sprinkleraktivering i FDS

Kriterium	Nivå	Tid till kritisk nivå [s]
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv	3,5 m - övre läktare	72
	2 m - golv	203
2. Sikt två meter ovan golv	1 obscura	57
3. Värmestrålning	Max 10 kW/ m ²	Se Bilaga L: Strålning
4. Temperatur 1,8 m ovan golv	Max 80°C - övre läktare	200
	Max 80°C - golv	Uppnås ej
5. Toxicitet	-	-

Kritiska förhållanden uppstår efter 72 sekunder för övre läktaren där de huvudsakliga nödutgångarna är belägna eftersom sikten och brandgaslagrets nivå då når kritiska nivåer.

8.3 Utrymningstid

Utrymningsscenarioet vid lilla scen kan bli kritiskt på grund av utrymningsvägarnas placering samt lokalens utformning. Dessutom stänger personal av detektorer vid föreställning vilket kan leda till att upptäckt av brand fördröjs. Det påverkar i sin tur varseblivningstiden.

För beräkning av utrymningstid används metoder och resonemang som diskuteras i avsnitt 5.1.

Då detektorerna i vanliga fall stängs av vid föreställningar kan inte tiden till detektion användas som varseblivningstid. Vid FDS-simuleringarna observeras att det aktuella brandscenariot ger upphov till kraftig rökutveckling vilket medför att branden kommer upptäckas tidigt. Utifrån visuell bedömning ansätts därför varseblivningstiden till 30 sekunder.

I simuleringen observeras att ett brandgaslager bildas redan efter 40-50 sekunder och vid denna tid anses människor påbörja utrymning vilket medför att förberedelsetiden ansätts till 20 sekunder. Denna tid är kortare än det tabellerade värdet i Tabell 5 och beror på att personer reagerar tidigare när de ser brand och/eller brandgaser (Frantzich, 2001).

Tabell 15. Varseblivningstid och förberedelsetid för lilla scenen

Typ	Tid [s]
Varseblivningstid	30
Förberedelsetid	20

Med hjälp av Simulex har flera utrymningssituationer med olika fördelningar mellan populationer och utrymningsvägar simulerats vilka kan ses i Bilaga Q: Utrymning. Utifrån varje simulering beräknas en förflyttningstid och utifrån denna beräknas en utrymningstid enligt avsnitt 5.

I detta scenario har standardavståndskartan använts, vilket betyder att personerna väljer den närmaste utgången. Detta anses rimligt då det är troligt att personerna i första hand väljer nödutgångarna på översta läktarplanet. Detta innebär köbildning i trapporna vilket är rimligt, då många människor använder den begränsade ytan samtidigt.

Av simuleringarna framgår att utrymningstiden för lilla scen varierar mellan 80 och 133 sekunder. Detaljerade utrymningstider för varje simulering i Simulex presenteras i Bilaga Q: Utrymning.

8.4 Resultat

Resultatet presenteras som tidsskillnaden mellan tid till kritiska förhållanden och utrymningstiden det vill säga säkerhetsmarginalen. Tiderna har beräknats med hjälp av Simulex och FDS.

Säkerhetsmarginalen vid lilla scen oberoende av sprinkleraktivering är framtaget utifrån att kritiska förhållanden inträffar efter 72 sekunder.

Av simuleringarna framgår att säkerhetsmarginalen varierar mellan -61 och -8 sekunder oberoende av sprinkleraktivering. Detaljerade utrymningstider för varje simulering presenteras i Bilaga Q: Utrymning.

Resultatet visar att säker utrymning inte kan utföras vid lilla scen i detta scenario.

8.5 Åtgärder utifrån brandscenarier

Nedan presenteras föreslagna åtgärder samt validering av dessa.

8.5.1 Kontroll och besiktning av sprinklersystem

Problem: Förhållandena kan försämrats ytterligare om sprinkler ej aktiveras och säker utrymning kan inte säkerställas från lokalen. På grund av olika tillbyggnader har kompletteringar gjorts i annan sprinklerstandard än vid ursprunglig dimensionering vilket kan påverka systemets tillförlitlighet (Lovén, 2012). Vid utrymning via andra nödutgångar än de simulerade påverkas tid till kritiska förhållanden av sprinkleraktivering.

Åtgärd: Genom kontroll och besiktning av sprinklersystemets dimensionering enligt gällande standard och säkerställa dess funktion kan utrymningsförhållandena förbättras. Systemet bör uppfylla en gemensam standard enligt SBF 120:6 samt SS-EN 12845:2004 (Brandskyddsföreningen, ud).

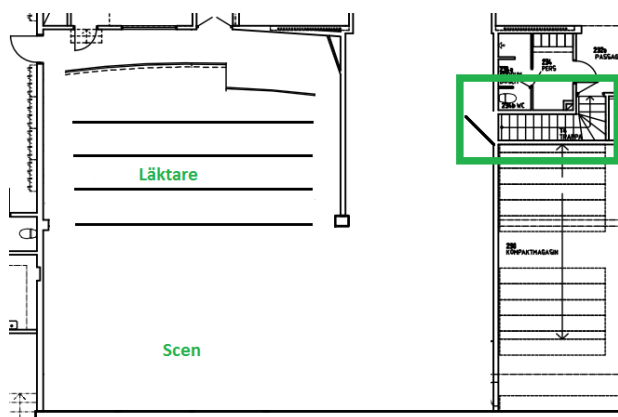
Effekt av åtgärd: Enligt simuleringar och beräkningar förbättras utrymningsförhållandena för de nedre delarna av lokalen vid sprinkleraktivering enligt avsnitt 8.2.1.2. Dock kan inte säker utrymning säkerställas utan vidare åtgärder bör vidtas.

8.5.2 Styrd utrymning

Problem: I simuleringar observeras att brandgaslagret snabbt ger dålig sikt vid de bakre utrymningsvägarna eftersom dessa ligger på högre nivå i utrymmet. Utrymning genom dessa dörrar kan därför vara tidsbegränsade.

Åtgärd: Genom att upplysa publiken om utrymningsvägen i rummet intill, enligt Figur 17, måste inte all utrymning ske genom de bakre dörrarna. Detta innebär att delar av publiken kan komma att använda den tredje utrymningsvägen. Upplysningen till publiken kan ske genom muntlig information i början av föreställning samt tydligare skyltning och golvmarkering. Möjlighet att använda denna utrymningsväg bör säkerställas eftersom hinder mellan rummen kan förekomma vid föreställning.

Effekt av åtgärd: Simuleringar i Simulex visar att ungefär 30 personer kan utrymma genom de bakre dörrarna utan att utsättas för kritiska nivåerna gällande sikt och brandgaslagrets höjd. Detta motsvarar de två översta raderna. Alltså kan övriga personer på de tre första raderna i lokalen istället använda den tredje utrymningsvägen. Kritiska nivåer uppstår senare på golvnivå och i intilliggande rum jämfört med tid för utrymning. Med denna åtgärd kan det dock inte garanteras en acceptabel säkerhetsmarginal eftersom siktförhållandena försämrats drastiskt med tiden. Dock är tid till kritiska förhållanden längre vid den nya tänkta nödutgången.



Figur 17. Ritning på golvnivå över lilla scen där för publiken dold utrymningsväg är grönmarkerad

8.5.3 Organisatoriskt brandskyddsarbete

Problem: Uppkommer brand i närheten av mixerbordet kan branden snabbt utvecklas och skapa dåliga förhållanden i rummet.

Åtgärd: Genom att kontrollera placeringen av handbrandsläckare samt skapa medvetenhet hos personalen som arbetar vid föreställningar kan branden kontrolleras i ett tidigt skede. Handbrandsläckare bör vara placerade i närheten av mixerbordet och på de platser där risk att brand uppkommer är störst. Ytterligare åtgärder gällande det organisatoriska brandskyddet är en viktig del i ett fungerande brandskydd. Exempel på åtgärd är brandvakt vid föreställning.

Effekt av åtgärd: Ett snabbt ingripande ökar chanserna att förhindra brandförloppet.

8.5.4 Förkastade åtgärder

- Extra utrymningsdörr på golvnivå i teaterlokalen. Förkastas eftersom lokalen ligger på källarnivå och den potentiella platsen för dörren är yttervägg. Denna åtgärd anses alltför kostsam.
- Minska antal stolar per rad och därmed maxantal i lokalen samt bredare trappor. Denna åtgärd förkastas eftersom simuleringar påvisar begränsad förbättring vid tänkbar minskning av antalet stolar. Dessutom uppstår hög kostnad på grund av mindre biljettintäkter.
- Brandgasventilation förkastas då lokalens placering i byggnaden gör installation alltför komplicerad och kostsam.

9 Scenario IV – Bibliotek

Ett brandförlopp i biblioteket kan antingen vara anlagd, startas på grund av elfel i exempelvis datorer, återlämningsstationen eller levande ljus. Branden kan spridas till bokhyllor eller möbler vid läsplatser. Hyllorna står nära varandra vilket gör att spridning kan ske. För schematisk bild över möbleman, se Figur 19. I delar av biblioteket är takhöjden låg vilket också kan skynda på ett brandförlopp. Detta samtidigt som mittendelen av biblioteket utgörs av ett atrium, vilket kan resultera i god syretillgång för en eventuell brand. Det finns en avdelning för barn vilket gör att barnvagnar kan förekomma vilket försvårar utrymning. I Figur 18 nedan visas en bild från biblioteket.



Figur 18. Bild från platsbesök över biblioteket

9.1 Effektkurva

Tillväxtfasen beräknas med en αt^2 -kurva fram tills dess att maxeffekten uppnås. Därefter antas branden uppnå stationära förhållanden. Tiden under dessa två första faser bedöms vara så lång så att utrymning hinner ske och därför kommer ingen hänsyn tas till avsvalningsfasen. Scenariot bygger på att ingen insats från besökare eller personal görs. I lokalen finns ej automatisk vattensprinkleranläggning installerad. För fullständiga beräkningar se Bilaga K: Scenario IV – Bibliotek.

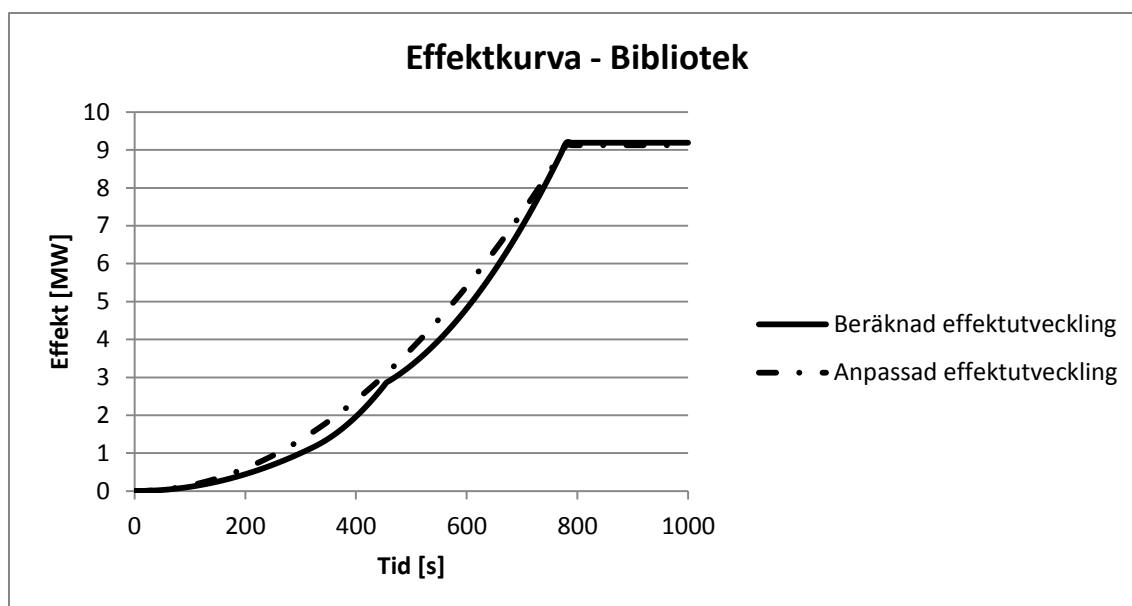
Vid brand i bibliotek antas en av de största hyllorna börja brinna. Tändkällan kan exempelvis vara en liten brand i någon elektrisk apparatur som står invid en hylla eller en anlagd brand. De största hyllorna används för brandscenariot och dessa har måtten 5,4 x 0,7 meter. Avståndet till närmaste intilliggande hylla är 1,5 meter åt båda håll.



Figur 19. Ritning för bibliotek med bokhyllors placering i lokalen (Lagerqvist, 2012)

Då halva delen av hyllan brinner kommer brandspridning ske till intilliggande hyllor, se Bilaga K: Scenario IV – Bibliotek för beräkningar. Detta beräknas ske efter cirka fem minuter. Effekten då halva hyllan brinner är drygt 2 MW. Detta värde är beräknat utifrån försök dokumenterade i *Initial fires* (Särdqvist 1993). Eftersom spridning sker radiellt börjar hyllorna på båda sidorna av initialbranden att brinna samtidigt som branden sprider sig vidare i den ursprungliga hyllan. När alla tre hyllor brinner motsvarar det en effekt på drygt 9 MW. Flammhöjden når troligtvis taket vid denna effekt och spridningen kan då ske snabbare. Dock bedöms utrymningen då vara avklarad och ingen hänsyn tas därför till detta. Om ingen insats görs kommer spridningen att fortsätta till fler hyllor och eventuellt möblemang. Dock görs inga vidare beräkningar på spridning och effektutveckling eftersom lokalen bedöms vara utrymd efter cirka fem minuter.

Brandförloppetets tillväxt är medium och effektutvecklingen för branden presenteras i Figur 20. Ovanstående scenario bygger på att syretillgången är god samt att inget ingripande görs för att stoppa brandspridningen.



Figur 20. Diagram för effektutvecklingen i biblioteket

Den heldragna kurvan motsvarar ett brandförlopp med tillväxthastigheten $0,011 \text{ kW/s}^2$ och att branden sprider sig, medan den punkt-streckade kurvan är en generell tillväxthastighet på $0,012 \text{ kW/s}^2$ vilket motsvarar en medium brandtillväxt. Den anpassade kurvan används i vidare beräkningar för att täcka in hela brandförloppet.

Då ventilationen ska stängas av vid brandlarm kontrolleras via beräkningar om branden kommer bli ventilationskontrollerad eller inte (Lovén, 2012). I detta fall när det finns stora öppningar kommer branden under hela förloppet att vara bränslekontrollerad. För beräkningar av tillgänglig mängd syre se Bilaga K: Scenario IV – Bibliotek.

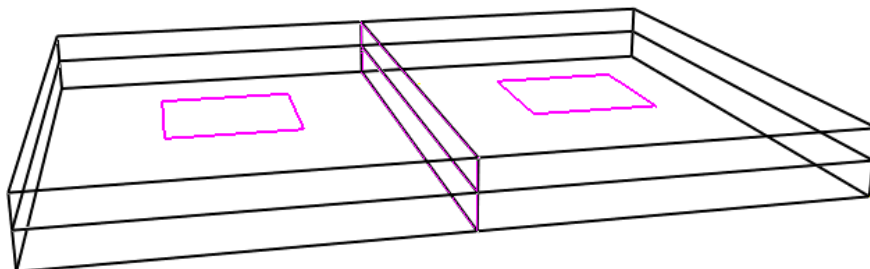
9.2 Tid till kritiska förhållanden

Nedan presenteras de beräkningar och simuleringar som gjorts för beräkning av tid till kritiska förhållanden. Biblioteket är en relativt stor och lättöverskådlig lokal med flertalet utrymningsvägar. Utifrån det antas kritiska förhållanden i biblioteket inträffa när brandgaslagrets höjd ovanför golv understiger 1,9 meter i de delar med lägre takhöjd och/eller sikten understiger 10 meter samt när temperaturen uppnått 80 °C på höjden 1,8 meter över golvet. Strålningspåverkan från flamman anses inte vara det kriteriet som avgör när kritiska förhållanden uppnås eftersom personer troligtvis inte kommer tvingas passera branden på ett avstånd närmare än fyra meter då lokalen är stor. För beräkning se Bilaga L: Strålning.

9.2.1 Datorberäkningar

Scenariot i biblioteket simuleras i CFAST för att kontrollera om det riskerar att uppstå kritiska förhållanden vid utrymning. Geometrin presenteras i figuren nedan där de lila markeringarna utgör öppning mot kontoren och mot respektive delar. Inga ytterligare öppningar mot omgivning eller andra byggnadsdelar förekommer. De övre rätblocken utgör kontor och de nedre är bibliotek. Huruvida det blir kritiska förhållanden kommer endast att behandlas för biblioteket. Branden placeras där avståndet mellan hyllor är kort och därmed kan spridning lättare ske. Takhöjden är även låg vid denna plats. Därmed bedöms branden ha placerats på en ogynnsam plats.

Enligt beräkningar är geometrin inte giltig gällande förhållandet mellan längd och höjd. Trots detta används resultaten för att kunna göra en bedömning huruvida kritiska förhållanden uppstår eller ej.



Figur 21. Schematisk bild över geometrin för simulering av biblioteket i CFAST

Resultatet av simuleringen sammanställs i Tabell 16 nedan. Detaljerad beskrivning av simuleringen återfinns i Bilaga N: CFAST-simuleringar.

Tabell 16. Kriterier och tid till kritiska förhållanden för biblioteket enligt simulering i CFAST

Kriterium	Nivå	Tid till kritisk nivå [s]
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv	1,9 m	260
2. Sikt två meter ovan golv	1 obscura	Uppnås ej
3. Värmestrålning	Max 10 kW/ m ²	Se Bilaga L: Strålning
4. Temperatur 1,8 m ovan golv	Max 80°C	630
5. Toxicitet	-	-

Brandgaslagrets höjd når den kritiska nivån efter cirka 260 sekunder. Dock är temperaturen då 35 °C vilket gör att kritiska förhållanden inte föreligger vid denna tidpunkt. Temperaturen på brandgaslagret uppnår 80 °C först efter drygt tio minuter vilket då blir tiden för kritiska förhållanden. Denna tid bygger på att ingen ytterligare spridning sker efter fem minuter vilket inte är fallet. Dock antas utrymning vara avslutad efter denna tid vilket gör att denna osäkerhet i tid till kritiska förhållanden inte påverkar resultatet.

Handberäkningar på brandgaslagrets höjd utförs för att validera resultaten i CFAST och presenteras i Bilaga M: Brandgaslager.

Simulering i FDS anses inte nödvändigt på grund av utrymmets geometri, resultat gällande tid till kritiska förhållanden från CFAST och överrensstämmande handberäkningar.

9.3 Utrymningstid

Det förväntade antalet personer som beräknas vara i biblioteket samtidigt är max 200 personer. Vid simulering av utrymningstid kommer antalet personer vara 100, 230 och 360. Dessa väljs utifrån lokalens dimensionerade personantal som är 360 personer.

För beräkning av utrymningstid används metoder och resonemang som diskuteras i avsnitt 5.1.

I biblioteket finns rökdetektorer. Varseblivningstiden beräknas vara den tid det tar för detektorerna att indikera brand. Denna tid tas fram med hjälp av Detact-T2 som kan följas i Bilaga O: Detact-T2.

Lokalen är lättöverskådlig. Hyllor och annat möblemang kan dock utgöra hinder så att personer inte ser branden vilket kan påverka förberedelsestiden. Utifrån den faktorn och att det finns larmdon väljs förberedelsestiden 60 sekunder ifrån Tabell 5, *mindre lokal med larmdon i aktuell lokal*.

Tabell 17. Varseblivningstid och förberedelsestid för biblioteket

Typ	Tid [s]
Varseblivningstid	150
Förberedelsestid	60

Med hjälp av Simulex har flera utrymningssituationer med olika fördelningar mellan målgrupper och utrymningsvägar simulerats, vilka kan ses i Bilaga Q: Utrymning. Utifrån varje simulering beräknas en förflyttningstid.

Varseblivningstiden, förberedelsestiden och förflyttningstiden summeras till en utrymningstid. Den tiden jämförs med tid till kritiska förhållanden som beräknas till 630 sekunder enligt avsnitt 9.2.1. Utrymningstider för varje simulering i Simulex och marginal till kritiska förhållanden presenteras i Bilaga Q: Utrymning.

I detta scenario har alla personer använt avståndskartans beräknade väg ut och väljer därför den närmsta utgången. Detta eftersom det finns goda förutsättningar att kunna se nödutgångarna tydligt på grund av de låga bokhyllorna.

Av simuleringarna framgår att utrymningstiden för biblioteket varierar mellan 256 och 318 sekunder. Detaljerade utrymningstider för varje simulering i Simulex presenteras i Bilaga Q: Utrymning.

9.4 Resultat

Resultatet presenteras som tidsskillnaden mellan tid till kritiska förhållanden och utrymningstiden det vill säga säkerhetsmarginalen. Tiderna har beräknats med hjälp av Simulex, Detact-T2 och CFAST.

Säkerhetsmarginalen vid biblioteket är framtagen utifrån att kritiska förhållanden inträffar efter 630 sekunder.

Av simuleringarna framgår att säkerhetsmarginalen varierar mellan - 280 och 344 sekunder. Detaljerade utrymningstider för varje simulering presenteras i Bilaga Q: Utrymning.

Resultatet visar att ingen person i utrymningsscenarierna kommer att utsättas för kritiska förhållanden under utrymningstiden. Den minsta marginalen är 280 sekunder vilket anses vara acceptabel.

9.5 Åtgärder utifrån brandscenarier

Inga åtgärder behöver vidtas utifrån scenarioanalys i denna rapport för biblioteket gällande brand- och personsäkerhet enligt resultat i avsnitt 9.4. Åtgärder utifrån platsbesök presenteras i avsnitt 12.2.

10 Känslighetsanalys

Nedan görs känslighetsanalyser för att kontrollera vilka faktorer och parametrar i respektive datorprogram som påverkar resultatet mest. Utifrån detta kan vissa slutsatser kring resultatens giltighets dras.

10.1 Detektionstid

Varseblivningstiden har simulerats för scenarierna bibliotek och garderob med hjälp av programmet Detact-T2 där aktiveringstiden anges som varseblivningstiden. Detact-T2 bygger på en empirisk modell som har flera begränsningar, se vidare i Bilaga G: Datorprogram.

Rökdetektorernas aktivering uppskattas ske vid 13 °C temperaturhöjning (Nilsson, Holmstedt, 2008) och rummets initiala temperatur ansätts till 20 °C. En liten förändring av denna parameter påverkar resultatet i stor utsträckning. Dock har detta värde bestämts till ett fast värde enligt Bilaga O: Detact-T2 och kan därför inte varieras. Den parameter som istället kan varieras är avståndet mellan detektorerna.

Detektorerna sitter inte symmetriskt placerade vilket gör det svårt att ange ett korrekt avstånd mellan brand och detektor. Därför kommer avståndet mellan detektorerna varieras. Resultatet presenteras i Tabell 18 nedan. Grundfallet för garderoben och biblioteket är ett avstånd på 8 meter vilket ger aktiveringstiderna 69 respektive 150 sekunder. Avstånden varieras för att få ett intervall på aktiveringstiden.

Tabell 18. Tid till detektoraktivering vid olika avstånd enligt simulering i Detact-T2

Scenario	Avstånd [m]	Aktiveringstid [s]
I. Garderob	6	56
I. Garderob	10	81
IV. Bibliotek	6	125
IV. Bibliotek	10	177

Eftersom avståndet mellan detektorerna påverkar aktiveringstiden i stor utsträckning gäller det att tillgodose så att detektorerna sitter på ett tillfredställande avstånd från varandra för att möjliggöra en snabb detektering.

Jämförelser har även gjorts med aktiveringstid i CFAST där rökdetektorer angetts med samma egenskaper som för Detact-T2. I garderoben blir aktiveringstiden med CFAST 60 sekunder för rum 2 och 10 sekunder för rum 1, för beskrivning över rum se Figur 11. Aktiveringstiden för rum 1 anses orimlig eftersom effekten är låg vid denna tidpunkt. Detta beror sannolikt på att CFAST ej tar hänsyn till det radiella avståndet mellan brand och detektor eftersom programmet bygger på en två-zonsmodell. Därför sker aktivering så fort temperaturen i brandgaslagret uppnått 33 °C vilket i detta fall blir missvisande. Dock ger rum 2 ett resultat liknande Detact-T2 vilket kan validera dess resultat i viss utsträckning.

I biblioteket blir aktiveringstiden med CFAST 120 sekunder vilket är ett resultat liknande Detact-T2 och kan därmed bekräfta dess resultat i viss utsträckning.

10.2 Förflyttningstid

Förflyttningstiden för alla scenarier har simulerats med Simulex. Känslighetsanalysen nedan görs för att tydliggöra vilka parametrar som har störst påverkan i programmet. Tidigare utrymningsscenerier kan beaktas som en typ av känslighetsanalys. Dock har flera parametrar ändrats samtidigt och det är därför svårt att göra en kvantitativ bedömning av dess påverkan. I simuleringarna för känslighetsanalysen har istället en parameter analyserats åt gången. Parametrarna som varierar är antalet öppna utrymningsdörrar, antal personer i lokalen, åldersfördelning samt antalet funktionsnedsatta varierats. I samtliga simuleringar i känslighetsanalysen har funktionen standardavståndskarta använts vilket innebär att personerna väljer den närmsta definierade nödutgången.

Antalet personer och deras ålders påverkan kan ses utifrån simuleringarna för garderoben. Scenarierna som jämförs har samma antal dörrar tillgängliga men olika antal människor, 500 respektive 290 st. Beroende på persontyp kommer gånghastighet och kroppsstorlek vara annorlunda vilket kan påverka förflyttningstiden. Den exakta skillnaden mellan de olika persontyperna är okänd.

Antalet tillgängliga utrymningsdörrar varierar också för scenariot i garderoben. De dörrar som blockeras är de dörrar som flest valt att använda i tidigare simuleringar. Resultatet presenteras i Tabell 19.

Tabell 19. Förflyttningstid vid olika konfigurationer i garderoben vid simulering i Simulex

Konfiguration		Förflyttningstid [s]		
Dörrar	Antal	Vuxna	Barn	Äldre
10	500	47	62	75
8	500	77	105	127
10	290	37	46	57
8	290	56	74	92

Av tabellen framgår det att utrymningstiden blir kortare med ett lägre personantal, vilket kan anses vara en rimlig slutsats. Resultatet visar också på att snabbast utrymning fås om det endast är vuxna i lokalen. En population med endast barn ökar utrymningstiden och längst blir tiden då bara äldre personer förekommer i lokalen. I samtliga fall blir förflyttningstiden avsevärt längre när antalet tillgängliga utrymningsdörrar minskar.

Utifrån resultat av simulering framgår det att personantalet har stor påverkan på resultatet, högre personantal medför längre förflyttningstid. Stor påverkan har även antalet tillgängliga nödutgångar där mindre antal dörrar ger en längre förflyttningstid, mestadels på grund av köbildning. En annan faktor som påverkar är fördelningen av människor, kortast tid tar det för vuxna att ta sig ut och längst tid tar det för de äldre. Antalet funktionsnedsatta påverkar inte lika mycket eftersom dessa är väldigt få i proportion till det totala antalet samt att den köbildning som bildas inte beror på de funktionsnedsatta.

10.3 Tid till kritiska förhållanden

Nedan presenteras känslighetsanalys för de parametrar som påverkar tid till kritiska förhållanden.

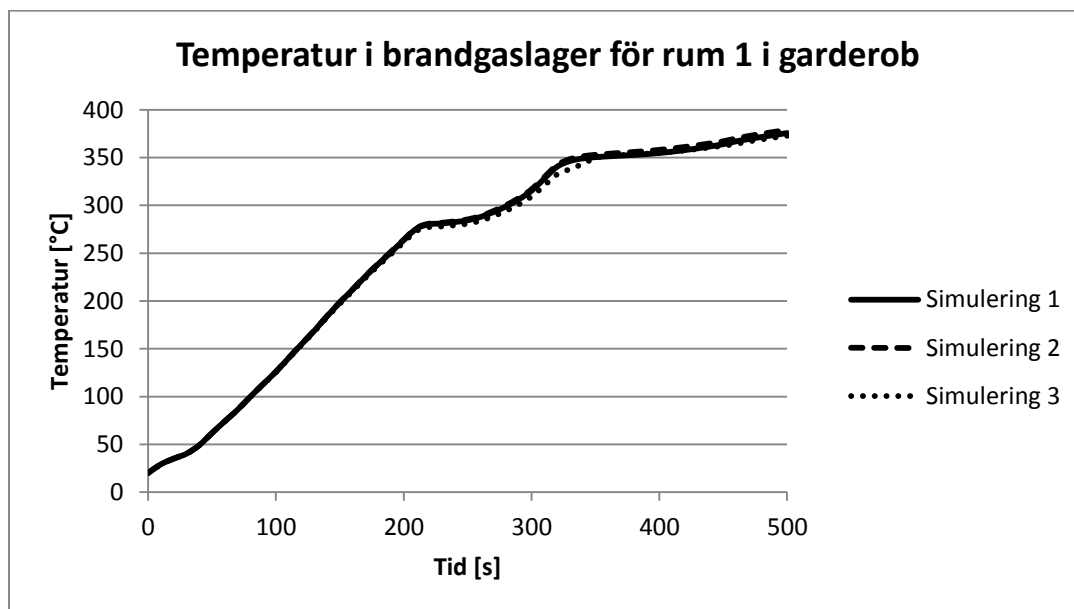
10.3.1 CFAST

I simuleringarna för CFAST finns ett antal parametrar som kan varieras. I känslighetsanalysen kontrolleras hur nedanstående parametrar påverkar resultatet.

Tabell 20. Beskrivning av parametrar för känslighetsanalys vid simulering i CFAST

Scenario I - Garderob	Ändrad parameter
Simulering 1	Ingen, originaluppställning för garderob
Simulering 2	Material ändras till default (motsvarar gipsskiva)
Simulering 3	Brand placeras mitt i stora rum 1

Temperaturen i det stora utrymmet för de olika simuleringarna i garderoben varierar enligt diagrammet nedan.



Figur 22. Temperaturen i brandgaslagret i garderoben

De små variationerna påvisar att förändringarna i variablerna inte påverkar resultatet i simuleringarna. Simulering 3 förväntades inte ge några förändringar eftersom programmet bygger på två-zonsmodell och att branden placerades i samma rum som i simulering 1. Trots att simuleringarna för de olika scenarierna är uppbyggda med olika geometrier antas förändringarna vara lika små i alla simuleringar.

10.3.2 FDS

Hur valet av indata påverkar resultatet kommer att analyseras genom att ändra indataparametrarna, en i respektive simulering. Övriga parametrar hålls till originaluppställning. Känslighetsanalysen utgår från simuleringen av stora teatern då samma parametrar påverkar resultatet i lilla scen på liknande sätt. De olika simuleringarna som görs presenteras i Tabell 21 nedan.

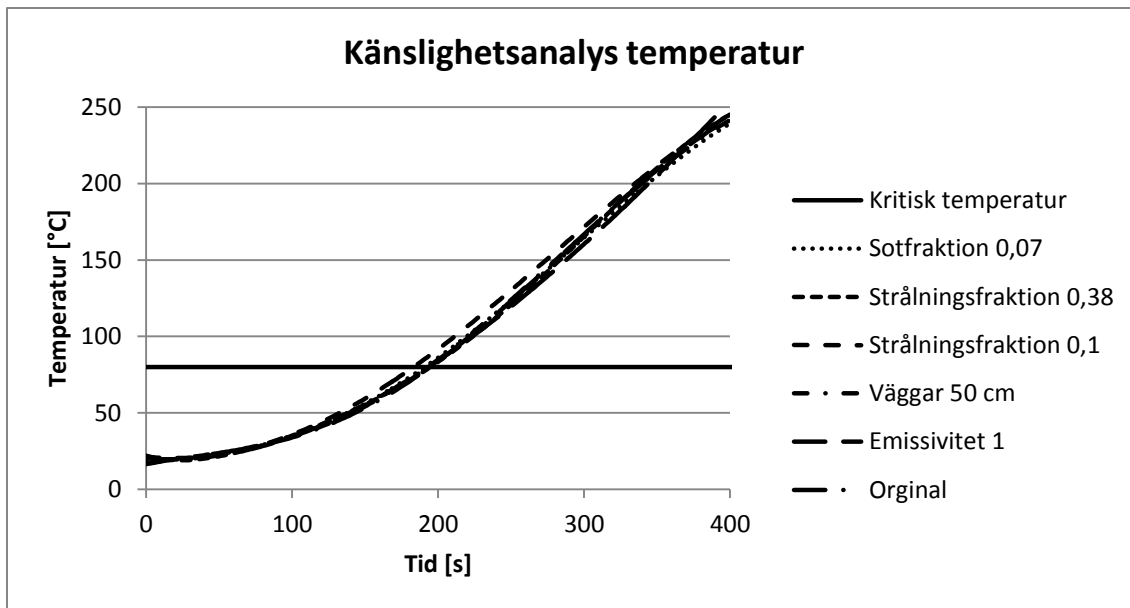
Tabell 21. Beskrivning av parametrar för känslighetsanalys i stora teatern vid simulering i FDS

Simulering	Ändrad parameter	Ursprungligt värde
1	Originaluppställning för stora teatern	-
2	Sotfraktion - 0,07 kg/kg. Representerar brinnande möbler (Robbins, Wade, 2008)	0,194 kg/kg
3	Strålningsfraktion - 0,38 Representerar brinnande möbler (Krasny, Parker, Babrauskas, 2001)	0,35
4	Strålningsfraktion - 0,1 Påverkan vid stor förändring	0,35
5	Väggarnas tjocklek - 50 cm Undersöka värmlledningens påverkan.	10 cm
6	Emissivitet väggar - 1	0,85

Hur indataparametrarna påverkar utdata gällande temperatur, sikt och brandgaslagrets höjd beskrivs utförligare nedan.

Temperatur

Utifrån trendlinjer för temperaturen för de sex simuleringarna kan det ses att parametrarnas påverkan på temperaturen är liten vilket medför att tid till kritiska nivåer gällande temperatur är lika genom simuleringarna. Den förändring som utmärker sig något är om strålningsfraktionen sänks till 0,1. Utifrån simuleringsdata framgår det att under tillväxtfasen, cirka 250 sekunder in i brandförloppet, är temperaturen i snitt 10-20 °C högre om strålningsfraktionen är 0,1 istället för 0,35. Senare i brandförloppet, efter cirka 450 sekunder har differensen i snitt sjunkit med 5-10 °C. I övrigt ses inga större avvikelser när ingångsparametrarna ändras. Temperaturen i de olika simuleringarna presenteras i Figur 23 nedan.

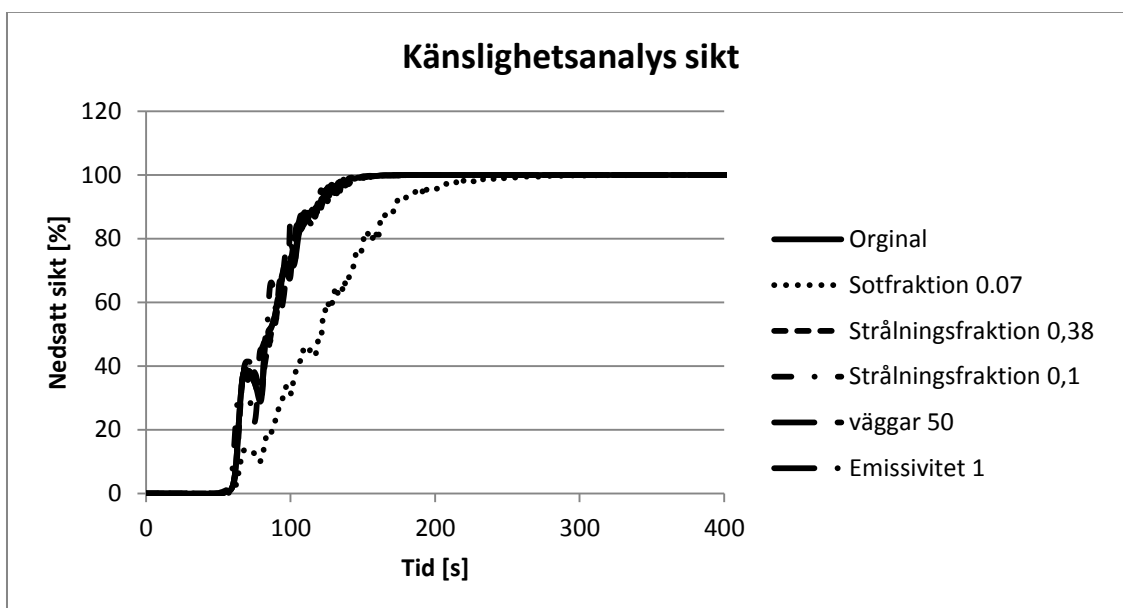


Figur 23. Temperaturdiagram för utrymningsdörrarna på balkong där indataparametrarna ändras enligt Tabell 21

Sikt

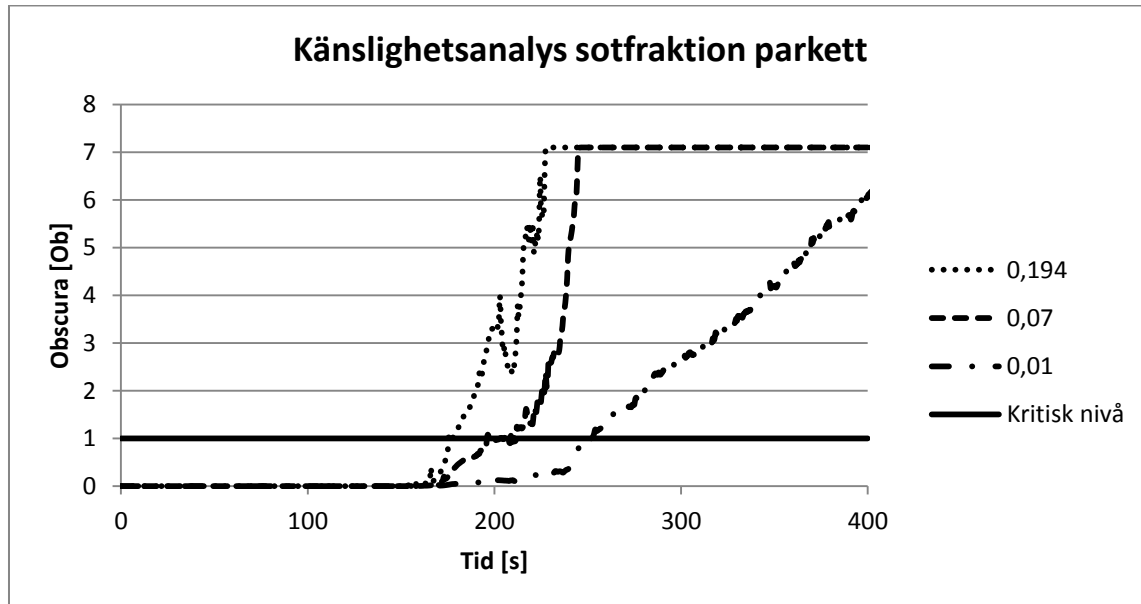
Sikten mäts som nedsättning i procent. I simuleringarna i känslighetsanalysen har sikten mätts på en sträcka som är en meter lång. Detta gör att siktbedömningen är lokal jämfört med om en längre sträcka använts. Även om det är en lokal mätning anses resultatet dock kunna användas för att avgöra vilka parametrar som påverkar sikten.

I Figur 24 ses hur sikt nedsättningen fördröjs under hela brandförloppet för de olika simuleringarna. Utifrån diagrammet kan slutsatsen dras att det endast är en förändring i sotfraktionen som påverkar sikten, vilket också stämmer med teorin. I Figur 24 är sikten mätt över en meter vilket gör det svårt konvertera till obskura med tillförlitliga resultat. Därför presenteras sikten som en nedsättning i procent.



Figur 24. Siktdiagram där indataparametrarna ändras enligt Tabell 21. Sikten mäts på 1 meter vid de nedersta utrymningsdörrarna på parketten

Eftersom sikt är en kritisk parameter i utrymningen samt att sotfraktionen har stor påverkan görs ytterligare simuleringar på sotfraktionerna: 0,194, 0,07 samt 0,01. Sikten mäts i dessa fall över sträckan tio meter för att få mindre lokala resultat. Resultatet presenteras i Figur 25 nedan. Observera att resultaten där omgjorda till obscura.



Figur 25. Siktdiagram där indataparametrarna ändras enligt Tabell 21. Sikten mäts på 10 meter vid de nedersta utrymningsdörrarna på parketten. Den röda linjen motsvarar sikten 1 obscura, vilket är den kritiska nivån på sikten

Av Figur 25 framgår det att valet av sotfraktion påverkar tiden till kritisk sikt avsevärt. Eftersom polyuretan har valts som bränsle och detta har en hög sotfraktion (0,194) blir resultatet av den initiala uppställningen ett värsta troligt fall. Tid till kritisk nivå vid en förändring av sotfraktion från 0,194 till 0,07 förlänger tiden med cirka 20 sekunder. Vid ännu större förändring av sotfraktionen förlängs tiden med ungefär 70 sekunder jämfört med originaluppställning. Tid till kritisk nivå påverkas till stor del av mätriktning och val av mätpunkt vilket bidrar till varierande utdata. Problemet är att endast ett bränsle kan definieras i FDS. I det beräknade brandscenariot används egentligen flera bränslen, vilket gör att sikten blir missvisande. Slutsatsen som ska tas med till analysen av resultat från simuleringar är att resultatet för sikten är ett värsta troliga fall och eftersom brandscenariot bygger på att en blandning av möbler brinner kommer sikten förmodligen att vara något bättre än vad som anges.

Brandgaslagrets höjd

Av brandgaslagrets höjd görs visuella uppskattningar från simuleringar. Resultaten från de olika simuleringarna sammanställs i tabellen nedan.

Tabell 22. Påverkan på resultat beroende på ändrad parameter

Indataparameter	Känslighetsanalys
Sotfraktion	En sänkt sotfraktion till 0,07 kg/kg ger bättre siktförhållanden under det tidigare brandförloppet jämfört med 0,194 kg/kg vilket framgår i Figur 25. Den sotfraktion som används kan därför anses konservativ om blandade möbler brinner.
Strålningsfraktionen	Strålningsfraktionen påverkar resultatet om betydande sänkning sker. Då är temperaturen mitt i tillväxtfasen i snitt 10-20°C högre jämfört med originaluppställning. I slutet av tillväxtfasen är temperaturen 5-10 °C högre. Eftersom det är möbler som brinner kommer flammen vara sotande vilket medför att strålningsfraktionen förmodligen inte är så låg som 0,1 utan de simulerade temperaturerna kan antas representativa.
Väggarnas tjocklek	Ingen påtaglig påverkan kan ses om väggarnas tjocklek ändras från 10 till 50 centimeter
Väggarnas emissivitet	Ingen påtaglig påverkan kan ses om väggarnas emissivitet ändras från 0,85 till 1.

Ingen variation i brandgaslagrets höjd kan ses mellan de olika simuleringarna.

Effektutveckling

Brandens tillväxthastighet påverkar också brandförloppet och därmed tid till kritiska förhållanden. Simulering av brand med tillväxthastigheten $\alpha=0,012 \text{ kW/s}^2$ som motsvarar medium (Karlsson, Quentiere, 2000) har utförts för att kontrollera hur stor denna påverkan är. Tid till kritiska nivåer för denna simulering redovisas nedan.

Tabell 23. Tid till kritiska nivåer för brand med snabb och medium tillväxthastighet

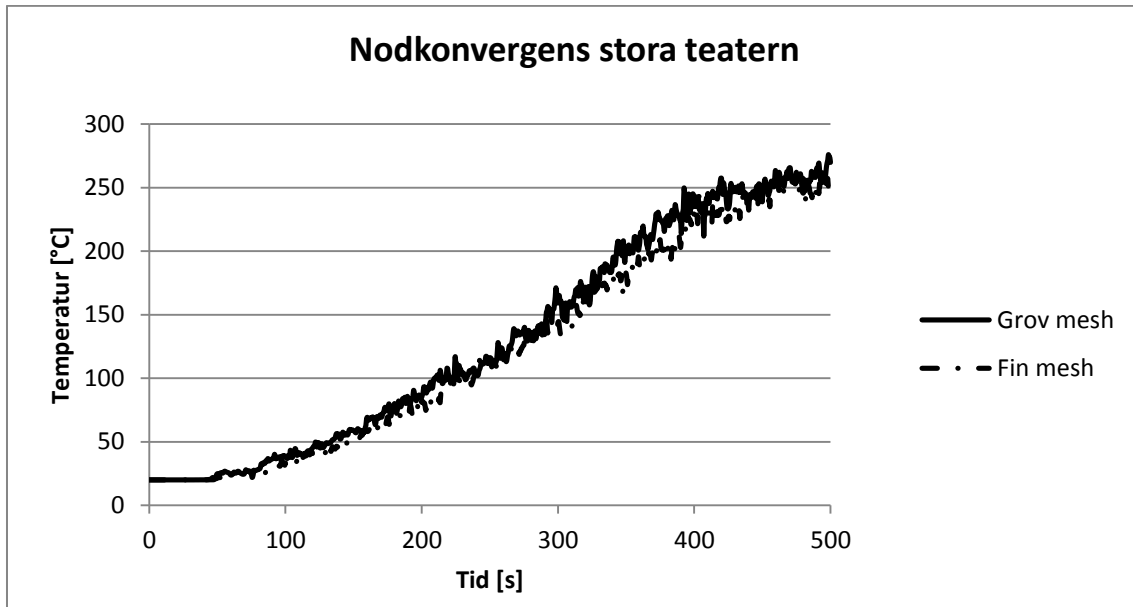
Kriterium	Nivå	Tid till kritisk nivå $\alpha=0,047 \text{ kW/s}^2$ [s]	Tid till kritisk nivå $\alpha=0,012 \text{ kW/s}^2$ [s]
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv	1,9 m - balkong	50	82
2. Sikt två meter ovan golv	1 obscura – balkong	48	67
3. Värmestrålning	Max 10 kW/ m ²	-	-
4. Temperatur 1,8 m ovan golv	Max 80°C - balkong	185	340
5. Toxicitet	-	-	-

Simuleringarna visar att en minskning av tillväxthastigheten medför att tid till kritiska förhållanden ökar med 30 sekunder. Detta skulle innebära bättre förhållanden för personer vid utrymning.

Känslighetsanalys gällande maximal effekt görs ej då kritiska förhållanden uppstår under tillväxtfasen i alla scenarier.

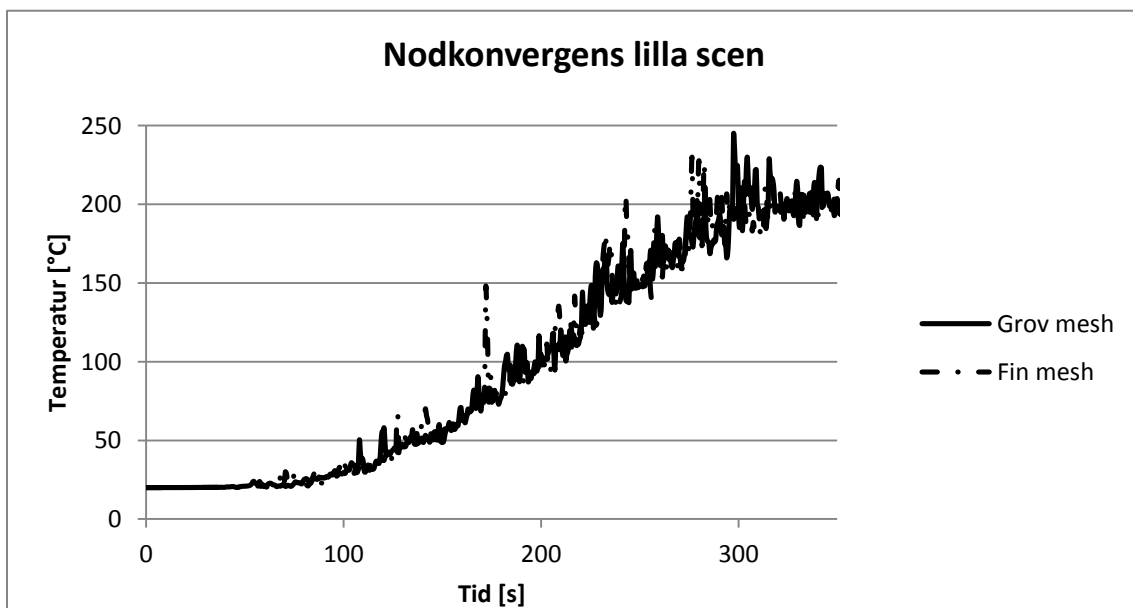
Nodkonvergens

För att kontrollera att nodkonvergens uppnåtts simuleras stora teatern och lilla scen ytterligare en gång med halva cellstorleken. Resultatet av temperaturen som en funktion av tiden vid stora teatern visas i Figur 26 nedan. Då temperaturkurvorna följer varandra väl anses nodkonvergens vara uppnådd. Den skillnad som ses är att den grova meshen ligger något över i temperatur. Vid tid till kritiska förhållanden har den grova meshen använts och därav kan resultatet anses konservativt.



Figur 26. Temperaturdiagram vid stora teatern över två olika cellstorlekar för att säkerställa nodkonvergens

Resultatet av temperaturen som en funktion av tiden vid lilla scen visas i Figur 27 nedan. Även vid lilla scen följer temperaturkurvorna varandra väl och nodkonvergens anses vara uppnådd. Dock hade ytterligare simuleringar varit önskvärda för att garantera detta.



Figur 27. Temperaturdiagram vid lilla scen över två olika cellstorlekar för att säkerställa nodkonvergens

11 Diskussion ej behandlade scenarier

Vid grovanalysen placerades tänkta scenarier i en riskmatris. De scenarier som hamnar i det orange området har inte tillräckligt hög sannolikhet eller konsekvens för att utrymningssäkerheten eller personsäkerheten ska anses oacceptabel, dock inte heller tillräckligt låg för att anses acceptabla. Därför kommer de scenarier som hamnar i det orange området anses acceptabla med vissa åtgärder. Nedan diskuteras dessa scenarier kvalitativt. De scenarier som hamnar i det acceptabla området, alltså det gröna, anses acceptabla och inga åtgärder behöver genomföras.

11.1 Scenario 3 – Brand bakom scen vid stora teatern

Anledningen till att detta scenario hamnar i det orange området är att sannolikheten är medelhög och konsekvensen låg. Genom att minska konsekvenserna ytterligare eller minska sannolikheten hamnar scenariot i det gröna området. Det kan uppfyllas om de som befinner sig bakom scenen är medvetna om att det finns en risk för brand och att det vet hur de ska agera vid brand. Då det förekommer flera olika uppsättningar varje år med nya skådespelare är det viktigt att ständigt informera om var släckredskap finns och instruera om agerande vid brand. En annan åtgärd kan vara att försöka minska mängden brännbar rekvisita bakom scen som inte behövs vid aktuell föreställning. Då det förekommer en hel del elektronik rekommenderas kolsyresläckare bakom scen för att komplettera nuvarande släckutrustning.

11.2 Scenario 5 – Brand i museum

Detta scenario hamnar i det orange området på grund av att sannolikheten är medelhög och konsekvensen låg. Genom att antingen minska konsekvensen ytterligare eller minska sannolikheten kommer scenariot flyttas till det gröna området. Det är framförallt på entresolplanet det finns material som kan bidra till en brandbelastning. Genom att säkerställa tidig detektering och göra personal medveten om brandriskerna samt informera om var och hur släckredskap i lokalen används kan scenariot accepteras.

11.3 Scenario 6 – Brand i förvaringsutrymmen

Scenariot har medelhög sannolikhet och låg konsekvens vilket medför att det hamnar i det orange området. Precis som tidigare diskuterade scenarier, kan antingen konsekvensen minskas ytterligare eller minska sannolikheten för att hamna i acceptabelt område. Förvaringsutrymmen är delar av Kulturhuset om endast personal kommer åt, vilket gör att det är viktigt att personalen är medveten om denna risk och att de vet hur de ska agera vid brand. Det är också viktigt att kontrollera eller att upprätthålla befintlig kontroll av detektorerna i dessa utrymmen för att säkerställa en tidig detektering.

11.4 Scenario 8 – Brand i verkstad

Det är den höga sannolikheten som gör att detta scenario hamnar i det orange området då konsekvensen är låg. Det är följaktligen sannolikheten som måste minskas. Även här är det viktigt att personal som arbetar i verkstaden har god kunskap om agerande vid brand. Det är också viktigt att brandfarliga kemikalier och färger förvaras i tänkta förråd för att förhindra att brand uppkommer. Nödbelysning bör finnas i lokalen eftersom ljus utifrån inte når lokalen.

11.5 Scenario 9 – Brand i café

Detta scenario har medelhög konsekvens och sannolikhet vilket medför att det hamnar i det orange området. Både sannolikheten och konsekvensen måste minskas för att scenariot ska hamna i det

acceptabla området. Då det är personalen i caféet som har god lokalkännedom, till skillnad från besökarna, är det viktigt att de vet var släckredskap finns och hur de ska användas. De bör även vara medvetna om hur de ska varna besökare vid ett tillbud. Att textilier och stoppade möbler är flamskyddade bidrar till minskad sannolikhet för uppkomst av brand. Konsekvensen kan ytterligare minskas genom att placera utrymningsskyltar ovanför ingången till caféet för att underlätta utrymning.

11.6 Scenario 11 – Brand i monter/foajé

Med medelhög konsekvens och sannolikhet hamnar detta scenario i det orange området. För att scenariot ska hamna i det gröna området i matrisen måste både konsekvensen och sannolikheten minskas. Släckutrustning bör vara tydligt markerad då personer med mindre god lokalkännedom vistas här. Det är viktigt att försöka begränsa mängden brännbart material i foajén vid exempelvis utställningar. Detta skulle kunna bidra till att scenariot accepteras.

12 Sammanställning åtgärder

Nedan sammanställs de brister och åtgärder som observerats vid brandscenarier, platsbesök samt enkäter.

12.1 Åtgärder utifrån brandscenarier

Utifrån brandscenarier och simuleringar bör följande åtgärder genomföras.

Scenario I – Garderob

- Riktning på utrymningsväg som visas i Figur 12 *kan* ändras.

Scenario II – Stora teatern

- Sprinklersystemets dimensionering *skall* kontrolleras och besiktas.
- Organisatoriskt brandskyddsarbete *skall* genomföras.

Scenario III – Lilla scen

- Sprinklersystemets dimensionering *skall* kontrolleras och besiktas.
- Bättre skyltning, tillgänglighet och information kring nödutgången som presenteras i Figur 17 *skall* genomföras.
- Organisatoriskt brandskyddsarbete *skall* upprätthållas.

Scenario VI – Bibliotek

Utifrån analys i denna rapport behöver inga åtgärder vidtas för biblioteket.

12.2 Åtgärder utifrån platsbesök

Nedan presenteras de brister som observerades vid platsbesöket och förslag på åtgärder för stora delar av byggnaden.

12.2.1 Detektion teaterlokaler

Problem: På grund av att det bland annat förekommer teaterrök vid teatern stänger personalen av rökdetektorerna i lokaler under föreställning trots att detta inte får förekomma. Vid föreställning i stora teatern uppgår antalet avstängda rökdetektorer till cirka 120 stycken. Detta förlänger tiden till detektion av brand om branden inte är lättupptäckt och därmed även utrymningstiden vilket kan medföra att en säker utrymning förhindras. Ytterligare ett problem är att publiken vid föreställningar kan ha ett annat risktänk då det förväntas förekomma pyroteknik och liknande på scen.

Åtgärd: Detektorerna bör bytas ut till annan typ som är bättre lämpad för denna typ av verksamhet, exempelvis multidetektorer eller typen som ej reagerar på teaterrök. Detta är en mer kostsam åtgärd. Dock görs ingen ekonomisk värdering i rapporten och därför har ingen kostnad-nytta analys gjorts på förslaget. Exempel på annan lösning är två-detektorsberoende vilket innebär att minst två detektorer måste aktiveras för larm. Detta skulle minska risken för falsklarm. Ett annat alternativ är installation av larmlagring. Det innebär att brandlarmet inte överförs automatiskt till räddningstjänst utan istället larmas personal som har en viss tid på sig att kvittera eller återställa. Görs inte detta larmas räddningstjänsten (Nilsson & Holmstedt, 2008). För att larmlagring ska tillåtas ställs krav på larmorganisation, alltså utbildad personal på plats. För detta krävs analytisk dimensionering (Brandskyddshandboken, 2012). Publikens risktänk motiverar åtgärden ytterligare. För åtgärd gällande detektorerna krävs vidare utvärdering.

12.2.2 Byta öppningsbeslag stora teatern

Problem: Dörrarna i utrymningsvägarna i stora teatern är försedda med tryckbeslag med manuellt låsvred och kan låsas från insidan. Enligt personalen brukar förvirring uppstå då publiken inte vet om dörren är öppen eller låst vid utpassering. Enligt BBR 5:335 ska dörrar i utrymningsvägen vara lätt öppningsbara oavsett om dörren är låst eller olåst (Boverket I, 2011). Detta uppfylls inte i dagsläget eftersom inga markeringar tydliggör huruvida dörren är lätt öppningsbar. Dessutom är de övre utrymningsdörrarna avsedda för personer med funktionsnedsättning och därför bör dessa anpassas för att möjliggöra snabb utrymning även för dessa personer.

Åtgärd: Låsvreden och tryckbeslagen bör kompletteras med utrymningsbeslag enligt SS-EN 179 för att behålla den nuvarande funktionen och samtidigt möjliggöra snabb utrymning. Ett annat alternativ är att byta ut låsanordningen till öppningsbeslag enligt SS-EN 1125, så kallade panikreglar.



Figur 28. Bild från platsbesök över dörr i stora teatern med problematisk låsvred

12.2.3 Strategi utrymning via tak

Problem: Utrymning från kontor och andra personalutrymmen på plan 5 sker delvis via tak. Detta kan leda till förvirring gällande vägval och upphämningsplats. Ingen väg ner från taket finns tillgänglig förutom Räddningstjänstens höjdfordon. Under vintertid kan problem med halka på grund av snö och is uppstå.

Åtgärd: Skyltning och markering för att tydliggöra önskvärt agerande på taket. Spiraltrappa eller liknande installation bör monteras för att möjliggöra snabbare, lättare och säkrare utrymning. Skottning och annat underhåll bör genomföras regelbundet.

12.2.4 Ökad tillgänglighet för brandpost lilla scen

Problem: Brandposten som är placerad vid lilla scen blockeras av läktarmodulen vilket gör det svårt för personer att nyttja brandposten.

Åtgärd: Öka tillgängligheten genom att ta bort blockering.



Figur 29. Bild från platsbesök över blockerad brandpost vid lilla scen

12.2.5 Kontrollera fria utrymningsvägar

Problem: Vid platsbesöket observerades att ett antal utrymningsvägar var blockerade. Det är viktigt att hålla utrymningsvägar fria för att säkerställa en snabb utrymning.

Åtgärd: Kontrollera barnvagnar och andra tillfälligt placerade objekt i lokalen för att säkerställa att utrymningsdörrar ej blockeras.



Figur 30. Bild från platsbesök över blockerad utrymningsväg i biblioteket

12.2.6 Tydligare utrymningsskyltning

Problem: Utrymningsskyltar var på vissa ställen placerade på ett missvisande sätt mellan två dörrar vilket kan leda till förvirring gällande vilken dörr som är utrymningsväg, se Figur 31 nedan.

Åtgärd: Skyltarna bör åtgärdas så det framgår tydligare vilken dörr som avses.



Figur 31. Bild från platsbesök över dåligt placerad utrymningsskylt

12.2.7 Skyltning utrymningsdörrar

Problem: Flertalet utrymningsvägar var skyltade som larmade eller annan skylt som kan innebära förvirring för personer vid en utrymningsituation. Det kan leda till att människor undviker att använda dörren vilket förlänger tiden till utrymning och kan äventyra personernas säkerhet. Exempel på detta visas i Figur 32 nedan.

Åtgärd: Denna skyltning bör tas bort och ersättas med skyltar som antyder att dörren endast ska användas vid utrymning.



Figur 32. Bild från platsbesök över felaktigt skyltad utrymningsväg i biblioteket

12.2.8 Uppställningsplats

Problem: På vissa våningsplan är utrymningen från kontor avsedd att ske via tak och räddningstjänstens höjdfordon samt deras utskjutstegar. På marknivå finns ingen skyltning gällande uppställningsplats för dessa höjdfordon, vilket medför att dessa platser kan vara blockerade av exempelvis andra fordon som försvårar tillgängligheten för räddningstjänsten. Vid tillfället för besöket fanns betongsuggor med informationsskyltar uppställda på uppställningsplatsen. Uppställningsplatsen visas i Figur 33 nedan.

Åtgärd: Denna plats bör skyltas som uppställningsplats och betongsuggor bör placeras så de inte blockerar tillgängligheten för höjdfordon.



Figur 33. Bild från platsbesök över uppställningsplats av räddningstjänstens fordon

12.2.9 Återsamlingsplats

Problem: Utanför entrén finns en tänkt samlingsplats vid utrymning för personer. Denna plats är ej skyltad i dagsläget.

Åtgärd: Återsamlingsplatsen bör skyltas.

12.2.10 Utrymning café

Problem: Utrymning från caféet sker antingen via en dörr in till Kulturhusets foajé eller via köket. När Kulturhuset stänger låses dörren till foajén. Dock är caféet öppet längre än Kulturhuset vilket medför att det endast finns en skyltad utrymningsväg, via köket, när det ska finnas två av varandra oberoende vägar ut.

Åtgärd: Det finns dörrar längs ytterväggarna som bör skyltas som utrymningsväg för att uppfylla kravet gällande två oberoende utrymningsvägar.

12.2.11 Kontroll brandjalusi

Problem: För att tillfredsställa brandskyddet krävs att brandjalusits funktion säkerställs.

Åtgärd: Genom kontroll av funktion samt avsaknad av hinder säkerställs att brandjalusit fungerar som avsett.

12.2.12 Ventilationskontroll

Problem: Tveksamheter gällande ventilationens funktion och säkerhet föreligger.

Åtgärd: Brandtekniska installationer bör kontrolleras enligt avsnitt 3.10.

12.2.13 Utrymningslarm

Problem: Vid aktivering av larm finns instruktion till personal gällande vad som ska inkluderas i det talande meddelandet riktat till besökarna. Dock föreligger osäkerheter gällande hörbarheten av det talade meddelandet eftersom det kan överröstas av utrymningslarmet.

Åtgärd: Förinspelat talat meddelande bör installeras i de publika lokalerna. Talat utrymningslarm ger kortare förberedelsestider och är det utrymningslarm som rekommenderas i publika lokaler (Frantzich, 2001).

12.2.14 Skjutsdörr som utrymningsväg

Problem: Vid händelse av brand sker utrymning från biblioteket via automatiska skjutsdörrar. Vid strömavbrott kan dessa öppnas manuellt. Dock stannar de då i öppet läge vilket medför att brandcellen inte längre är intakt.

Åtgärd: Exempel på åtgärd är byte av dörr till annan typ med automatisk dörrstängare. Skjutsdörren skulle också kunna förses med någon typ av reservaggregat för att säkerställa intakt brandcell.

12.3 Åtgärder utifrån enkäter

Nedan presenteras de brister som uppmärksammats vid enkätundersökning bland personalen. En sammanställning av alla svar från undersökningen presenteras i Bilaga C: Enkätundersökning.

12.3.1 Funktionsnedsatta

Problem: Enkäterna visade att nästan 40 % av de svarande ansåg att det inte finns goda förutsättningar för funktionshindrade att utrymma och fler än 60 % vet ej hur funktionsnedsatta kan assisteras vid utrymning.

Åtgärd: Information och utbildning bör ordnas för personalen gällande utrymning av funktionsnedsatta.

12.3.2 Rutiner och släckredskap

Problem: Enkäterna visade också att det finns ett behov av att repetera hur utrymning ska ske och var släckredskap finns placerade.

Åtgärd: Information och utbildning bör ordnas för personalen gällande utrymning och släckredskap.

12.3.3 Information från räddningstjänst

Problem: En del kommentarer kring räddningstjänstens agerande vid larm kommenterades. Personal anser att information angående vad som hänt och när det är godkänt att återvända till byggnaden är bristfällig.

Åtgärd: Räddningstjänst bör informera ansvarig personal med tydligare information efter utrymningssituation.

12.4 Sammanfattning av åtgärder

Nedan sammanfattas samtliga åtgärder och kategoriseras utifrån de som anses prioriterade och de som är rekommenderade.

12.4.1 Prioriterade åtgärder

Vissa av åtgärderna som diskuterats ovan är sådana som *skall* genomföras för att säkerställa personsäkerheten vid brand. Nedan följer en kortare punktlista med förslag på dessa åtgärder. Åtgärderna ordning är oberoende av prioritet.

- Sprinklersystemets dimensionering *skall* kontrolleras enligt gällande standard.
- Handbrandsläckare *skall* finnas tillgänglig i anslutning till elektronik och andra platser där risk för brand är störst vid både stora och lilla scen.
- Kontinuerlig utbildning kring brandrisker och hantering av släckutrustning för personalen *skall* genomföras.
- Bättre skyltning, tillgänglighet och information kring utrymning via nödutgång i Figur 17 *skall* finnas vid lilla scen.
- Skyltar på utrymningsdörrar som kan innebära förvirring *skall* tas bort/bytas ut. För att förhindra att dörrarna används som utgångar kan skyltarna bytas ut till sådana som antyder att den endast ska användas till utrymning.
- Utrymningsvägar *skall* hållas fria.
- Information till personal kring assistans till funktionsnedsatta vid utrymning *skall* genomföras.

12.4.2 Rekommenderade åtgärder

Vissa av åtgärderna som diskuterats ovan är sådana som *bör* genomföras för att säkerställa personsäkerheten vid brand. Nedan följer en kortare punktlista med förslag på dessa åtgärder. Åtgärderna ordning är oberoende av prioritet.

- Möjligheter och kostnader för utbyte av rökdetektorer vid stora teatern till detektorer bättre lämpade till verksamheten *bör* undersökas.
- Låsanordning vid stora teatern *bör* bytas ut.
- Utrymningsituationen via tak *bör* förbättras.
- Brandposten vid lilla scen *bör* kunna öppnas helt.
- Utrymningsskyltar *bör* placeras på ett mer lättförståeligt sätt.
- Uppställningsplats för höjdfordon från räddningstjänst *bör* skyltas och hållas fri.
- Återsamlingsplats *bör* skyltas.
- Utrymningsskylt över ingången till caféet *bör* monteras för att uppfylla kravet gällande utrymningsvägar även efter att övriga Kulturhuset stängts.
- Kontroll av funktion och avsaknad av hinder gällande brandjalusit *bör* utföras regelbundet.
- Brandtekniska installationer i ventilationen *bör* kontrolleras.
- Utvärdering kring detektorer i teaterlokaler *bör* genomföras.
- Endast talat meddelande *bör* förekomma i lokalerna.
- Åtgärd gällande utrymning via skjutdörr *bör* genomföras för att säkerställa intakt brandcell.

13 Diskussion gällande osäkerheter

I rapporten förekommer det osäkerheter som kan bero på bland annat naturlig variation eller kunskapsosäkerhet. För att minska kunskapsosäkerheter kan vidare undersökningar utföras för att få fram mer information. Dock går det inte att minska osäkerheter som beror på naturlig variation. Hantering av osäkerheter kan kategoriseras på sex nivåer enligt Paté-Cornell. I denna rapport hanteras osäkerheter enligt nivå två – *värsta troliga fall* (Paté-Cornell, 1996).

Valet av modeller och metoder innefattar en mängd osäkerheter och diskuteras under respektive område nedan.

13.1 Statistik

För att välja ut representativa scenarier i grovanalysen används statistik för att få en uppfattning om frekvenser och sannolikheter för olika brandscenarier. Information från platsbesöket ligger till grund för bedömning av konsekvens för olika brandscenarier. Kring de värden som används för att få fram frekvenser föreligger osäkerhet. De fakta gällande antal olika typer av verksamheter som förekommer i Sverige utgör den största osäkerheten vid beräkning av frekvens eftersom de ursprungsdata som används är okänd liksom enhetlighet i klassificering. Värden tagna från MSB:s databas IDA för antalet bränder som skett under en femårsperiod i en specifik typ av verksamhet innehåller en form av osäkerhet kring definiering av brand samt huruvida alla brandtillbud rapporteras. Det gör att antalet kan vara något lågt.

Önskvärt vore att ha statistisk för museum, teater och bibliotek enskilt, men databasen IDA har valt att slå samman dessa till en kategori. Detta medför ytterligare en osäkerhet i bedömning av brandfrekvensen.

Osäkerheter i statistiken påverkar valet av brandscenarier. Trots att värdena för frekvensen innehåller en del kunskapsosäkerheter anses de scenarier som tagits fram vara representativa utifrån information från platsbesök samt grovanalys. Därmed anses effekten av denna osäkerhet vara låg.

13.2 Tid till kritiska förhållanden

De osäkerheter som föreligger kring effektkurvorna följer med till vidare beräkningar och simuleringar vid uppskattning av tid till kritiska förhållanden.

Känslighetsanalysen visar att effektutveckling och sotfraktionen har stor betydelse för beräkningar av tid till kritiska förhållanden.

13.2.1 Effektkurvor

Känslighetsanalysen visar att resultatet är beroende av effektutvecklingen i stor utsträckning. Därför är det viktigt att osäkerheterna kring den minimeras. Effektkurvornas tillväxt för de dimensionerade bränderna bygger på α^2 -kurvor vilket innebär att effekten direkt börjar öka. Vid en verklig brand är detta inte fallet då det oftast finns en förbrinntid. Den tiden beror på antändningskällan och innebär att bränslet pyr innan en brand börjar växa till. En faktor som kan bidra till en längre förbrinntid vid stora teatern är att stolarna är flamskyddade. Följden av förbrinntiden blir att rökdetektorer kan reagera tidigare på grund av rökutveckling vilket gör att utrymning kan påbörjas vid ett tidigare skede och att tiden till kritiska förhållanden blir längre. Det gör att beräkningar utan hänsyn till förbrinntiden kommer vara konservativa.

Framtagning av effektkurvor är gjord utifrån tidigare försök i en verklighetstrogen uppställning. Detta medför osäkerheter då försöksuppställningen skiljer sig från den situationen som förekommer i Kulturhuset i Borås. Dock anses det vara mer representativt att använda värden från försök med liknande uppställning än att använda värden för ett visst material och uppskatta en bränslemängd.

Beräkningar från försök har skalats om linjärt för anpassning till det aktuella bränslepaketet. Viss osäkerhet föreligger gällande denna omskalning då det inte kan garanteras att branden beter sig på samma sätt vid olika mängd bränsle. Vid omskalning har dock omslutningsarean och därmed syretillgången tagits i beaktande för att minska dessa osäkerheter.

Gällande mängden material i brandscenarierna föreligger osäkerhet eftersom dessa kan variera i plats, tid och situation. Exempelvis kan antalet jackor i garderoben variera över antal besökare, årstid och typ av föreställning. Även om 500 jackor hade använts vid framtagandet av effektkurvan för garderoben skulle tillväxthastigheten varit densamma. Kritiska förhållanden uppstår innan maxeffekten uppnås vilket gör att en högre maxeffekt inte hade påverkat resultatet. De materialmängder som använts i rapporten anses representativa för respektive scenario och är gjorda utifrån platsbesök och kvalitativa bedömningar.

Modellen som använts för beräkning av spridning på grund av strålning innefattar flertalet antaganden som presenteras i Bilaga L: Strålning. En annan strålningsmodell bygger på temperaturen i flammen. Denna parameter påverkar mycket och är svårbestämd vilket även det hade gett stora osäkerheter i resultatet. Då ingen modell är optimal har strålningsmodellen som är oberoende av temperatur använts för att ge en fingervisning huruvida kritisk strålning uppstår eller ej vid spridning av brand.

Vid sprinkleraktivering antas effekten bli konstant vid aktiveringstiden. I verkligheten kan dock det fortsatta brandförloppet bli annorlunda eftersom sprinkler kan initiera en avsvlningsfas, turbulens och kylning av brandgaser. Det kan anses felaktigt att sprinkleraktivering vid garderoben sker vid samma tid som för stora teatern trots stora skillnader i höjd. Detta beror troligen på att olika datorprogram används för uppskattning av aktivering. Tiden kan tyckas för lång i garderoben där det är lågt i tak. Dock görs ingen vidare analys eftersom utrymningen ändå kan ske säkert.

Sammantaget kan sägas att effektutvecklingen innehåller flera osäkra parametrar varav några av de viktigaste har diskuterats. Rapporten är till stor del beroende av effektkurvorna och hade andra kurvor använts hade resultaten blivit annorlunda. I rapporten anses effektkurvorna vara konservativa och representativa.

13.2.2 Sotfraktion

I brandscenarierna vid stora teatern och lilla scen har bränslet ansatts till polyuretan då det förekommer i de stoppade stolarna. Dock är effektkurvan framtagen med antändningskälla i mixerbordet vilket gör att polyuretan inte brinner i det tidiga brandförloppet. I FDS kan endast ett bränsle definieras och då väljs polyuretan eftersom detta ger en brand med värst förhållanden samt att störst del av det totala bränslet består av detta. Den typ av polyuretan som använts är karaktäristisk för stoppade möbler och har en förhållandevis hög sotfraktion. Detta leder till att siktförhållandena i simuleringarna ger kritiska nivåer i ett tidigare skede. I verkligheten kan istället mixerbordet och ett träbord förväntas brinna i det initiala brandförloppet vilket hade gett en lägre sotfraktion och därmed längre tid till kritisk sikt. Då stor del av utrymningen sker under det tidiga

brandförloppet är det svårt att bedöma när kritiska nivåer uppstår gällande sikt på grund av den missvisande sotfraktionen i detta stadiet. Trots dessa osäkerheter bedöms sikten kunna användas som kriterium för kritiska förhållanden för stora teatern och lilla scen. Även om branden startar i en stol kommer polyuretan inte brinna initialt då den flamskyddade klädseln är det som först tar eld.

I simuleringarna kan andra ämnen representera scenario II och III bättre än polyuretan i det tidigare brandförloppet. Skulle istället ett ämne med lägre sotfraktion användas skulle sikten då bli missvisande i det senare brandförloppet. Eftersom hantering av osäkerheter följer nivå 2 enligt Paté-Cornell (1996) väljs värsta troliga fall, det vill säga polyuretan. Det är inte bara i materiella val som värsta troliga fall används utan även i val av brandens placering, ingripande och att innertaket håller kvar brandgaserna i lokalen. Den enda placeringen av branden som kunde bidra till sämre utrymningsförhållanden snabbare vore om det brann på balkongen. Men eftersom en brand på balkongen hade upptäckts av publiken på balkongen i ett väldigt tidigt skede bedöms inte situationen som helhet bli värsta troliga fall.

13.2.3 Övriga osäkerheter

Känslighetsanalysen påvisar att brandens tillväxthastighet har stor påverkan på tid till kritiska förhållanden. Den tillväxthastighet som valts anses vara representativ för valda scenarier.

En annan osäkerhet är vid beräkning av strålning gällande kritiska förhållanden då en medeltemperatur har använts. Viss osäkerhet föreligger eftersom temperaturen kan variera och fluktuera beroende på faktorer såsom bränsle.

Andra osäkerheter som uppstått är sprinklerhuvudernas placering och flamtemperatur. Sprinklerhuvudernas placering har uppskattats utifrån platsbesök och bilder, men den exakta placeringen är okänd vilket bidrar med osäkerhet gällande dess tid till aktivering. I rapporten har sprinklerhuvudena antagits sitta med 4 x 4 meters avstånd. Det är endast känt att sprinklerhuvudena är fast-response och har ett RTI lägre än $50 \text{ ms}^{1/2}$. För att vara konservativa och på grund av ovissheten om gällande RTI har värdet $50 \text{ ms}^{1/2}$ använts vid simuleringarna. Samma resonemang gäller för aktiveringstemperatur.

I scenario II har tiden till kritiska förhållanden gällande brandgaslagrets höjd tagits fram genom visuell uppskattning i Smokeview från FDS-simuleringar. Denna kvalitativa bedömning ger vissa osäkerheter på grund av svårigheter att tyda mätningarna. I detta scenario är även en annan osäkerhet att sikten varierar på olika höjder över golvet. Detta medför att vissa svårigheter kan uppkomma då utrymnens geometri med trappor gör att höjden över golvet varierar. Punkten där sikten har mätts sattes ovanför utrymningsdörrarna eftersom denna plats anses mest kritisk vid utrymning.

Känslighetsanalysen visar på att förändringar av indata vid simuleringar endast ger bättre eller likartade förhållanden. Detta medför att slutsatserna är för värsta troliga fall och följderna vid de olika brandscenarierna underskattas ej.

13.3 Utrymningstid

Diskussion kring beräkning av utrymningstiden presenteras nedan.

13.3.1 Varseblivningstid och förberedelsetid

I scenario I och IV beräknas en varseblivningstid med hjälp av Detact-T2. Eftersom exakt placering på detektorerna är okänd finns osäkerhet gällande detektionstiden. Enligt känslighetsanalysen påverkar det radiella avståndet mellan detektorerna detektionstiden i relativt stor utsträckning. Avstånden är uppskattade från ritningar över detektorernas placering. Dock kan brandens placering variera och därmed kan även detektionstiden samt varseblivningstiden variera. Det avstånd som har använts i simuleringarna är det längsta avståndet och därmed längsta varseblivningstiden. Viss diskussion kan föras gällande simuleringarnas giltighet gällande rökdetektorernas aktivering i biblioteket eftersom utrymnet är så pass stort att värmeökningen troligtvis sker långsamt. Detta innebär att varseblivningstiden troligtvis har blivit längre än vad som kan förväntas. Då säker utrymning ändå kan genomföras görs ingen vidare analys.

I scenario II och III uppskattas varseblivningstiden och förberedelsetiden utifrån visuell observation av FDS-simuleringar i Smokeview. Detta görs på grund av att rökdetektorerna stängs av vid föreställningen. Tidigare diskussion gällande polyuretans sotfraktion bidrar till osäkerheter kring den visuella uppskattningen. I simuleringarna sätts varseblivningstiden till en kortare tid än detektorernas aktivering, vilket skulle kunna tolkas som att detektorerna inte behövs. Dock gäller detta endast då branden är lättupptäckt. Vid en brand i skymda utrymnen kan detektorernas aktivering vara avgörande.

Vid scenarierna I och IV används schablonvärden för uppskattning av förberedelsetiden. Osäkerheter föreligger gällande schablonvärdernas giltighet eftersom simuleringarna i scenario II och III visar att kritiska förhållanden gällande sikt uppstår tidigare än förberedelsetiden. Det hade varit önskvärt att använda tider från riktiga utrymningsförsök i objektet vilket ej kunnat genomföras på grund av projektets begränsningar.

Det organisatoriska brandskyddet kan påverka både varseblivningstiden och förberedelsetiden och kan bero på personalens agerande. Därför kan en bra organisation vara till stor nytta för att öka chanserna för säker utrymning. Dock har ingen hänsyn tagits till detta eftersom kvantifiering är svårbedömd.

13.3.2 Förflyttningstid

Simulex används för att simulera utrymning och därigenom få fram förflyttningstider. Geometrin bygger på CAD-ritningar över objektet. I dessa ritningar finns ej tillfälliga hinder såsom mindre möbler utritade. Det gör att förflyttning kan ske långsammare i verkligheten.

Känslighetsanalysen visar att antalet personer och nödutgångar påverkar resultatet mest. Antalet personer som vistas i de olika lokalerna bidrar med osäkerheter i resultatet. För att minska denna har statistik över antalet besökare från senaste året legat till grund för uppskattning av antal personer som vistas i lokalen vid simuleringen. Hur många utrymningsvägar som kan vara blockerade är svårt att uppskatta och är en bidragande faktor till osäkerhet. Antalet tillgängliga dörrar har valts utifrån platsbesöket och en kvalitativ bedömning genom att blockera de dörrar som används mest i simuleringarna för att inte underskatta förflyttningstiden.

Osäkerheter föreligger gällande fördelning av persontyper då detta varierar beroende på föreställning samt beläggning. En kvalitativ bedömning har gjorts för att representera verkligheten på ett realistiskt sätt. Dock är faktiska fördelningar okända och därmed är bedömningen osäker. En annan parameter som bidrar med osäkerhet är hur väl personegenskaperna överensstämmer med den verkliga besökaren. Dock är detta en osäkerhet som inte är möjlig att eliminera.

Beroende på hur personerna placeras i Simulex varierar förflyttningstiden. På grund av programmets begränsningar föreligger svårigheter att få en verklig placering av personerna. Påverkan av personernas placering presenteras mer under känslighetsanalysen, se avsnitt 10. Valet av användning av standardavståndskartor, det vill säga att närmsta utgång väljs, kan också påverka resultatet på grund av köbildning.

Representativa tider för utrymning anses ha använts i rapporten eftersom antalet simuleringar för utrymningsscenarierna har varit stort och varierande. För att kvantifiera osäkerheterna i Simulex skulle andra beräkningsmodeller för förflyttningstid behöva användas.

13.4 FDS

Vid användning av FDS förekommer en mängd osäkerheter. FDS används ändå i scenario II och III då det anses vara det bästa och mest trovärdiga analytiska programmet för att bedöma tid till kritiska förhållanden i denna rapport. Programmet nyttjas då geometrin är komplex eller stora volymer förekommer.

Eftersom endast ett bränsle kan definieras i FDS är det svårt att komma ifrån problemet med att det egentligen är flera olika material som brinner. Det gör att valet av material har stor påverkan och bidrar med osäkerheter kring resultatet. Bränslet som valts i simuleringarna för scenarierna II och III är polyuretan och detta material har en hög sotfraktion vilket gör att resultatet av den initiala uppställningen är ett värsta troligt fall. Eftersom brandscenarierna bygger på att en blandning av möbler brinner kommer sikten förmodligen att vara något bättre än vad som anges.

Simuleringar med mindre celler har utförts för att kontrollera nodkonvergens vilket visas i Figur 26 och Figur 27. Enligt diagrammet har nodkonvergens uppnåtts.

Detaljerad information angående hur ventilation och brandgasfläktar är utformade har inte funnits tillgänglig. Därför görs inga inledande simuleringar med hänsyn till ventilation. Det medför ett konservativt resultat eftersom ingen bortförsl av brandgaser sker via ventilation.

13.5 CFAST

I rapporten har CFAST använts trots ogiltighet gällande geometrin. Kvoten mellan längden och höjden blir för stor för att uppfylla programmets begränsningar. Trots detta har resultatet valts att användas, men dess giltighet har diskuterats. Eftersom det är stora öppna geometrier i anslutning till brandrummen anses det rimligt att utrymning hinner ske innan kritiska förhållanden inträffar, om det ens inträffar. På grund av rapportens begränsningar har vidare simuleringar i FDS ej utförts i alla scenarier trots angivna ogiltigheter. För vidare analys av lokala förhållanden rekommenderas dock vidare analys.

13.6 Felfunktion av tekniska system

Ingen känslighetsanalys har utförts gällande de tekniska systemen. Eftersom de behandlade brandscenarierna inte innefattar dolda bränder är detektorernas tillförlitlighet ej av stor vikt då branden kan upptäckas av personer i lokalerna. Även om rapportens resultat inte påverkas i större utsträckning av detektorernas funktion är det viktigt att de fungerar om en brand skulle inträffa på andra platser än de berörda.

Vid stora teaterns scen finns ett brandjalusi som avskärmar scenen från parkett vid brand. Vid brand på scen är det viktigt att jalusiet fungerar för att skydda publiken från branden. Om däremot branden sker som i rapporten på parketten är inte jalusiets funktion av samma vikt. I vissa fall kan till och med effekten av ett icke-fungerande jalusi ge positiva konsekvenser då brandgaser kan spridas till de större rumsvolymer bakom scen. Det finns även brandgasventilation bakom scen vilket skulle innebära att brandgaser skulle kunna ventileras ut.

Sprinklersystemens tillförlitlighet hänvisas till åtgärden gällande kontroll och besiktning av systemen.

Den automatiska skjutdörren mellan bibliotek och foajé kommer inte att påverkas av felfunktion eftersom det ändå krävs manuell öppning av denna vid brandlarm. Övriga utrymningsvägars felfunktion kontrolleras i samband med utrymningssimuleringar i Simulex där vissa blockeras. Därför anses därför detta ha analyserats på ett godtagbart sätt.

Övriga tekniska system som kan felfunktionera bedöms inte påverka rapportens analys.

13.7 Resultat

Generellt anses de resultat som fås i rapporten vara rimliga för värsta troliga fall. Dock uppstår det troligen inte lika allvarliga förhållanden i många andra brandtillbud. Eftersom analysen i rapporten väljs till att följa Paté-Cornell (1996) nivå 2 har dimensionering utförts utifrån värsta troliga fall.

På grund av alla osäkerheter kring framtagandet av tid till kritiska förhållanden och utrymningstid ska säkerhetsmarginalen beaktas med försiktighet. Förslag på åtgärder diskuteras och presenteras i avsnitt 12.

14 Slutsats

Utrymningsförhållanden anses goda för personer som vistas i större delar av kulturhuset, dock föreligger tveksamheter kring stora teatern och lilla scen. Gällande stora teatern bör vidare analys göras för att säkerställa hur ett brandförlopp påverkar utrymningsmöjligheterna. I denna rapport har förenklingar behövts göras vilket har medfört att stora osäkerheter föreligger. Trots detta har åtgärder tagits fram för att förbättra situationen i nuläget. Åtgärder har även tagits fram för lilla scen eftersom kritiska förhållanden uppstår. Dessa kan inte garantera en acceptabel säkerhetsmarginal eftersom siktförhållandena försämras drastiskt med tiden. Dock ger åtgärderna en förbättrad utrymning. En av den största osäkerheten vid stora teatern och lilla scen är valet av bränsle vid simuleringarna. Utvärderingen av befintligt brandskydd är baserat på platsbesök och genomförda beräkningar av fyra brandscenarier.

De prioriterade åtgärderna är:

- Kontinuerlig utbildning kring brandrisker och hantering av släckutrustning för personalen ska genomföras.
- Bättre skyltning och information vid utrymning av lilla scen ska finnas.
- Sprinklersystemets dimensionering ska kontrolleras och besiktas enligt gällande standard.
- Utrymningsvägar ska hållas fria.
- Skyltar gällande larmade utrymningsdörrar ska tas bort eller ändras till annan text.
- Handbrandsläckare ska finnas tillgänglig i anslutning till elektronik och andra platser där risk för brand är störst.
- Information till personal kring assistans till funktionsnedsatta vid utrymning ska genomföras.

Med åtgärderna nås en mer acceptabel utrymningssituation. Dock gör de osäkerheter som diskuterats att säkert skydd inte kan garanteras eftersom människors beteende inte går att förutsäga. Därmed kan det uppsatta skyddsmålet inte garanteras fullt ut. För att säkerställa att skyddsmålet uppnås rekommenderas en djupare analys.

Utifrån platsbesök görs bedömningen att det finns ett bra säkerhetstänk bland personal som ett bra brandskydd. Ett organisatoriskt brandskydd är av hög vikt för att upprätthålla och förbättra utrymningssäkerheten.

15 Referenser

- Ahlinder C. 2010. *Relationshandlingar ventilation*. Agera VVS design.
- Babrauskas, V. 2006. Temperatures in flames and fires. [Elektronisk] Tillgänglig: <<http://doctorfire.com/flametmp.html>> (2014-03-27)
- Bibblan svara. *Hur många bibliotek och bibliotekarier finns det i Sverige?* [Elektronisk] Tillgänglig: <<http://bibblansvarar.se/svar/hur-manga-bibliotek-och-biblio> > (2014-02-24)
- Boverket I. 2008. *Handbok om brandbelastning*. Karlskrona: Boverket
- Boverket II. 2008. *Boverkets byggregler BBR*. Karlskrona: Boverket
- Boverket. 2010. *Teknisk status i den svenska bebyggelsen*. [Elektronisk] Tillgänglig: <<http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2011/BETST-Teknisk-status.pdf>> (2014-02-24)
- Boverket I. 2011. *Boverkets byggregler BBR*. Karlskrona: Boverket
- Boverket II. 2011. *BFS 2011:26*. Karlskrona: Boverket
- Boverket I. 2013. *Boverkets allmänna råd (2013:11) om brandbelastning*. [Elektronisk] Tillgänglig: <<https://rinfo.boverket.se/BBRBE%5CPDF%5CBFS2013-11-BBRBE1.pdf>> (2014-02-27)
- Boverket II. 2013. *BFS 2013:12, BBRAD 3*. Karlskrona: Boverket
- Brandskyddsföreningen. *Regler och normer – sprinkler*. [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.brandskyddsforeningen.se/kalmar/pa_arbetet/regler-och-normer/sprinkler> (2014-03-28)
- Brandskyddshandboken. 2012. Rapport 3161, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund
- Bwalya A C., Zalok E., Hadjisophocleous G. 2007. *Design Fires for Commercial Premises – Results of Phase 2*. National research council Canada, Kanada
- Chen F F. 2001. *Radiant Ignition of New Zealand Upholstered Furniture Composites*. Department of Civil Engineering, University of Canterbury. Nya Zeeland
- DiNenno PJ. 2002. *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy, USA: National Fire Protection Association
- Drysdale D. 2011. *An Introduction to Fire Dynamics*. 3: e upplagan. West Sussex, United Kingdom: Wiley
- Engineering Toolbox. *Emissivity Coefficients of some common Materials*. [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d_447.html> (2014-04-04)
- Fleury R. 2010. *Evaluation of thermal radiation models for fire spread between objects*. Department of civil and natural resources engineering, University of Canterbury, Nya Zeeland

- Frantzich H. 2001. *Tid till utrymning vid brand*. Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola. Karlstad: Räddningsverket
- Hall J R. 1999. *Performance Based Fire Codes and Standards*. Nashville, USA: ASTM
- Karlsson B, Quintiere J G. 2000. *Enclosure fire dynamics*. 1: a upplagan. Boca Raton, USA: CRC Press
- Krasny J, Parker W, Babrauskas V. 2001. *Fire Behavior of Upholstered Furnitures and Mattresses*. United states: Noyes publications
- Kulturrådet. *Museer 2010*. [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.kulturradet.se/Documents/publikationer/2012/museer_2010.pdf> (2014-02-24)
- Lagerqvist G. 2012. *Relationshandling färgsättning*. Kvarnström Arkitektkontor AB
- Lovén F. 2012. *Relationshandling brandskydd (Brandskyddsdokumentation)*. Fire Safety Design AB
- McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. 2007. *Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide*. National Institute of Standards and Technology, Washington: U.S Government Printing Office
- Myndighet för samhällsskydd och beredskap (MSB). 2014. *Informationssystem för Statistik och Analys (IDA)*. [Elektroniskt] Tillgänglig: <<http://ida.msb.se/ida2#page=a0087>> (2014-03-04)
- Nilsson D., Holmstedt G. 2008. *Kompendium i Aktiva system – Detektion*. Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety. Lund
- Nilsson D. 2007. *Datorsimulering av utrymning vid brand- inventering av tre angreppssätt*. Department of Fire Safety Engineering. Lund
- Norgips. *Brandkrav*. [Elektronisk] Tillgänglig: <<http://www.norgips.se/projektering/generellt/brandljudkrav>> (2014-02-26)
- Nystedt F., Frantzich H. 2011. *Kvalitetsmanual för brandtekniska analyser vid svenska kärntekniska anläggningar*. Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety. Lund
- Osvalds P. 2012. *Relationshandlingar – om-och tillbyggnad*. Kvarnström Arkitektkontor AB
- Paté-Cornell E. 1996. *Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment*. Department of Industrial Engineering and Engineering Management. Stanford University. Stanford, USA
- Peacock RD, Jones WW, Reneke PA, Forney GP. 2005. *CFAST- consolidated model of fire growth and smoke transport: User's guide*. Washington, USA: National Institute of Standards and Technology
- Robbins A P, Wade C A. 2008. *Soot Yield Values for Modelling Purposes – Residential Occupancies*. [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.branz.co.nz/cms_show_download.php?id=6502dc9e0bcd36a863218fc6039fef7e1a2b13f8> (2014-04-03)
- SFPE – BIV, 2013. *Stöd för tillämpning av CFD-modeller – remissutgåva*. [Elektronisk] Tillgänglig: <[69](http://www.sfpe-</p>
</div>
<div data-bbox=)

biv.se/attachments/article/10098/St%C3%B6d%20f%C3%B6r%20till%C3%A4mpning-CFD-remissutg%C3%A5va.pdf> (2014-03-13)

Shintani Y, Nagaoka T, Deguchi Y, Harada K. 2014. *An application method of free burn HRR data to room fire Scenarios*. Kyoto, Japan: Department of Architecture and Architectural Engineering Kyoto University

Staffansson L. 2010. *Selecting design fires*. Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety. Lund

SRVFS, 2004. *Statens räddningsverks allmänna råd och kommentarer om systematiskt brandskyddsarbete*. [Elektronisk] Tillgänglig: <<https://www.msb.se/externdata/rs/51dc9127-8bb3-4bee-8606-98f694a4a5b6.pdf>> (2014-03-04)

Statistiska centralbyrån. *Sverige satsar minst på kultur och fritid i Norden*. [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.scb.se/sv_/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Amnesovergripande-statistik/Amnesovergripande-statistik/Ovriga-publikationer-statistik/51173/2013A01/Behallare-for-Press/Nordisk-statistisk-arsbok-2012/> (2014-02-24)

Svensk servicehandel. *Servicehandel och fast food*. [Elektronisk] Tillgänglig: <<http://www.svenskservicehandel.se/index.php/om-branschen/servicehandel-och-fast-food>> (2014-02-24)

Särdqvist S. 1993. *Intital fires*. [Elektronisk] Tillgänglig: <<http://www.brand.lth.se/fileadmin/brandteknik/rapporter/3070.pdf>> (2014-04-22)

Tillväxtverket. *Modebranschen i Sverige – Statistik & analys*. [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.tillvaxtverket.se/download/18.5a5c099513972cd7fea31774/1369959589409/Modebranschen+i+Sverige+-+statistik+och+analys_17+jan.pdf> (2014-02-24)

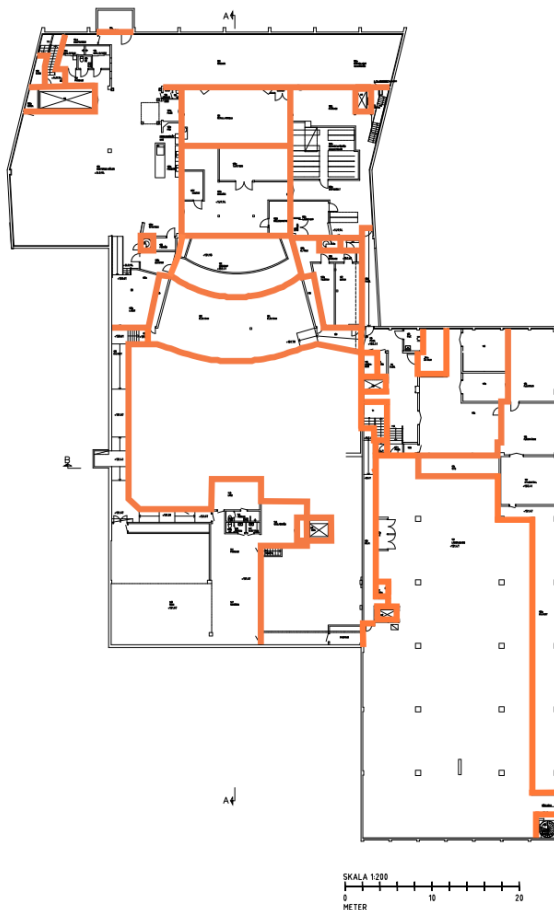
Träriket. *Svensk skog och träindustri*. [Elektronisk] Tillgänglig: <www.trariket.se/sidor/skogotra_sverige.htmr> (2014-02-24)

Bilaga A: Brandcellsgränser

Nedan presenteras brandcellsgränser för plan 1 till 5. Bilderna är baserade på ritningsunderlag (Osvalds, 2012). Orange färg indikerar brandklass EI 60. Övriga plan beaktas inte i denna rapport enligt avgränsningarna i avsnitt 1.4.

Plan 1

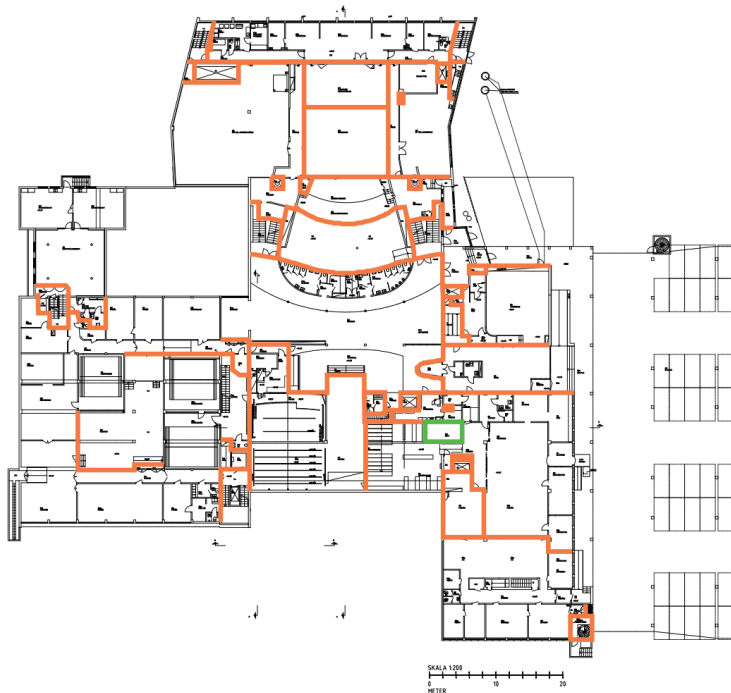
Brandcellsgränser för plan 1.



Figur A 1. Brandcellsgränser för plan 1

Plan 2

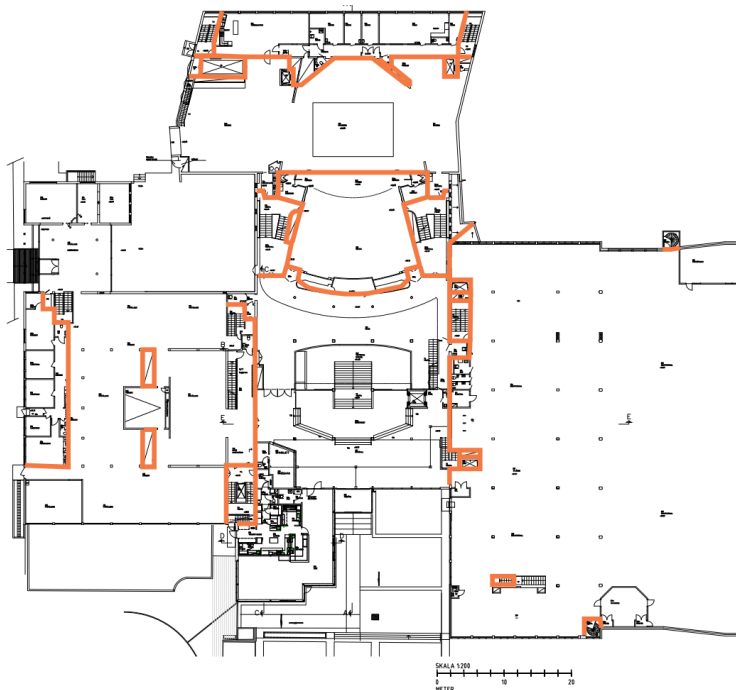
Brandcellsgränser för plan 2. Grön färg indikerar brandklass EI 120.



Figur A 2. Brandcellsgränser för plan 2

Plan 3

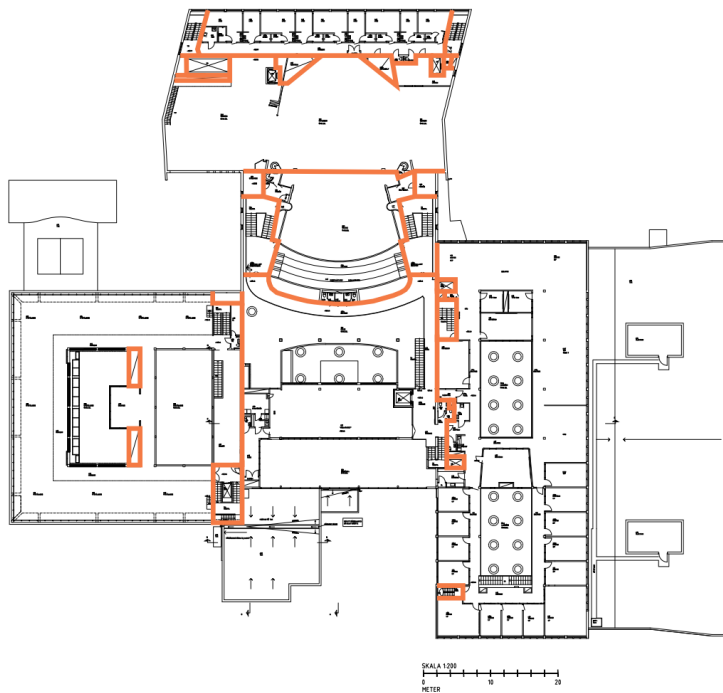
Brandcellsgränser för plan 3.



Figur A 3. Brandcellsgränser för plan 3

Plan 4

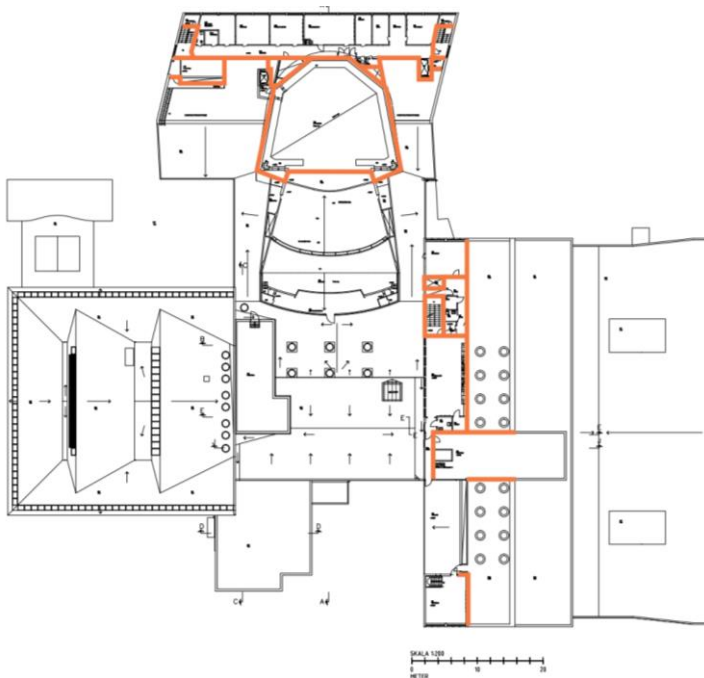
Brandcellsgränser för plan 4.



Figur A 4. Brandcellsgränser för plan 4

Plan 5

Brandcellsgränser för plan 5.



Figur A 5. Brandcellsgränser för plan 5

Bilaga B: Brandbelastning

En lokals brandbelastning kan användas för att bedöma vilken brandteknisk klass en brandcellsskiljande byggnadsdel ska uppföras i. Energi per golvyta (MJ/m^2) inom ett visst utrymme kallas brandbelastning och bestäms för den totala mängden energi som kan förbrännas vid ett brandförlopp i förhållande till brandcellens golvyta (Boverket I, 2008).

Brandbelastningen är summan av en permanent brandbelastning och en variabel brandbelastning. Den permanenta brandbelastningen är brännbara material som inte visar någon eller oväsentlig variation av mängd material och dess förbränningsbeteende. Ett schablonmässigt värde på permanent brandbelastning kan sättas till $50 \text{ MJ}/\text{m}^2$ omslutningsarea och beräknas om med hjälp av en areafaktor till golvarea. Variabel brandbelastning är istället brännbart material vars mängd och förbränningsbeteende kan variera (Boverket I, 2013).

Relevanta värden för variabel brandbelastning som används vid beräkning presenteras i Tabell B 1 nedan och är tagna från Boverkets allmänna råd (2013:11) (Boverket I, 2013).

Tabell B 1. Brandbelastning för respektive verksamhet

Verksamhet	Variabel brandbelastning [MJ/m^2]
Bibliotek	1800
Teater	370

Förekommer det automatisk vattensprinkleranläggning i utrymmet kan en reduceringsfaktor på 0,61 användas (Boverket I, 2013).

För att räkna om den permanenta brandbelastningen från MJ/m^2 omslutningsarea till MJ/m^2 golvarea används ekvationen nedan.

$$q_o = q_f \cdot \frac{A_f}{A_o} \quad \text{Ekvation 1}$$

Scenario I - Garderob

Då mängden material i lokalen varierar beroende på exempelvis föreställning föreligger svårigheter gällande beräkning av brandbelastning. Därför görs en kvalitativ bedömning att det inte förekommer stora mängder brännbart material i förhållande till de stora golvytorna och att inte brandbelastningen överstiger $800 \text{ MJ}/\text{m}^2$ golvarea.

Scenario II - Publikdel stora teatern

Den permanenta brandbelastningen beräknas till $207 \text{ MJ}/\text{m}^2$ golvarea i ekvationen nedan.

$$q_f = q_o \cdot \frac{A_o}{A_f} = 50 \cdot \frac{906,3}{218,8} = 207 \text{ MJ}/\text{m}^2$$

Den variabla brandbelastningen är $370 \text{ MJ}/\text{m}^2$ enligt Tabell B 1 ovan.

$$\text{Total brandbelastning} = 207 + 370 = 577 \text{ MJ}/\text{m}^2$$

Scenario III - Lilla scen

Den permanenta brandbelastningen beräknas till 170 MJ/m² golvarea i ekvationen nedan.

$$q_f = q_o \cdot \frac{A_o}{A_f} = 50 \cdot \frac{542,6}{159,6} = 170 \text{ MJ/m}^2$$

Den variabla brandbelastningen är 370 MJ/m² enligt Tabell B 1 ovan.

$$\text{Totala brandbelastningen} = 170 + 370 = 540 \text{ MJ/m}^2$$

Scenario IV - Bibliotek

Den permanenta brandbelastningen beräknas till 111 MJ/m² golvarea i ekvationen nedan.

$$q_f = q_o \cdot \frac{A_o}{A_f} = 50 \cdot \frac{5350,6}{2408} = 111,1 \text{ MJ/m}^2$$

Den variabla brandbelastningen är 1800 MJ/m² enligt Tabell B 1 ovan.

$$\text{Totala brandbelastningen} = 111 + 1800 = 1911 \text{ MJ/m}^2$$

En brandbelastning på 1911 MJ/m² kräver att brandcellsskiljande byggdelar har brandklass EI 240. I Kulturhuset har bibliotekets brandcellsväggar brandklassen EI 60, vilket innebär att brandbelastningen måste vara ≤800 MJ/m². Utifrån ekvationen nedan beräknas vilken massa böcker som kan förekomma i biblioteket om en brandbelastning på 800 MJ/m² ska råda.

$$Q'' = \frac{\sum m \cdot \Delta H_{eff}}{A_f} \quad \text{Ekvation 2 (Karlsson, Quintire, 2011)}$$

För papper och kartong är den effektiva förbränningsvärmens 20 MJ/kg (Boverket I, 2013). Utifrån det värdet och en brandbelastning på 800 MJ/m² beräknas massan.

$$m = \frac{Q'' \cdot A_f}{\Delta H_{eff}} = \frac{800 \cdot 2408}{20} = 96\,320 \text{ kg} \approx 96 \text{ ton}$$

Information från personal anger att det finns cirka 150 000 exemplar i biblioteket³ varav främst böcker. Dock förekommer även dagstidningar, tidskrifter, dvd, cd och liknande. Genomsnittsvikten på exemplaren antas till 0,5 kg. Massan m skulle då bli:

$$m = 0,5 \cdot 150\,000 = 75\,000 \text{ kg} = 75 \text{ ton}$$

Det betyder att brandbelastningen inte kommer överstiga 800 MJ/m² och att bibliotekets brandcellsskiljande byggdelar kan vara utförda i EI 60. Dock föreligger stora osäkerheter gällande brandbelastningen då vissa bokhyllor inte är av trä samt antalet uppställda exemplar är okänt och varierar.

³ Olof Berge-Kleber, Enhetschef Stadsbiblioteket Borås, mailkontakt 2014-03-06

Bilaga C: Enkätundersökning

Vid platsbesöket delades enkäter ut till personalen gällande hur utrymningssituationen ser ut i nuläget. 20 stycken enkäter lämnades ut varav 19 besvarades. Frågorna samt resultatet presenteras nedan.

Frågor

- 1) Vet du var du skall utrymma vid händelse av brand?
- 2) Kan du urskilja brandlarmet från annat larm ex inbrottslarm?
(vet du hur brandlarmet låter)
- 3) Har du haft någon utbildning i brandsäkerhet och utrymning?
- 4) Har du varit med om någon utrymningsövning?
- 5) Anser du att möjligheten för människor med funktionsnedsättning är god vid utrymning av lokalen?
- 6) Vet du hur du kan assistera människor med funktionsnedsättning vid utrymning?
- 7) A. Vet du var handbrandsläckare/brandfilt/brandslang eller övrig släckutrustning finns?
- 7) B. Skulle du känna dig bekväm med att använda något av dessa?
- 8) Har du uppmärksammat någon brist i brandsäkerheten? Beskriv kortfattat

Svarsresultat

I Tabell C 1 nedan visas resultatet av undersökningen.

Tabell C 1. Svar från enkätundersökning

Fråga	Antal ja	Antal nej
1	19	0
2	18	1
3	15	4
4	17	2
5	12	7
6	7	12
7a	17	2
7b	14	5

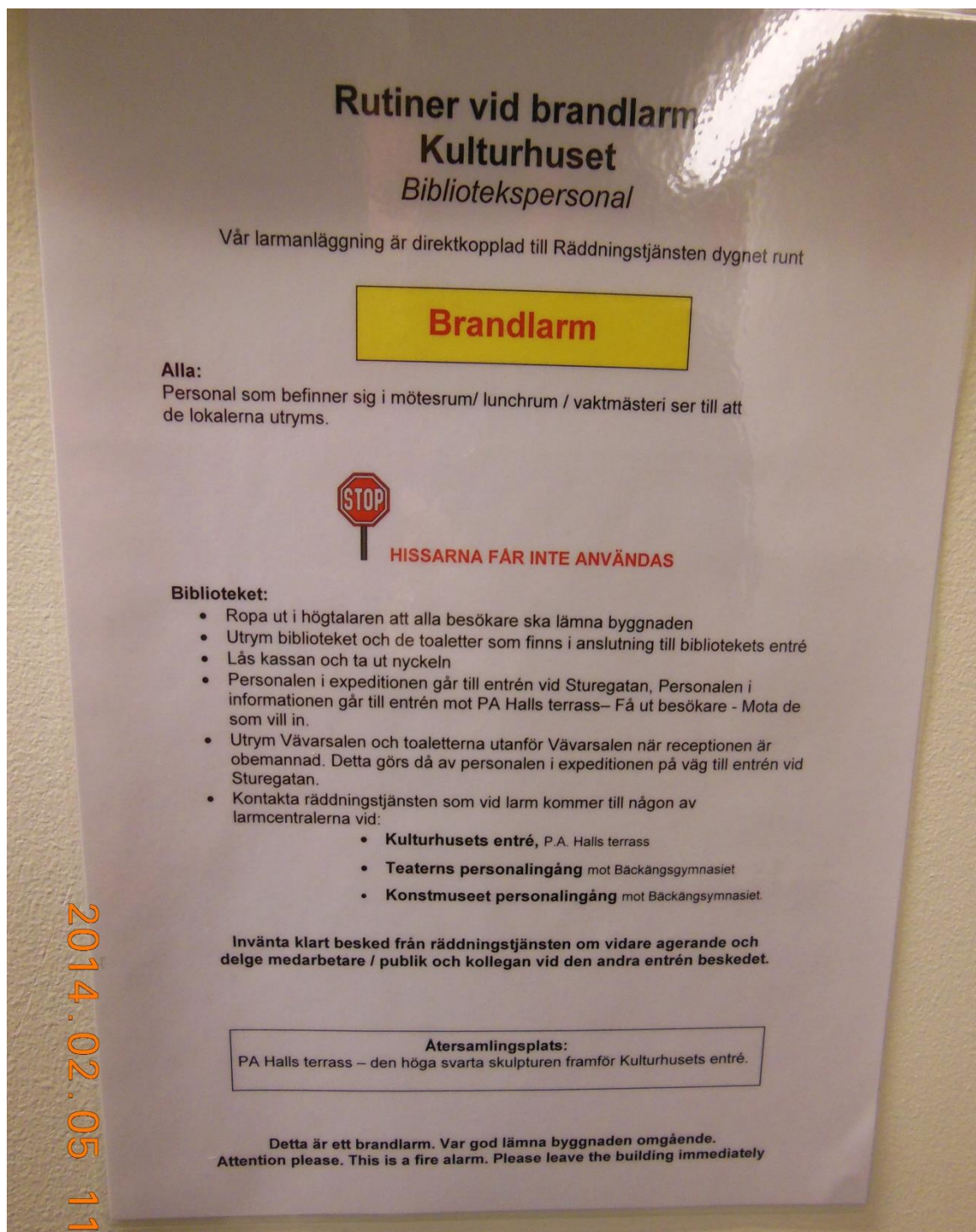
Frisvar fråga 8

Fråga 8 var en frisvarsfråga där inte samtliga angav något svar. De synpunkter som kom in presenteras nedan.

- Vill förtydliga mitt svar om möjligheten för människor med funktionshinder att utrymma lokalen. Jag arbetar på Kulturkontoret, alltså administrationen på plan 4. Här finns bara trappa eller hiss för att ta sig härifrån.
- Jag undrar hur man skall gå tillväga om till exempel en rullstolsburen besökare befinner sig på övre plan i museet, generellt sett ska väl hiss inte användas vid brandlarm. På plan 1 är det möjligt även för personer med funktionsnedsättning att utrymma på ett säkert sätt.
- Lite osäker hur säkert rutiner fungerar för utrymning av magasin samt toaletter och andra lite avlägsna/undanskymda utrymmen på plan 5.
- Vi behöver repetera utrymning och var de olika brandredskapen finns oftare. Efter en utbildning eller genomgång känns det väldigt bra!
- Felvända utrymningsdörrar på stora teatern.
- Bättre verksamhetsanpassning på larm och deckare.
- Återkoppling vid brandlarm: att räddningstjänsten är på plats och säger att det är ok att gå in igen.
- Att man inte får ett tydligt besked när det är ok att gå in i lokalerna när brandkåren varit här och vad det var som larmade.
- Bättre fläktsystem i teaterns verkstad så att det inte blir larm när de målar och dylikt.

Bilaga D: Systematiskt brandskyddsarbete

I Figur D 1 nedan visas exempel på beskrivning av rutiner vid aktivering av brandlarm.



Figur D 1. Bild från platsbesök över exempel på det organisatoriska brandskyddsarbetet

Bilaga E: Kontroll av gångavstånd och dörrbredd med förenklad dimensionering

Vid kontroll av gångavstånd till närmaste utrymningsväg väljs den mest ogynnsamma punkten. Samlinglokal innebär ett tillåtet maximalt gångavstånd på 30 meter enligt BBR 5:331. Garderoben, stora teatern och lilla scen är försett med sprinklersystem vilket innebär att gångavståndet förlängs med 1/3. Således blir det maximalt tillåtna gångavståndet i dessa lokaler 40 meter. Gångavståndet beräknas till ny brandcell. Vid stora teatern och lilla scen finns trappor längs sidorna. Dessa klassificeras som läktare och därmed beräknas avståndet längs det lutande planet.

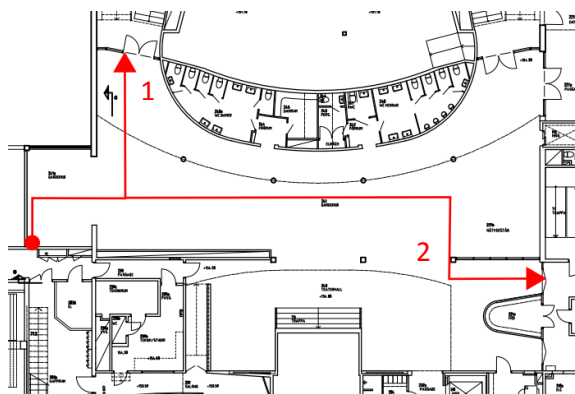
Vid kontroll av dörrbredd undersöks mått och krav enligt BBR. Varje utrymningsväg bör ha en bredd på minst 1,2 meter. Den totala bredden av utrymningsvägarna bör vara minst 1 meter per 150 personer. Om den bredaste utrymningsvägen blockeras bör de återstående ha en bredd som motsvarar minst 1 meter per 300 personer (Boverket I, 2008).

Scenario I - Garderob

Nedan diskuteras gångavstånd och dörrbredd för scenario I.

Gångavstånd

För garderoben väljs den mest ogynnsamma punkten längst in i garderobsutrymmet. Sammanfallande väg beräknas från denna punkt tills dess att gångsträckan delas upp enligt Figur E 1 nedan. Maximalt tillåtet gångavstånd för lokalen är 40 meter då det är försett med sprinklersystem.



Figur E 1. Skiss över beräkning av gångavstånd för garderoben

Sammanfallande väg: 9 meter · 2 = 18 meter

1. $18 + 9 = 27$ meter
2. $18 + 32 = 50$ meter

Enligt beräkningarna ovan uppfylls kraven på gångavstånd för utrymningsväg 1.

Dörrbredd

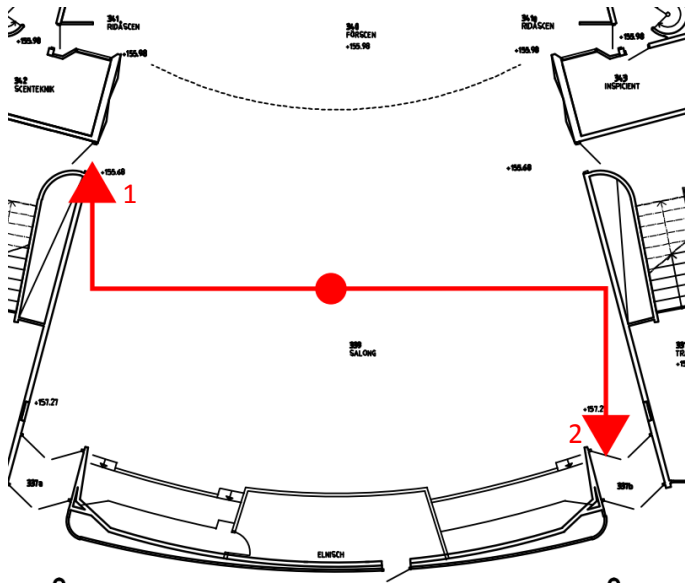
På grund av det stora antalet utrymningsvägar vid garderoben görs en kvalitativ bedömning att kraven gällande dörrbredd uppfylls. Vid ändring av riktning på dörr 1 i Figur E 1 bedöms dörrbredderna uppfylla kraven.

Scenario II – Stora teatern

Nedan diskuteras gångavstånd och dörrbredd för scenario II.

Gångavstånd

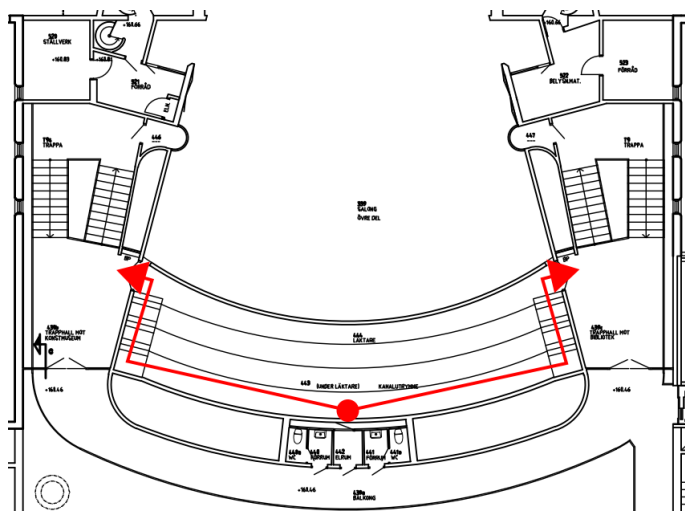
För parketten vid stora teatern väljs den mest ogynnsamma punkten i mitten av publikdelen enligt Figur E 2 nedan. Ingen sammanfallande väg beräknas eftersom en person direkt kan välja att gå åt två olika håll vid utrymningsituation. Maximalt tillåtet gångavstånd för lokalen är 40 meter då det är försett med sprinklersystem.



Figur E 2. Skiss över beräkning av gångavstånd för parketten vid stora teatern

1. 11 meter
2. 14 meter

Enligt beräkningarna ovan uppfylls kraven på gångavstånd för både utrymningsväg 1 och 2.



Figur E 3. Skiss över beräkning av gångavstånd för balkongen vid stora teatern

Enligt beräkningarna i Figur E 3 blir gångavståndet 15 meter åt båda håll vilket uppfyller kraven.

Dörrbredd

Parkett

Total bredd på utrymningsvägar som krävs: $370 \text{ personer} / 150 \text{ personer per meter} = 2,46 \text{ meter}$

Total bredd på utrymningsvägar: $0,9 + 0,9 + 2,1 + 2,1 = 6 \text{ meter}$

Eftersom den totala bredden är större än den som krävs uppfylls kraven gällande dörrbredd. Den enskilda dörrbredden är dock för smal i två fall vilket gör att kraven inte uppfylls.

Total bredd då den bredaste blockeras: $0,9 + 0,9 + 2,1 = 3,9 \text{ m total bredd}$

Maximalt antal personer som tillåts utrymma: $3,9 \text{ meter} \cdot 300 \text{ personer/meter} = 1170 \text{ personer}$

Eftersom fler personer tillåts utrymma lokalen än det totala antalet personer i lokalen uppfylls kraven gällande den totala dörrbredden även då den bredaste dörren blockeras.

Balkong

Total bredd på utrymningsvägar som krävs: $130 \text{ personer} / 150 \text{ personer per meter} = 0,86 \text{ meter}$

Total bredd på utrymningsvägar: $2,1 + 2,1 = 4,2 \text{ meter}$

Eftersom den totala bredden är större än den som krävs uppfylls kraven gällande dörrbredd.

Total bredd då den bredaste blockeras: $2,1 \text{ m total bredd}$

Maximalt antal personer som tillåts utrymma: $2,1 \text{ meter} \cdot 300 \text{ personer/meter} = 630 \text{ personer}$

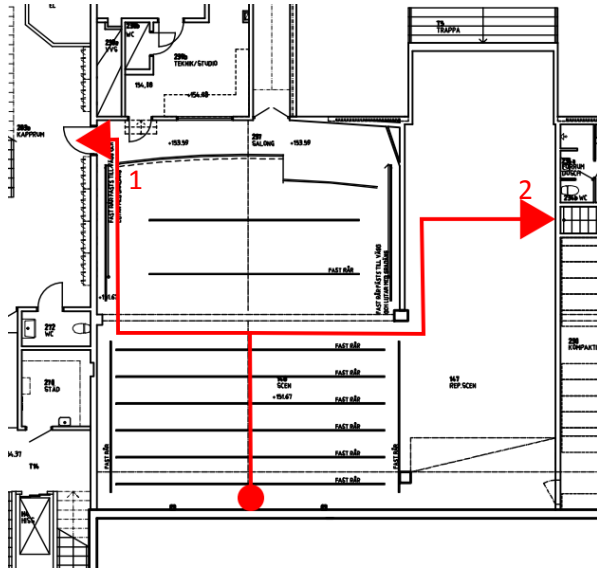
Eftersom fler personer tillåts utrymma lokalen än det totala antalet personer i lokalen uppfylls kraven gällande dörrbredd även då den bredaste dörren blockeras.

Scenario III – Lilla scen

Nedan diskuteras gångavstånd och dörrbredd för scenario III.

Gångavstånd

För lilla scen väljs den mest ogynnsamma punkten, enligt Figur E 4, längst bort från utrymningsvägarna. Sammanfallande väg beräknas från denna punkt tills dess att gångsträckan delas upp enligt nedan. Maximalt tillåtet gångavstånd för lokalen är 40 meter då det är försett med sprinklersystem.



Figur E 4. Skiss över beräkning av gångavstånd för lilla scenen

Sammanfallande väg: 6 meter · 2 = 12 meter

1. 12 + 13 = 25 meter
2. 12 + 16 = 28 meter

Enligt beräkningarna ovan uppfylls kraven på gångavstånd för både utrymningsväg 1 och 2.

Dörrbredd

Total bredd på utrymningsvägar som krävs: 150 personer/150 personer per meter = 1 meter

Total bredd på utrymningsvägar: 0,9 + 0,9 + 1,4 = 3,2 meter

Eftersom den totala bredden är större än den som krävs uppfylls kraven gällande dörrbredd.

Total bredd då den bredaste blockeras: 0,9 + 0,9 = 1,8 meter

Maximalt antal personer som tillåts utrymma: 1,8 · 300 = 540 personer per meter

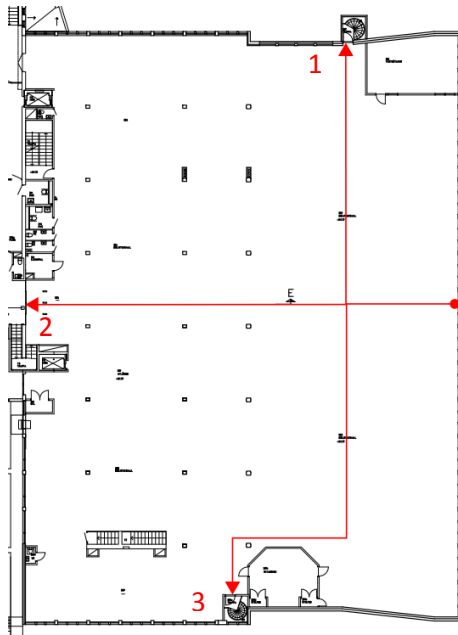
Eftersom fler personer tillåts utrymma lokalen än det totala antalet personer i lokalen uppfylls kraven gällande dörrbredd även då den bredaste dörren blockeras.

Scenario IV - Bibliotek

Nedan diskuteras gångavstånd och dörrbredd för scenario IV.

Gångavstånd

För biblioteket väljs den mest ogynnsamma punkten, enligt Figur E 5, längs ena långsidan. Sammanfallande väg beräknas från denna punkt tills dess att gångsträckan delas upp enligt nedan. Maximalt tillåtet gångavstånd för lokalen är 30 meter då det inte är försett med sprinklersystem.



Figur E 5. Skiss över beräkning av gångavstånd för biblioteket

Sammanfallande väg: 11 meter \cdot 2 = 22 meter

1. $22 + 26 = 48$ meter
2. $22 + 32 = 54$ meter
3. $22 + 40 = 62$ meter

Enligt beräkningarna ovan uppfylls inte kraven på gångavstånd för utrymningsvägarna i biblioteket.

Dörrbredd

Total bredd på utrymningsvägar som krävs: $300 \text{ personer} / 150 \text{ personer per meter} = 2,4$ meter

Total bredd på utrymningsvägar: $1 + 1 + 1,8 + 2,2 = 6$ meter

Eftersom den totala bredden är större än den som krävs uppfylls kraven gällande dörrbredd.

Total bredd då den bredaste blockeras: $1 + 1 + 1,8 = 3,8$ meter

Maximalt antal personer som tillåts utrymma: $3,8 \cdot 300 = 1140$ personer per meter

Eftersom fler personer tillåts utrymma lokalen än det totala antalet personer i lokalen uppfylls kraven gällande dörrbredd även då den bredaste dörren blockeras.

Bilaga F: Statistik till grovanalys

Utifrån statistik från MSB:s databas IDA hämtas antalet bränder som inträffat i teater/ museum/bibliotek, trä- och textilindustri, café och kontor under åren 2005-2012. Definitionen på brand är okänd. För att få fram en frekvens hämtas siffror över antalet av de ovan nämnda verksamheterna som finns i Sverige. Viss osäkerhet kring siffrorna föreligger eftersom de ursprungsdata som används är okänd liksom enhetlighet i klassificering. Dessa siffror är därför approximativa och redovisas i Tabell F 1 nedan.

Tabell F 1. Statistik över antal bränder beroende på verksamhet

Verksamhet	Antal bränder	Antal verksamheter	Källa till antal
Verkstad	1639	13172	Träriket ud, Tillväxtverket ud
Café	1194	18000	Svensk servicehandel och fast food
Kontor	851	24000	Boverket (2010)
Teater/bibliotek/museum	216	3433	Bibblan svarar (2011) , Statistiska centralbyrån (2012), Kulturrådet (2012)

Därefter divideras antalet bränder med antalet verksamheter och år för att få fram hur ofta en brand kan tänkas inträffa på Kulturhuset. Frekvenserna visas i Tabell F 2. Scenarierna presenteras under avsnitt 4.1.

Tabell F 2. Frekvens för respektive scenario i grovanalysen

Scenario	Frekvens	
1. Brand i garderob	0,007864841	1 gång på 125 år
2. Brand i publikdel stora teatern	0,007864841	1 gång på 125 år
3. Brand bakom scen vid stora teatern	0,007864841	1 gång på 125 år
4. Brand vid lilla scen	0,007864841	1 gång på 125 år
5. Brand i museum	0,007864841	1 gång på 125 år
6. Brand i förvaringsutrymmen	0,007864841	1 gång på 125 år
7. Brand i bibliotek	0,007864841	1 gång på 125 år
8. Brand i verkstad	0,015553826	1 gång på 50 år
9. Brand i café	0,008291667	1 gång på 125 år
10. Brand i kontorsdel	0,004432292	1 gång på 250 år
11. Brand i monter/foajé	0,007864841	1 gång på 125 år

Bilaga G: Datorprogram

Nedan beskrivs datorprogrammen som används i rapporten.

Simulex

Simulex är ett datorprogram som beräknar tiden det tar för personer att förflytta sig i en byggnad. Programmet används oftast för att beräkna tiden för utrymning i både stora och små byggnader och flera våningsplan. Simulex är en så kallad partikelmodell, vilket innebär den mest realistiska beskrivningen av förflyttning av personer. Till skillnad från rutnätsmodeller och nätverksmodeller bestäms personernas position utifrån koordinater i byggnaden, vilket medför att det går att få en verklighetstrogen förflyttning. CAD-ritningar över våningsplan i byggnaden importeras in i programmet och kopplas samman via trappor och länkar.

Med vilken hastighet personerna rör sig beror bland annat på vilken persontyp som är definierad och hur långt avståndet är till framförvarande person. Detta gör det möjligt att ta hänsyn till personflödet vid till exempel dörröppningar eller trappor där det kan bli kö. Den obehindrade hastigheten varierar mellan 0,8-1,7 m/s.

Utifrån så kallade avståndskartor beräknas den närmaste vägen till en definierad utgång för varje position. Om inget annat anges väljer personen den närmaste vägen som beräknats av avståndskartan. När personerna väljer den kortaste vägen kan köbildning även ske vid hörn eller trånga passager, vilket medför att de fastnar i varandra istället för att välja en annan utrymningsväg som en verklig person hade gjort. Programmet tar inte hänsyn till individuella reaktioner eller beteende.

En total förflyttningstid fås fram när alla personer tagit sig ut genom någon av utgångarna och simuleringen kan spelas in för att studeras vid ett senare tillfälle (Nilsson, 2007).

CFAST

CFAST är ursprungligen konstruerat för att simulera brandgasspridning i bostäder. Programmet bygger på en tvåzonsmodell som används för att beräkna mass- och energibalanser vid brand. Eftersom det är en tvåzonsmodell kommer brandrummet att delas in i två lager, ett varmt lager med brandgaser och ett kallare lager med frisk luft. I respektive lager antas homogena egenskaper och därmed väl omblandat.

Bränslet definieras av användaren, där den känsligaste parametern är effektutvecklingen eftersom det är själva drivkraften i flödena. Exempel på utdata är effekt, temperatur, brandgaslagrets höjd och flöden. Även information om aktivering av sprinkler och rökdetektorer kan fås (Peacock et al. 2005).

Fördelarna med programmet är att det går snabbt att få fram utdata och att den är enkel att tolka. Nackdelarna är att alla rum simuleras som rätblock och inga lokala fenomen kan studeras. I nuläget är modellen verifierad för brandgasspridning mellan 3-6 rum. Programmet har dock begränsningar då ventilationsflöden mellan olika rum i en brandcell ska beräknas (Nystedt, Frantzich. 2011). För att uppnå bra resultat av simuleringarna finns även begränsningar för vilka förhållanden som ska gälla mellan geometriernas dimensioner. Dessa presenteras i Tabell G 1 nedan.

Tabell G 1. Begränsningar för lokalens geometri vid simulering i CFAST

Acceptabelt	Särskild hänsyn bör tas i följande fall
längd/bredd < 3	3 < längd/bredd < 5
längd/höjd < 3	3 < längd/höjd < 6
bredd/höjd > 0,4	0,2 < bredd/höjd < 0,4

(Peacock et al. 2005)

FDS

FDS är en CFD-modell och används för att simulera hur brandgaser och värme transporteras vid byggnadsbränder. CFD-modeller är fältmodeller, vilket innebär att utrymmet delas upp i celler där temperatur och andra variabler räknas ut för varje cell och beräkningar görs utifrån en enklare form av Navier-Stokes flödesdynamiska ekvationer. Modellen kan även ta hänsyn till turbulenta gasflöden som ofta förekommer i rumsbränder. För att beräkna turbulens i FDS används LES. Vid simulering av bränder i komplexa byggnader med exempelvis snedtak, icke-rektangulär geometri, atrier och liknande ger CFD-modellen bättre resultat än många andra enklare modeller (Nystedt, Frantzich 2011). I simuleringarna i rapporten har FDS version 5 använts och för att se det visuella resultatet har programmet Smokeview använts.

Storleken på cellerna i en FDS-modell är en av de viktigaste numeriska parametrarna. Ju mindre celler ju noggrannare resultat fås fram till dess att nodkonvergens uppstår. Detta innebär att cellstorleken inte spelar roll för resultatet. För att beräkna vilken cellstorlek som bör användas i simuleringarna kan ekvationen nedan nyttjas. Ekvation 3 beskriver kopplingen mellan brandens storlek och den mest gynnsamma cellstorleken i FDS (McGrattan et al, 2007).

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} \cdot c_p \cdot T_{\infty} \cdot \sqrt{g}} \right)^{2/5} \quad \text{Ekvation 3}$$

För att få godtagbara resultat bör D^* dividerat med cellstorleken ligga i intervallet:

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

Detact-T2

Detact-T2 är ett program som används för att bestämma aktiveringstider för värmedetektorer och sprinkler placerade under tak. Programmet kan endast användas vid beräkning av aktiveringstid för maximalvärmedetektorer och sprinkler givet effektutveckling enligt en αt^2 -kurva. Vid användning av Detact-T2 antas att detektorn eller sprinklerhuvudets känselement endast värms upp av brandgaserna som flödar och det tas inte hänsyn till de brandgaser som eventuellt ansamlas (Nilsson och Holmstedt, 2008). Detact-T2 beaktar inte transporttiden som det tar för gaserna att färdas från branden upp till taket och programmet antar platta, horisontella tak (DiNenno, 2002).

I en värmedetektor eller sprinkler finns ett känselement som värms upp då varma brandgaser strömmar förbi. Känselementet kommer inte att anta gasernas temperatur omedelbart utan värms upp successivt. Denna termiska tröghet kan uttryckas med ett RTI-värde. De indataparametrar som krävs för att använda programmet är takhöjden, det radiella avståndet från branden till detektorn eller sprinklern, aktiveringstemperaturen, RTI-värdet och effektutvecklingen från branden. Vid användning av Detact-T2 bestäms aktiveringstiden, temperaturen i takstrålen och känselementets temperatur som funktion av tiden (Nilsson och Holmstedt, 2008).

Bilaga H: Scenario I – Garderob

Nedan presenteras handberäkningar bakom effektkurvan för brand i garderob samt ventilationskontroll.

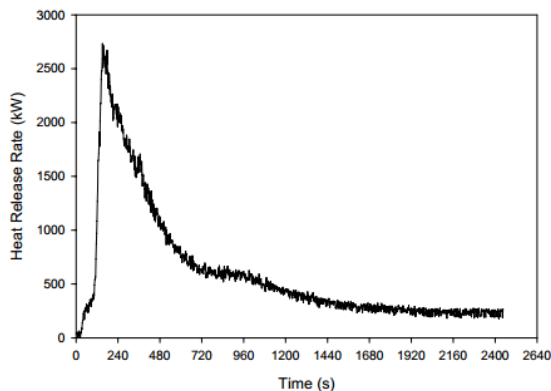
Effektkurva

I följande avsnitt beräknas effektkurvan. Beräkningarna tar ingen hänsyn till avsvalningsfasen eftersom utrymningen anses vara avslutad innan avsvalningsfasen börjar.

Antaganden

- Inget ingripande görs av personal eller besökare
- Brandförloppet antas motsvara en αt^2 -kurva
- Det tas ingen hänsyn till förbrinntiden
- En vinterjacka väger 1 kg
- Garderoben rymmer 300 jackor

Den totala massan av jackor i garderoben är 300 kg. Från tidigare experiment utförda av *National Research Council Canada* har effektkurvan i Figur H 1 tagits fram då 70,88 kg jackor brinner (Bwalya, Zalok, Hadjisophocleous. 2007). I försöket hänger jackorna på galgar på två fristående klädstänger. Denna uppställning kan liknas vid garderobens uteseende i Kulturhuset förutom att det förekommer fler stänger.



Figur H 1. Effekttutveckling för jackor enligt experiment (Bwalya, Zalok, Hadjisophocleous. 2007)

Resultatet av försöket presenteras även i Tabell H 1 nedan.

Tabell H 1. Resultat av experiment vid förbränning av jackor

Massa [kg]	70,88
Brinntid [s]	2460
Maximal effekt [kW]	2732
Tid till maximal effekt [s]	152

(Bwalya, Zalok, Hadjisophocleous. 2007)

Utifrån detta kan en tillväxthastighet uppskattas enligt följande ekvation.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad \text{Ekvation 5 (Karlsson, Quintiere 2000)}$$

$$\alpha = \frac{\dot{Q}}{t^2} = \frac{2732}{152^2} = 0,1182 \text{ kW/s}^2$$

Detta motsvarar ett ultrasnabbt brandförlopp.

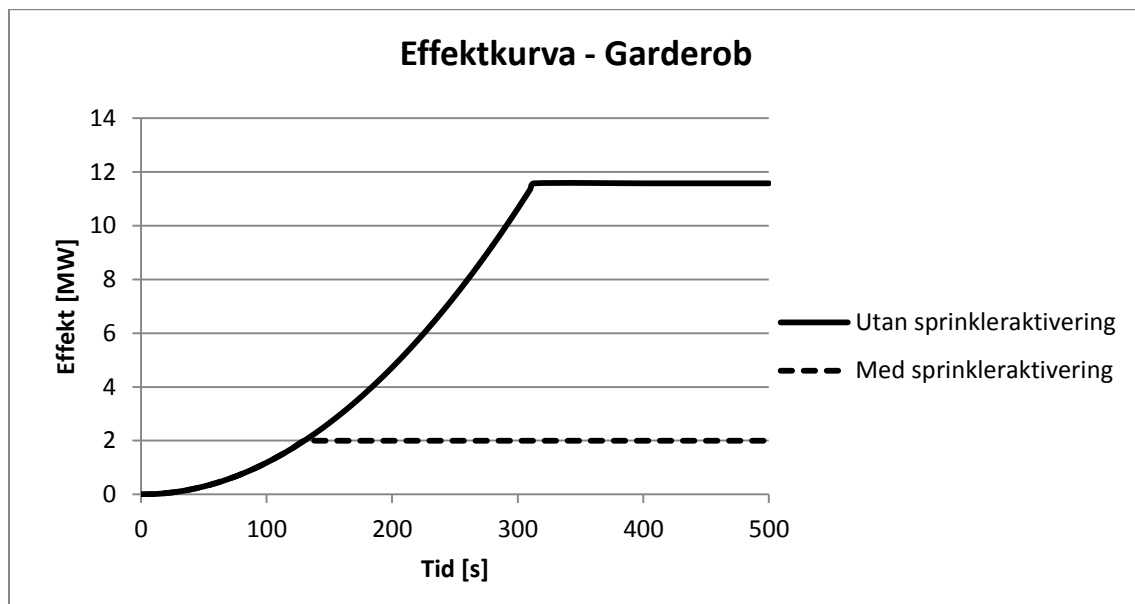
Den maximala effekten för 70,88 kg jackor är 2732 kW (Bwalya, Zalok, Hadjisophocleous. 2007). Utifrån detta beräknas den maximala effekten för 300 kg jackor till cirka 11,6 MW. Denna linjära approximation bedöms vara möjlig att göra då försökupställningen är så pass lik Kulturhusets garderob samt att omslutningsarean och syretillförseln kan bedömas likartad relativt sett. Vid beräkningar antas alla klädstänger brinna samtidigt vilket anses konservativt. Spridning mellan stängerna anses ske fort då de hänger nära varandra och därav anses antagandet inte vara allt för konservativt.

$$\dot{Q} = \frac{300}{70,88} \cdot 2732 = 11\,563,2 \text{ kW}$$

Tiden det tar att nå 11 563,2 kW med tillväxthastigheten 0,1182 kW/s² blir

$$t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \frac{11563,2}{0,1182} = 312,8 \text{ s}$$

Effektutveckling för garderobsbranden presenteras i Figur H 2.



Figur H 2. Diagram för effektutvecklingen i garderoben

Den maximala effekten blir alltså 11,6 MW efter drygt fem minuter.

Enligt simuleringar sker sprinkleraktivering innan branden når den maximala effekten och effekten antas då bli konstant och ingen hänsyn tas till om de släcker eftersom förhållandena vid den maximala effekten är av intresse (Staffansson, 2010). Den maximala effekten blir då cirka 2 MW vid tiden två minuter.

Ventilationskontroll

Garderoben är belägen i anslutning till foajén där det är stora öppna utrymmen. Utifrån detta görs den kvalitativa bedömningen att det finns tillräckligt med syre för att branden ska kunna förbli bränslekontrollerad.

Bilaga I: Scenario II – Publikdel vid stora teatern

Nedan presenteras handberäkningar bakom effektkurvan för brand i publikdelen vid stora teatern samt ventilationskontroll.

Effektkurva

I följande avsnitt beräknas effektkurvan. Beräkningarna tar ingen hänsyn till avsvalningsfasen eftersom utrymningen anses vara avslutad innan avsvalningsfasen börjar.

Antaganden

- Brandförloppet antas motsvara en αt^2 -kurva
- Ingen hänsyn tas till förbrinntiden
- Inget ingripande görs av personal eller besökare

Vid beräkningar av maximal effekt i den publika delen används det bränslepaket som har snabbast tillväxthastighet. Den branden antas starta i mixerbord och sprida sig till fyra intilliggande stolar. Mixerbord skulle även kunna motsvara ljudanläggning eller annan elektronik.

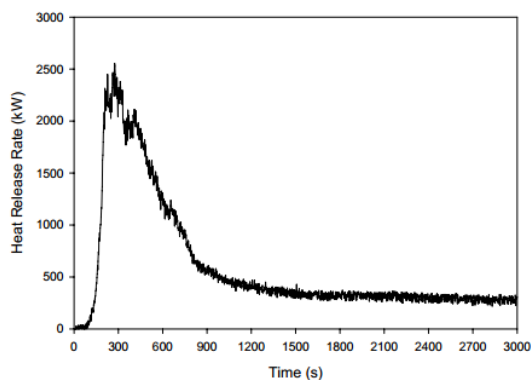
Tillväxthastigheten på mixerbord beräknas utifrån försök gjorda av *National Research Council Canada* på datorplats (Bwalya, Zalok, Hadjisophocleous. 2007). I försöksuppställningen var två datorer placerade på var sitt skrivbord med respektive stoppad kontorstol. På skrivbordet fanns även skrivare och klädesplagg hängde på stolarna.

Resultatet från försöken presenteras i Tabell I 1 och Figur I 1 nedan.

Tabell I 1. Resultat av experiment vid förbränning av datorplats

Massa [kg]	60,38
Brinntid [s]	3540
Maximal effekt [kW]	2553
Tid till maximal effekt [s]	275

(Bwalya, Zalok, Hadjisophocleous. 2007)



Figur I 1. Effektkurva för datorplats enligt experiment (Bwalya, Zalok, Hadjisophocleous, 2007)

Utifrån nedanstående ekvation beräknas tillväxthastigheten.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad \text{Ekvation 5 (Karlsson, Quintiere, 2000)}$$

$$\alpha = \frac{\dot{Q}}{t^2} = \frac{2553}{275^2} = 0,0338 \text{ kW/s}^2$$

Tillväxthastigheten motsvarar ett snabbt brandförlopp ($\alpha=0,047 \text{ kW/s}^2$).

Branden sprider sig till stolar vid en strålningsintensitet på 15 kW/m^2 (Chen, 2001). Att spridning sker underbyggs med beräkningar för radiell flamspridning.

$$\dot{q}'' = \frac{\chi_r \cdot \dot{Q}}{4 \cdot \pi \cdot R_0^2} \quad \text{Ekvation 6 (Karlsson, Quintiere, 2000)}$$

Ekvationen bygger på ett antagande om en cirkulär brand. Det begränsningar som finns för ekvationen är följande:

- Ekvationen bygger på en punktkälla, vilket är en förenklad modell av en pölbrand.
- Fraktionen av total energi som strålar är den viktigaste parametern. Denna är bränsleberoende.
- Ekvationen underskattar den infallande strålningen på korta avstånd.
- Modellen fungerar sämre då strålningen är 5 kW/m^2 eller mer. Detta indikerar att den inte är det bästa valet när antändning ska tas i beaktande.
- Modellen av en punktkälla är inom 5 % av den uppmätta strålningen då $L/D > 2,5$.
- Antagandet av en punktkälla är korrekt på långa avstånd från branden.

(Fleury. 2010)

Trots ovanstående begränsningar har ändå modellen använts med medvetenhet om dess osäkerheter. Andra strålningsmodeller utgår från temperaturen vilket är en ännu större osäkerhet.

Avståndet till närmaste framförvarande stol anges till 1 meter. För strålningsfraktionen används det konservativa värdet 0,3 i följande beräkningar (Staffansson, 2010). Den kritiska strålningen sätts till 15 kW/m^2 (Chen, 2001).

$$\dot{Q} = \frac{15 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 1^2}{0,3} = 628 \text{ kW}$$

Tiden till spridning beräknas utifrån den kritiska effekten för spridning samt brandens tillväxthastighet.

$$t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{628}{0,034}} = 136 \text{ s}$$

Branden kommer spridas till framförvarande stol efter 136 sekunder och därefter spridas vidare till de två intilliggande stolarna. Effekten som krävs för vidare spridning beräknas med samma ekvation med ett avstånd på 0,1 meter.

$$\dot{Q} = \frac{15 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 0,1^2}{0,3} = 6,3 \text{ kW}$$

Tiden till spridning beräknas utifrån den kritiska effekten för spridning samt brandens tillväxthastighet som för stolarna, vilka är flamskyddade, är 0,012 kW/s² (Hall, 1999).

$$t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{6,3}{0,012}} = 23 \text{ s}$$

De närmaste intilliggande stolarna beräknas antända efter cirka 23 sekunder. Stolen framför antas också antända och detta sker vid en effekt på startstolen på cirka 100 kW utifrån ekvationen nedan.

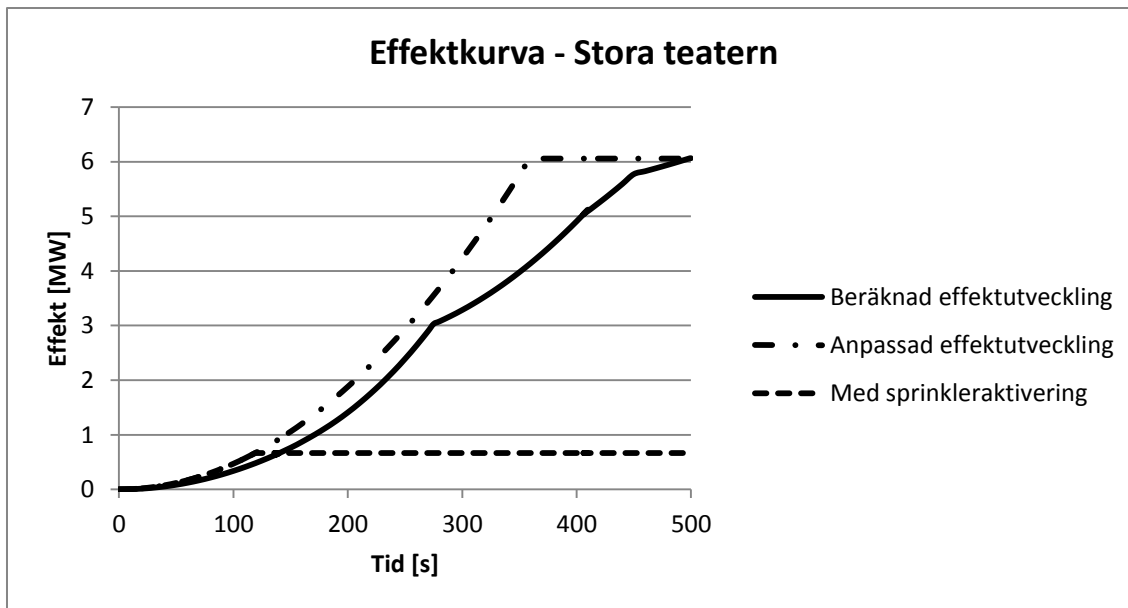
$$\dot{Q} = \frac{15 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 0,4^2}{0,3} = 100,5 \text{ kW}$$

Tiden till spridning beräknas utifrån den kritiska effekten för spridning samt brandens tillväxthastighet.

$$t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{100,5}{0,012}} = 92 \text{ s}$$

Stolen framför börjar brinna efter cirka 92 sekunder.

Effekten för en stol som är flamskyddad är 872 kW (Hall, 1999) och utifrån det och beräkningar ovan tas en effektkurva fram för brandscenario i publikdelen i teatern. Den maximala effekten som uppnås är cirka 6,1 MW och kurvan presenteras i Figur I 2 nedan. Den punkt-streckade kurvan i digrammet motsvara en tillväxtfas som täcker in det valda brandscenariot och har en tillväxthastighet som är snabb tillväxtfas, alltså $\alpha=0,047 \text{ kW/s}^2$. Den maximala effekten uppnås efter cirka 400 sekunder. Den streckade kurvan visar effektkurvan vid sprinkleraktivering. Aktivering sker efter cirka 119 sekunder enligt FDS-simulering och stabiliserar då effekten vid cirka 0,7 MW. Sprinklerberäkningarna bygger på att sprinklerna stabiliserar effekten och ingen hänsyn tas till om de släcker, eftersom det är förhållandena vid den maximala effekten som är av intresse (Staffansson, 2010).



Figur I 2. Diagram för effektutvecklingen i stora teatern

Ventilationskontroll

För att kontrollera om branden är bränslekontrollerad under de tidiga delarna av brandförloppet görs beräkningar på mängden syre som finns i rummet initialt och därmed antas det att inget syre tillförs. Luften i rummet antas innehålla 23 massprocent syre och det antas brinna ner till 10 massprocent syre. Luftens densitet sätts till $1,2 \text{ kg/m}^3$. Rumsvolymen vid stora teatern är 1706 m^3 .

Den massa syre som kan förbrännas i utrymmet vid stora teatern beräknas till:

$$m_{\text{syre}} = V_{\text{rum}} \cdot \text{mass}\%_{\text{syre}} \cdot \rho_{\text{luft}} \quad \text{Ekvation 7 (Staffansson, 2010)}$$

$$m_{\text{syre}} = 1706 \cdot (0,23 - 0,10) \cdot 1,2 = 266,2 \text{ kg}$$

För att förbränna ett kilogram syre krävs det 13,1 MJ. Detta ger att energiinnehållet i rummet blir:

$$Q = 13,1 \cdot 266,2 = 3487,0 \text{ MJ}$$

Tiden som branden är bränslekontrollerad bestäms utifrån följande samband:

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} \quad \text{Ekvation 8}$$

Tiden löses ut och den maximala effekten för stora teatern är 6,1 MW vilket ger tiden:

$$t = \frac{3487,0}{6,1} = 571,6 \text{ sekunder} \approx 9,5 \text{ minuter}$$

Brandförloppet kommer att vara bränslekontrollerat i 9,5 minuter. Detta antar att branden brinner med sin maxeffekt under hela tiden, vilket inte är fallet under tillväxtfasen. Konsekvensen av detta är att branden kan antas vara bränslekontrollerad ytterligare en period.

Bilaga J: Scenario III – Lilla scenen

Nedan presenteras handberäkningar bakom effektkurvan för brand vid lilla scen samt ventilationskontroll.

Effektkurva

I följande avsnitt beräknas effektkurvan. Beräkningarna tar ingen hänsyn till avsvalningsfasen eftersom utrymningen anses vara avslutad innan avsvalningsfasen börjar.

Antaganden

- Brandförloppet antas motsvara en αt^2 -kurva
- Inget ingripande görs av personal eller besökare
- Det tas ingen hänsyn till förbrinntiden

Beräkningar

Utifrån tänkbara bränslepaket som till exempel brand i stolarna, rekvisita, mixerbord eller kablar är det brand i mixerbordet som ger den snabbaste tillväxthastigheten. Därför kommer effektkurvan för lilla scen att utgå från detta bränslepaket och därefter spridas till intilliggande stolar. Om brand skulle uppstå i annan del täcks utrymnings säkerheten upp av den framtagna effektkurvan.

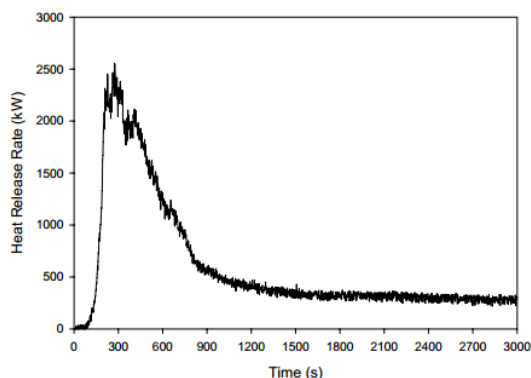
Tillväxthastigheten för mixerbord beräknas utifrån försök gjorda av *National research council Canada* (Bwalya, Zalok, Hadjisophocleous. 2007) på en datorplats. I försöksupställningen var två datorer placerade på var sitt skrivbord med respektive stoppad kontorstol. På skrivbordet fanns även skrivare och klädesplagg hängde på stolarna.

Resultatet från försöken presenteras i Tabell J 1 och Figur J 1 nedan.

Tabell J 1. . Resultat av experiment vid förbränning av datorplats

Massa [kg]	60,38
Brinntid [s]	3540
Maximal effekt [kW]	2553
Tid till maximal effekt [s]	275

(Bwalya, Zalok, Hadjisophocleous. 2007)



Figur J 1. Effekttutveckling för datorplats enligt experiment (Bwalya, Zalok, Hadjisophocleous, 2007)

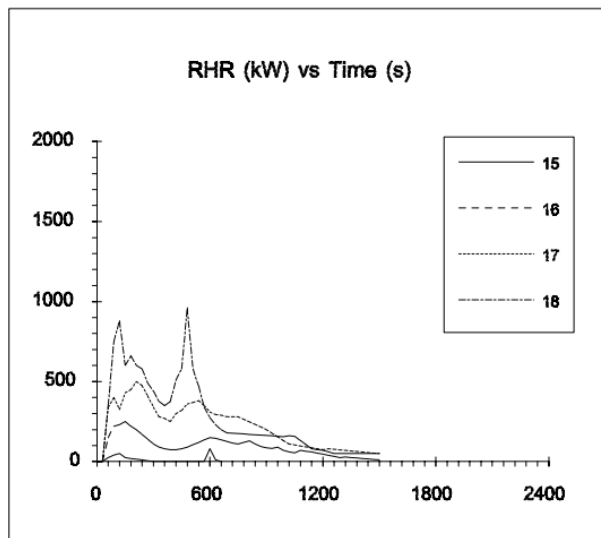
Utifrån nedanstående ekvation beräknas tillväxthastigheten.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad \text{Ekvation 5 (Karlsson, Quintiere 2000)}$$

Vilket ger tillväxthastigheten

$$\alpha = \frac{\dot{Q}}{t^2} = \frac{2553}{275^2} = 0,0338 \text{ kW/s}^2$$

Stolarna vid lilla scen antas brinna på samma sätt som stolarna i försöket från *Initial fires* (Särdqvist, 1993) och effektkurvan ses i Figur J 2 nedan. Stolarna består av metall med en mindre stoppad dyna och ryggstöd.



Figur J 2. Effekttutveckling för stolar enligt experiment

Utifrån Figur J 2 kan en tillväxthastighet beräknas med ekvationen nedan.

$$\alpha = \frac{\dot{Q}}{t^2} = \frac{50}{120^2} = 0,0035 \text{ kW/s}^2$$

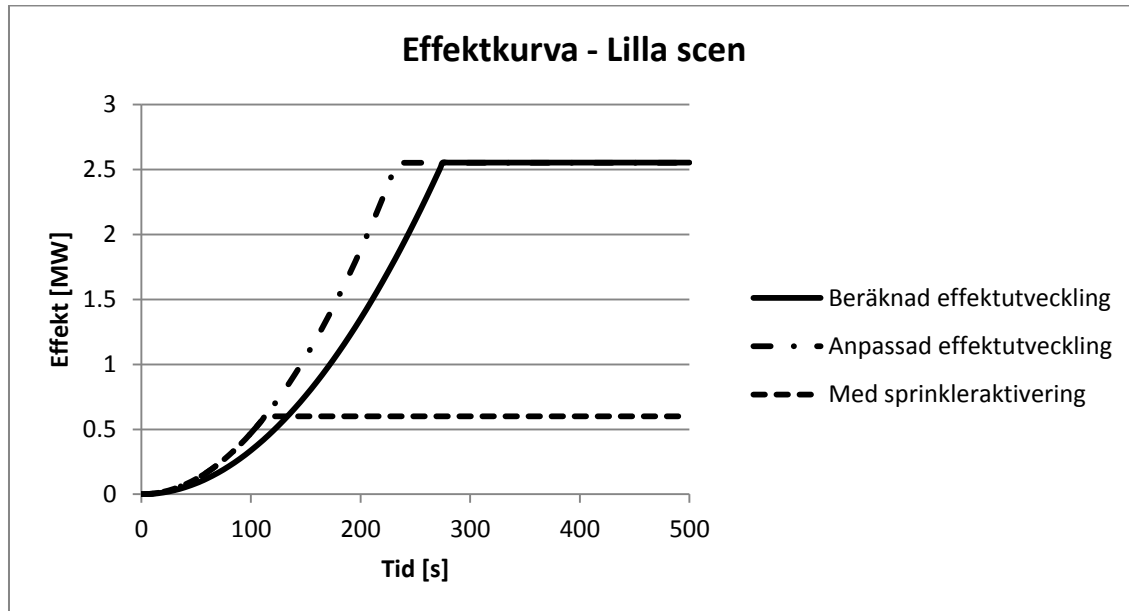
Denna tillväxthastighet är långsam och då effekttutvecklingen från stolarna inte kommer göra att ett snabbt brandförlopp överskrids kommer en effektkurva över mixerbordet endast presenteras.

Brandförloppet för enbart mixerbordet avtar fort enligt resultatet från försöket. Dock har spridning skett till intilliggande material vilket gör att effektkurvan antas hålla samma maximala nivå. Detta eftersom det är främst stolar som står intill mixerbordet och dessa har en liten brandbelastning. Därför antas inte den totala effekten under utrymningstiden bli högre efter att branden i mixerbordet har avtagit.

Den heldragna kurvan i Figur J 3 motsvarar en beräknad effekttutveckling och den punkt-streckade kurvan är en förenklad tillväxtfas med en snabb tillväxthastighet på $0,047 \text{ kW/s}^2$. Den streckade kurvan visar effektkurvan vid sprinkleraktivering, som enligt FDS-simulering aktiveras efter 113 sekunder. Den maximala effekten utan sprinkler blir 2,5 MW efter cirka 4 minuter.

Om sprinkleranläggningen aktiveras kommer det ske innan maximal effekt uppnås.

Sprinklerberäkningarna bygger på att sprinklerna stabiliserar effekten och ingen hänsyn tas till om de släcker eftersom det är förhållandena vid den maximala effekten som är av intresse (Staffansson, 2010). Den maximala effekten blir då cirka 0,6 MW.



Figur J 3. Diagram för effektutvecklingen i lilla scenen

Ventilationskontroll

För att kontrollera om branden är bränslekontrollerad under de tidiga delarna av brandförloppet görs beräkningar på mängden syre som finns i rummet initialt och därmed antas det att inget syre tillförs. Luften i rummet antas innehålla 23 massprocent syre och det antas brinna ner till 10 massprocent syre. Luftens densitet sätts till $1,2 \text{ kg/m}^3$. Rumsvolymen vid lilla scen är 702 m^3 , vilket inte inkluderar luften i de angränsande utrymmen som lilla scenen har öppen geometri mot.

Den massa syre som kan förbrännas i utrymmet vid lilla scenen beräknas till:

$$m_{\text{syre}} = V_{\text{rum}} \cdot \text{mass}\%_{\text{syre}} \cdot \rho_{\text{luft}} \quad \text{Ekvation 7}$$

$$m_{\text{syre}} = 702 \cdot (0,23 - 0,10) \cdot 1,2 = 109,5 \text{ kg}$$

För att förbränna ett kilogram syre krävs det 13,1 MJ. Detta ger att energiinnehållet i rummet blir:

$$Q = 13,1 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 109,5 \text{ kg} = 1434,8 \text{ MJ}$$

Tiden som branden är bränslekontrollerad bestäms utifrån följande samband:

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} \quad \text{Ekvation 8}$$

Där tiden löses ut:

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}}$$

Den maximala effekten för lilla scenen är 2,6 MW vilket ger tiden:

$$t = \frac{1434,8}{2,6} = 551,8 \text{ sekunder} \approx 9,2 \text{ minuter}$$

Brandförloppet kommer att vara bränslekontrollerat i 9,4 minuter. Vid beräkningarna antas branden ha maxeffekt under hela tiden vilket inte är fallet under tillväxtfasen. Konsekvensen av detta är att branden kan antas vara bränslekontrollerad ytterligare en period.

Bilaga K: Scenario IV – Bibliotek

Nedan presenteras handberäkningar bakom effektkurvan för brand i bibliotek samt ventilationskontroll.

Effektkurva

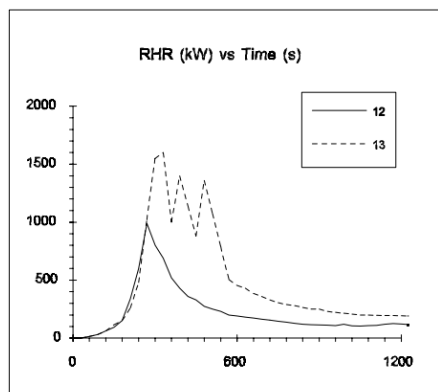
I följande avsnitt beräknas effektkurvan. Beräkningarna tar ingen hänsyn till avsvalningsfasen eftersom utrymningen anses vara avslutad innan avsvalningsfasen börjar.

Antaganden

- Bokhyllorna på biblioteket antas motsvara kontorshyllor, välfyllda med papper och böcker
- Brandförloppet antas motsvara en αt^2 -kurva
- Det tas ingen hänsyn till förbrinntiden
- Ingen hänsyn tas till förbrinntiden

Beräkningar

Från *Intital fires* (Särdqvist 1993) finns data för två hyllor med måtten 0,91 x 0,46 x 1,8 m. Hyllornas brandförlopp motsvarar graf nummer 12 i Figur K 1 nedan.



Figur K 1. Effektkurva för hyllor enligt experiment (Särdqvist, 1993)

Den maximala effekten för hyllorna är 1 MW vilket nås efter tiden 300 sekunder. Brandförloppen antas vara αt^2 -kurvor där effektkurvan kan beräknas enligt:

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad \text{Ekvation 5 (Karlsson, Quintiere 2000)}$$

Vilket ger att tillväxthastigheten kan beräknas enligt:

$$\alpha = \frac{\dot{Q}}{t^2} = \frac{1000}{300^2} = 0,0111 \text{ kW/s}^2$$

Detta motsvarar ett brandförlopp motsvarande medium, $\alpha=0,012 \text{ kW/s}^2$ (Karlsson, Quintiere 2000).

Hyllorna från försöket har höjden 1,8 meter vilket är i samma storleksordning som höjden på hyllorna i biblioteket. Den totala arean för den branden från försöket blir:

$$A_{\text{hyllor från försök}} = 2 \cdot 0,91 \cdot 0,46 = 0,8372 \text{ m}^2$$

Hyllorna i biblioteket har arean 5,4 x 0,7 meter. Spridning till intilliggande hyllor antas vara rimligt då halva hyllan brinner på grund av effekten och flammhöjden vid denna tid. Det motsvarar en area av branden på:

$$A_{\text{halv hylla}} = \frac{5,4 \cdot 0,7}{2} = 1,89 \text{ m}^2$$

Detta motsvarar en area som är 2,3 gånger större än den som användes i testet i Figur K 1. Den linjära skalningen anses vara rimlig då ytorna på hyllorna som är exponerade för syre blir ungefär densamma relativt sett. I övrigt är också konfigurationen snarlik försöksupställningen. Detta resulterar i en effekt på:

$$\dot{Q} = 2,3 \cdot 1 = 2,3 \text{ MW}$$

Avståndet till intilliggande bokhylla är 1,5 meter på båda sidorna vilket innebär att när en bokhylla brinner uppstår spridning till nästa hylla på både höger och vänster sida samt resterande del av den brinnande hyllan. Att spridning sker underbyggs med beräkningar för radiell flamspridning.

$$\dot{q}'' = \frac{\chi_r \cdot \dot{Q}}{4 \cdot \pi \cdot R_0^2} \quad \text{Ekvation 6 (Karlsson, Quintiere 2000)}$$

Ekvationen bygger på flera antaganden som presenteras i Bilaga I: Scenario II – Publikdel vid stora teatern. Dessa antaganden visar på en viss ogiltighet. Trots detta används ekvationen då den anses mest representativ i detta fall.

Eftersom bokhyllorna till viss del består av trä och att böcker antas antända vid ungefär samma strålning som trä används den kritiska strålningen för trä som är 12,5 kW/m² (Drysdale 2012). Med den strålningen på avståndet 1,5 meter måste branden uppnå effekten 1178 kW för att spridas. Fraktionen av total energi som strålar varierar mellan 0,15 för bränslen som sotar lite till 0,60 för mycket sotande bränslen. Det konservativa värdet 0,3 används i följande beräkningar (Staffansson 2010).

$$\dot{Q} = \frac{12,5 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 1,5}{0,3} = 1177,5 \text{ kW}$$

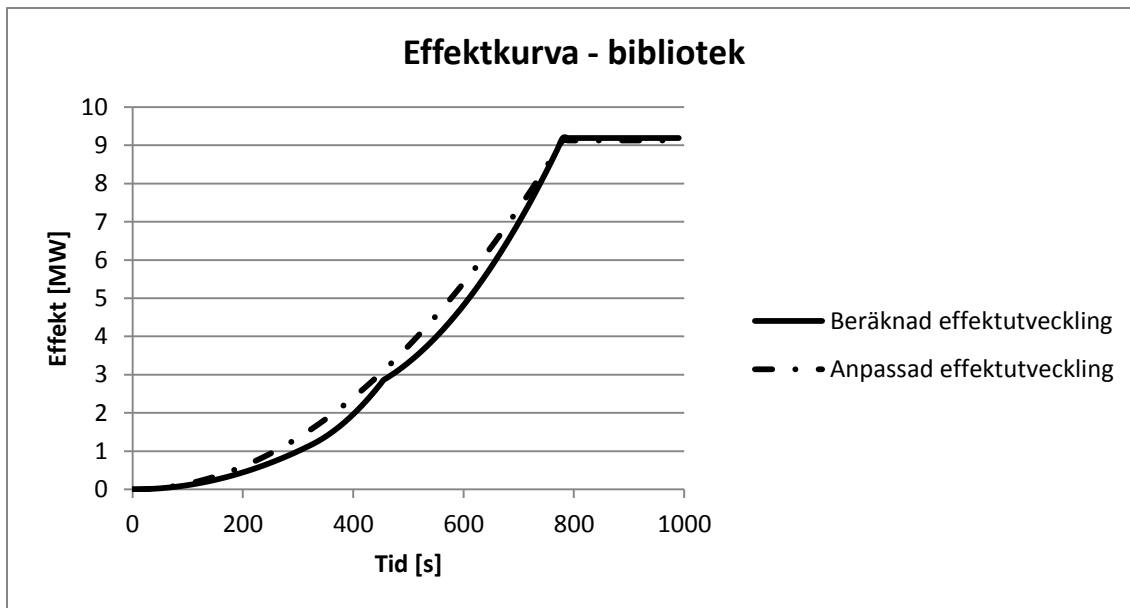
Tiden till spridning beräknas utifrån den kritiska effekten för spridning samt brandens tillväxthastighet.

$$t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \frac{1177,5}{0,0111} = 325,7 \text{ s}$$

Spridningen börjar alltså efter drygt fem och en halv minut.

Vid tiden 326 sekunder nås kritisk effekt för spridning och därför antas intilliggande hyllor antändas. Den totala effekten då hyllan där branden startade brinner samt delar av de intilliggande blir 9,2 MW.

Den heldragna kurvan i Figur K 2 motsvarar effektutvecklingen med spridning. Den punkt-streckade kurvan är en förenklad tillväxtfas med en medelsnabb tillväxthastighet på 0,012 kW/s².



Figur K 2. Diagram för effektutvecklingen i biblioteket

Den maximala effekten blir drygt 9 MW vilket nås efter cirka 13 minuter.

Ventilationskontroll

För att kontrollera om branden är bränslekontrollerad under de tidiga delarna av brandförloppet görs beräkningar på mängden syre som finns i rummet initialt. Luften i rummet antas innehålla 23 massprocent syre och det antas brinna ner till 10 massprocent syre. Luftens densitet sätts till 1,2 kg/m³. Rumsvolymen för biblioteket är 6502 m³, vilket inte inkluderar luften i atriet utan det förutsätts att hela biblioteket har den lägre takhöjden 2,7 meter.

Den massa syre som kan förbrännas i utrymmet vid lilla scenen beräknas till:

$$m_{\text{syre}} = V_{\text{rum}} \cdot \text{mass}\%_{\text{syre}} \cdot \rho_{\text{luft}} \quad \text{Ekvation 7}$$

$$m_{\text{syre}} = 6502 \cdot (0,23 - 0,10) \cdot 1,2 = 1014,2 \text{ kg}$$

För att förbränna ett kilogram syre krävs det 13,1 MJ. Detta ger att energiinnehållet i rummet blir:

$$Q = 13,1 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 1014,2 \text{ kg} = 13286,7 \text{ MJ}$$

Tiden som branden är bränslekontrollerad bestäms utifrån följande samband:

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} \quad \text{Ekvation 8}$$

Där tiden löses ut

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}}$$

Den maximala effekten för lilla scenen är 9,2 MW vilket ger tiden:

$$t = \frac{13286,7}{9,2} = 1445,6 \text{ sekunder} \approx 24 \text{ minuter}$$

Brandförloppet kommer att vara bränslekontrollerat i 24 minuter. Detta antar att branden brinner med sin maxeffekt under hela tiden, vilket inte är fallet under tillväxtfasen. Konsekvensen av detta är att branden kan antas vara bränslekontrollerad ytterligare en period. Det finns även större tillgång på syre än beräknat eftersom luften i atriet inte räknats med vilket ger ännu längre tid som branden är bränslekontrollerad.

Bilaga L: Strålning

Strålning förekommer både från flaman samt brandgaslagret. Nedan följer beräkningarna av strålning.

Strålning från flamma

För att beräkna flamhöjden används Heskestads ekvation, som utgår från förhållandet mellan effekten och diametern på branden (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$L = 0,235 \cdot \dot{Q}^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot D \quad \text{Ekvation 9}$$

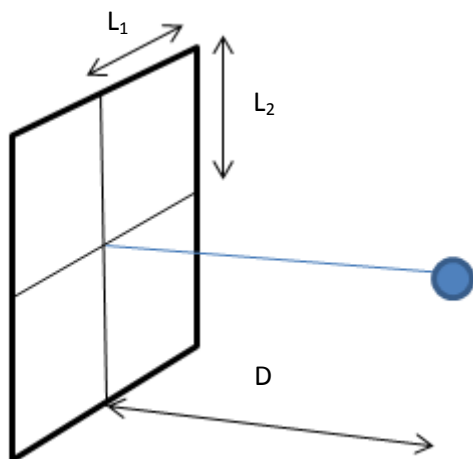
Ekvationen är giltig om $1 < \dot{Q}^* < 100$, som kan beräknas med ekvationen nedan (Karlsson & Quintiere, 2000). Ett ogiltigt värde på \dot{Q}^* innebär att flamhöjden kan bli missvisande. Dock är detta den enda kända ekvationen för flamhöjd och används ändå med vetskap om dess osäkerheter.

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} \cdot c_p \cdot T_{\infty} \cdot \sqrt{g \cdot D} \cdot D^2} \quad \text{Ekvation 10}$$

Flamhöjden används för att beräkna strålningen från flaman.

Ett av kriterierna när kritiska förhållanden för utrymning inträffar är när personen utsätts för en strålning av 10 kW/m^2 eftersom personer är i rörelse under utrymningen. Detta kriterium kontrolleras med hjälp av strålningsberäkning utifrån "platta till punkt"-modellen. Modellen innebär att flaman approximeras till en rektangulär platta, vilket är en svaghet för modellen då branden ofta är turbulent och därmed varierar ytan. En synfaktor bestäms som är den del av plattans strålning som träffar punkten. Plattan delas in i fyra lika stora rektanglar, vilket medför att synfaktorn multipliceras med fyra för att få den totala synfaktorn. Den parameter i ekvationen som påverkar mest är temperaturen då denna är upphöjd till en faktor fyra, som är ytterligare en svaghet hos modellen.

Figur L 1 nedan visar uppställningen för beräkning av synfaktorn.



Figur L 1. Förklaring av parametrar för beräkning av synfaktor

För att beräkna synfaktorn används ekvationen nedan.

$$S = \frac{L_1}{L_2} \quad \text{Ekvation 11}$$

$$\alpha = \frac{L_1 \cdot L_2}{D^2} \quad \text{Ekvation 12}$$

Utifrån S och α bestäms en synfaktor ur Tabell L 1 nedan som är ett utdrag från *An Introduction to Fire Dynamics* (Drysdale, 2011).

Tabell L 1. Tabell för beräkning av synfaktor

α	S = 0,9	S = 0,8	S = 0,6	S = 0,5	S = 0,4	S = 0,3
0,3	0,068	0,068	0,067	0,065	0,063	0,059
0,2	0,051	0,051	0,049	0,048	0,047	0,045
0,1	0,028	0,028	0,028	0,028	0,027	0,026
0,09	0,026	0,026	0,025	0,025	0,025	0,024

De antaganden som görs i strålningsberäkningarna från flamma är:

- Endast strålning från flamma
- Temperatur = 1073 K. Temperaturen i flambasen är strax under 1173 K. Dock används en medeltemperatur för flammen och därför antas en något lägre temperatur (Babrauskas, 2006)
- Emissivitet = 1,0 (Brandskyddshandboken, 2012)

Ekvationen som används för att beräkna strålningen från flammen beskrivs nedan.

$$\dot{q}'' = \phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad \text{Ekvation 13 (Drysdale, 2011)}$$

Scenario I - Garderob

Resultat enligt Bilaga Q: Utrymning visar att den längsta utrymningstiden vid garderoben är 255 sekunder. Istället för att använda den maximala effekten används den effekt branden uppnått vid tiden 270 sekunder, för att få en säkerhetsmarginal, för att beräkna flammans höjd som sedan används i strålningsekvationen. Den kritiska strålningen är 10 kW/m^2 och beräkningar görs för att beräkna vilket avstånd en person måste befinna sig på för att utsättas för denna strålningsnivå.

För att kontrollera giltighet används ekvation 10 med en omgivningstemperatur på 293 K, densitet på $1,2 \text{ kg/m}^3$, specifika värmekapaciteten $1,0 \text{ J/kgK}$ och en effekt på 8671 kW . Brandens diameter beräknas utifrån en area på 20 m^2 till en diameter på $5,05 \text{ m}$.

$$\dot{Q}^* = \frac{8671}{1,2 \cdot 1 \cdot 293 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 5,05 \cdot 5,05^2}} = 0,14$$

Ett värde på $0,14$ för \dot{Q}^* innebär att ekvationen för flammhöjd inte är giltig. Trots detta används ekvationen med vetskap kring dessa osäkerheter.

$$L = 0,235 \cdot 7990^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot 5,05 = 3,7 \text{ m}$$

Flambredden antas vara 10 meter.

$$S = \frac{1,84}{5,0} = 0,37 \approx 0,4$$

$$10000 = \phi \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4$$

$$\phi = 0,133$$

Divideras den totala synfaktorn med fyra fås synfaktorn för en rektangel fram.

$$\phi_{\text{rektangel}} = \frac{0,133}{4} = 0,033$$

Utifrån synfaktorn och S tas ett värde på α från Tabell L 1 som sedan används för att beräkna avståndet för att påverkas av den kritiska strålningen. Då $0,033$ hamnar mellan två värden interpoleras α -värdet $0,1368$ fram.

$$0,1368 = \frac{1,84 \cdot 5}{D^2}$$

$$D = 7,8 \text{ m}$$

Ett avstånd på minst åtta meter krävs för att inte utsättas för kritisk strålning.

I garderoben finns en automatisk vattensprinkleranläggning installerad och om den aktiveras kommer effekten att stabiliseras enligt Figur H 2 vid cirka 2 MW . Utifrån effekten och brandarea på 5 m^2 beräknas ett nytt avstånd som krävs för att inte utsättas för en strålning på 10 kW/m^2 .

$$L = 0,235 \cdot 1997^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot 2,52 = 2,3 \text{ m}$$

Flambredden antas vara 3 meter.

$$S = \frac{1,17}{1,5} = 0,78 \approx 0,8$$

$$10000 = \phi \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4$$

$$\phi = 0,133$$

Divideras den totala synfaktorn med fyra fås synfaktorn för en rektangel fram.

$$\phi_{rektangel} = \frac{0,133}{4} = 0,033$$

Utifrån synfaktorn och S tas ett värde på α från Tabell L 1 som sedan används för att beräkna avståndet för att påverkas av den kritiska strålningen. Då 0,33 hamnar mellan två värden interpoleras α -värdet 0,123 fram.

$$0,123 = \frac{1,17 \cdot 1,5}{D^2}$$

$$D = 3,8 \text{ m}$$

Ett avstånd på minst fyra meter krävs för att inte utsättas för kritisk strålning. Detta avstånd är ungefär hälften av det avstånd som krävs om sprinkler ej aktiveras.

Scenario II – Publikdel stora teatern

Med hjälp av Simulex har flera utrymningssituationer med olika fördelningar mellan populationer och utrymningsvägar simulerats vilka kan ses i Bilaga Q: Utrymning. Utifrån varje simulering beräknas en förflyttningstid och utifrån denna beräknas en utrymningstid enligt avsnitt 5.

I detta scenario har standardavståndskartan använts, vilket betyder att personerna väljer den närmaste utgången. Personerna är utplacerade proportionellt på parkett och balkong beroende på fördelning av sittplatser.

Av simuleringarna framgår att utrymningstiden för parketten varierar mellan 112 och 203 sekunder. På balkongen varierar utrymningstiden mellan 106 och 169 sekunder. Detaljerade utrymningstider för varje simulering i Simulex presenteras i Bilaga Q: Utrymning.

Med hjälp av Simulex har flera utrymningssituationer med olika fördelningar mellan populationer och utrymningsvägar simulerats vilka kan ses i Bilaga Q: Utrymning. Utifrån varje simulering beräknas en förflyttningstid och utifrån denna beräknas en utrymningstid enligt avsnitt 5.

I detta scenario har standardavståndskartan använts, vilket betyder att personerna väljer den närmaste utgången. Personerna är utplacerade proportionellt på parkett och balkong beroende på fördelning av sittplatser.

Av simuleringarna framgår att utrymningstiden för parketten varierar mellan 112 och 203 sekunder. På balkongen varierar utrymningstiden mellan 106 och 169 sekunder. Detaljerade utrymningstider för varje simulering i Simulex presenteras i Bilaga Q: Utrymning.

Resultatet visar att den längsta utrymningstiden vid teatern är 203 sekunder. Istället för att använda maximala effekten används den effekt branden uppnått vid tiden 270 sekunder, för att få en säkerhetsmarginal från det att utrymning är avklarad, för att beräkna flammans höjd som sedan används i strålningsekvationen. Den kritiska strålningen är 10 kW/m^2 och beräkningar görs för att ta reda på vilket avstånd en person kan befinna sig på för att utsättas för den strålningen. För att kontrollera giltighet används ekvation 10 med en omgivningstemperatur på 293 K, densitet $1,2 \text{ kg/m}^3$, specifika värmekapaciteten $1,0 \text{ J/kgK}$ och effekten 3426 kW . Brandens diameter beräknas utifrån en area på 7 m^2 till en diameter på $2,99 \text{ m}$.

$$\dot{Q}^* = \frac{3426}{1,2 \cdot 1 \cdot 293 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 2,99 \cdot 2,99^2}} = 0,20$$

Ett värde på $0,20$ för \dot{Q}^* innebär att ekvationen för flamhöjd inte är giltig. Trots detta används ekvationen med vetskap kring dessa osäkerheter.

$$L = 0,235 \cdot 3426^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot 2,99 = 3,1 \text{ m}$$

Flambredden antas vara $2,6$ meter.

$$S = \frac{1,32}{1,52} = 0,87 \approx 0,9$$

$$10000 = \phi \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4$$

$$\phi = 0,133$$

Divideras den totala synfaktorn med fyra fås synfaktorn för en rektangel fram.

$$\phi_{rektangel} = \frac{0,133}{4} = 0,033$$

Utifrån synfaktorn och S tas ett värde på α från Tabell L 1 som sedan används för att beräkna avståndet för att påverkas av den kritiska strålningen. Då 0,033 hamnar mellan två värden interpoleras α -värdet 0,122 fram.

$$0,123 = \frac{1,52 \cdot 1,32}{D^2}$$

$$D = 4,1m$$

Ett avstånd på minst fem meter krävs för att inte utsättas för kritisk strålning.

Vid stora teatern finns en automatisk vattensprinkleranläggning installerad och om den aktiveras kommer effekten att stabiliseras, enligt Figur I 2 vid cirka 0,7 MW. Utifrån den effekten och brandarea på 1,5 m² beräknas ett nytt avstånd som krävs för att inte utsättas för en strålning på 10 kW/m².

$$L = 0,235 \cdot 666^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot 1,38 = 1,8 m$$

Flambredden antas vara 1 meter.

$$S = \frac{0,5}{0,88} = 0,57 \approx 0,6$$

$$10000 = \phi \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4$$

$$\phi = 0,133$$

Divideras den totala synfaktorn med fyra fås synfaktorn för en rektangel fram.

$$\phi_{rektangel} = \frac{0,133}{4} = 0,033$$

Utifrån synfaktorn och S tas ett värde på α från Tabell L 1 som sedan används för att beräkna avståndet för att påverkas av den kritiska strålningen. Då 0,033 hamnar mellan två värden interpoleras α -värdet 0,124 fram.

$$0,124 = \frac{0,5 \cdot 0,88}{D^2}$$

$$D = 1,9 m$$

Ett avstånd på minst två meter krävs för att inte utsättas för kritisk strålning.

Scenario III – Lilla scen

Resultat från Bilaga Q: Utrymning visar att den längsta utrymningstiden vid lilla scen är 133 sekunder. Den effekt branden uppnått vid tiden 230 sekunder används, för att få en säkerhetsmarginal från det att utrymning är avklarad, för att beräkna flammans höjd som sedan används i strålningsekvationen. Vid denna tid har maximala effekten uppnåtts. Den kritiska strålningen är 10 kW/m^2 och beräkningar görs för att ta reda på vilket avstånd en person kan befinna sig på för att utsättas för den strålningen.

För att kontrollera giltighet används ekvation 10 med en omgivningstemperatur på 293 K, densitet på $1,2 \text{ kg/m}^3$, specifika värmekapaciteten $1,0 \text{ J/kgK}$ och en effekt på 2486 kW. Brandens diameter beräknas utifrån en area på 3 m^2 till en diameter på 1,95 m.

$$\dot{Q}^* = \frac{2486}{1,2 \cdot 1 \cdot 293 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 1,95 \cdot 1,95^2}} = 0,42$$

Ett värde på 0,42 för \dot{Q}^* är något för lågt vilket betyder att ekvationen 9 för flammhöjd inte är giltig. I brist på annan metod används ekvation 9 ändå för beräkning av flammhöjd ändå med vetenskap om att det finns osäkerheter.

$$L = 0,235 \cdot 2486^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot 1,95 = 3,4 \text{ m}$$

Flambredden antas vara 3 meter.

$$S = \frac{1,5}{1,68} = 0,89 \approx 0,9$$

$$10000 = \phi \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4$$

$$\phi = 0,133$$

Divideras den totala synfaktorn med fyra fås synfaktorn för en rektangel fram.

$$\phi_{\text{rektangel}} = \frac{0,133}{4} = 0,033$$

Utifrån synfaktorn och S tas ett värde på α från Tabell L 1 som sedan används för att beräkna avståndet för att påverkas av den kritiska strålningen. Då 0,033 hamnar mellan två värden interpoleras α -värdet 0,122 fram.

$$0,122 = \frac{1,5 \cdot 1,68}{D^2}$$

$$D = 4,9 \text{ m}$$

Ett avstånd på minst fem meter krävs för att inte utsättas för kritisk strålning.

Vid lilla scen finns en automatisk vattensprinkleranläggning installerad och om den aktiveras kommer effekten att stabiliseras, enligt Figur J 3, vid cirka 0,6 MW. Utifrån den effekten och brandarea på 1 m^2 beräknas ett nytt avstånd som krävs för att inte utsättas för en strålning på 10 kW/m^2 .

$$L = 0,235 \cdot 600^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot 1,13 = 1,9 \text{ m}$$

Flambredden antas vara 3 meter.

$$S = \frac{0,5}{0,94} = 0,53 \approx 0,5$$

$$10000 = \phi \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4$$

$$\phi = 0,133$$

Divideras den totala synfaktorn med fyra fås synfaktorn för en rektangel fram.

$$\phi_{rektangel} = \frac{0,133}{4} = 0,033$$

Utifrån synfaktorn och S tas ett värde på α från Tabell L 1 som sedan används för att beräkna avståndet för att påverkas av den kritiska strålningen. Då 0,033 hamnar mellan två värden interpoleras α -värdet 0,125 fram.

$$0,125 = \frac{0,5 \cdot 0,94}{D^2}$$

$$D = 1,9 \text{ m}$$

Ett avstånd på minst två meter krävs för att inte utsättas för kritisk strålning.

Scenario IV - Bibliotek

Resultat från Bilaga Q: Utrymning visar att den längsta utrymningstiden vid biblioteket är 318 sekunder. Istället för att använda maximala effekten används den effekt branden uppnått vid tiden 350 sekunder för att beräkna flammans höjd som sedan används i strålningsekvationen. Den kritiska strålningen är 10 kW/m^2 och beräkningar görs för att ta reda på vilket avstånd en person kan befinna sig på för att utsättas för den strålningen.

För att kontrollera giltighet används ekvation 10 med en omgivningstemperatur på 293 K, densitet på $1,2 \text{ kg/m}^3$, specifika värmekapaciteten $1,0 \text{ J/kgK}$ och en effekt på 1837 kW. Brandens diameter beräknas utifrån en area på $3,7 \text{ m}^2$ till en diameter på 2,18 m.

$$\dot{Q}^* = \frac{1837}{1,2 \cdot 1 \cdot 293 \cdot \sqrt{9,81} \cdot 2,18 \cdot 2,18^2} = 0,24$$

Ett värde på 0,24 för \dot{Q}^* innebär att ekvationen för flammhöjd inte är giltig. Trots detta används ekvationen med vetskap kring dessa osäkerheter.

$$L = 0,235 \cdot 1837^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot 2,18 = 2,5 \text{ m}$$

Flambredden antas vara 2,7 meter.

$$S = \frac{1,27}{1,35} = 0,94 \approx 0,9$$

$$10000 = \phi \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4$$

$$\phi = 0,133$$

Divideras den totala synfaktorn med fyra fås synfaktorn för en rektangel fram.

$$\phi_{\text{rektangel}} = \frac{0,133}{4} = 0,033$$

Utifrån synfaktorn och S tas ett värde på α från Tabell L 1 som sedan används för att beräkna avståndet för att påverkas av den kritiska strålningen. Då 0,033 hamnar mellan två värden interpoleras α -värdet 0,122 fram.

$$0,122 = \frac{1,27 \cdot 1,35}{D^2}$$

$$D = 3,7 \text{ m}$$

Ett avstånd på minst fyra meter krävs för att inte utsättas för kritisk strålning.

Strålning från brandgaslager

Utrymningsituationen kan påverkas av strålning från brandgaslager. Strålningen beror på temperaturen i brandgaserna. Genom att lösa ut temperaturen i ekvation 13 kan den temperatur i brandgaslagret som orsakar kritisk strålningsnivå beräknas. Ekvationen som används presenteras nedan.

$$T = \sqrt[4]{\frac{\dot{q}''}{\phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma}}$$

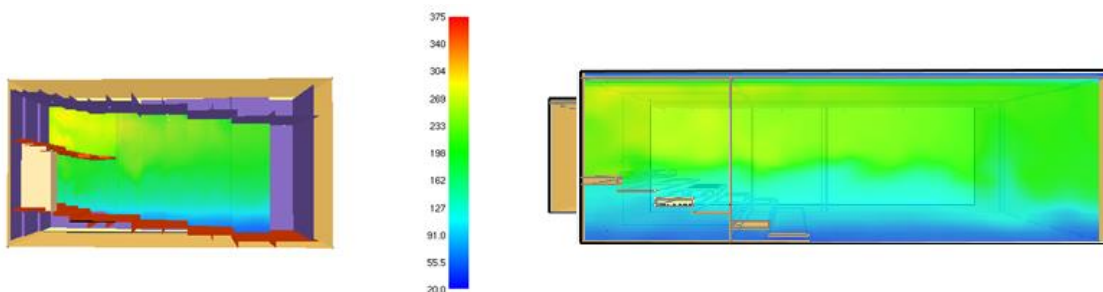
Antaganden:

- Emissiviteten =1 (Brandskyddshandboken, 2012)
- Synfaktor=1, vilket är ett konservativt värde och används för att täcka in hela takytan på ett nära avstånd.
- Kritisk strålningsnivå= 10 kW/m²

$$T = \sqrt[4]{\frac{10000}{1 \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}}} = 648,0 \text{ K} = 375 \text{ } ^\circ\text{C}$$

För att det ska uppstå kritiska strålningsnivåer krävs en temperatur på 375 °C i brandgaslagret.

Det anses kräva en så hög temperatur på brandgaslagret att det inte hinner påverka personerna i något scenario innan utrymning är slutförd. Figur L 2 nedan visar brandgastemperaturen vid stora och lilla scen utan sprinkleraktivering efter avklarad utrymning. Figurerna visar att brandgaserna inte når en temperatur som ger kritiska strålningsnivåer.



Figur L 2. Temperatur brandgaslager vid stora teatern och lilla scen vid slutförd utrymning

Bilaga M: Brandgaslager

Metoden för att beräkna brandgaslagrets höjd bygger på antaganden att brandgaser inte ventileras ut och att gaserna har en konstant densitet. Denna metod lämpar sig för beräkningar i stora utrymmen i förhållande till brandens effektutveckling så att temperaturhöjningen i brandgaslaget kan betraktas som relativt liten. Fördelen med att anta konstant densitet för gaserna är att effektutvecklingen kan förändras över tiden. Ekvation 15 används för att beräkna brandgaslagrets höjd vid olika tidpunkter och ekvation 14 för att få fram ett värde på k (Karlsson, Quintiere, 2000).

$$k = \frac{0,21}{\rho_g} \cdot \left(\frac{\rho_\infty^2 \cdot g}{c_p \cdot T_\infty} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ekvation 14}$$

$$z = \left(k \cdot \frac{\alpha^{\frac{1}{3}}}{s} \cdot \frac{2t^{(1+\frac{n}{3})}}{n+3} + \frac{1}{H^{\frac{2}{3}}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad \text{Ekvation 15}$$

För att kontrollera värdet på ρ_g används ekvation 16.

$$\rho_g = \rho_\infty \cdot \left(1 - \frac{\alpha t^{n+1}}{(n+1) \cdot (H-z) \cdot s \cdot c_p \cdot 353} \right) \quad \text{Ekvation 16}$$

Då ekvationen inte tar hänsyn till värmeförluster till vägg- och takmaterial väljs en tid som inte är allt för långt in i brandförloppet (Karlsson & Quintiere, 2000).

Beräkningsgången för att få fram brandgaslagrets höjd är följande:

- Gissa ett värde på ρ_g . Det bör vara ett värde i närheten av 1,0.
- Beräkna konstanten k med ekvation 14.
- Beräkna z med ekvation 15.
- Verifiera ρ_g med ekvation 16. Om det inte stämmer överrens börja om beräkningar från början men annat värde på ρ_g .

(Karlsson & Quintiere, 2000)

Scenario I - Garderob

Värden som använts för beräkning av brandgaslagrets höjd i ekvation 15-17 presenteras i Tabell M 1.

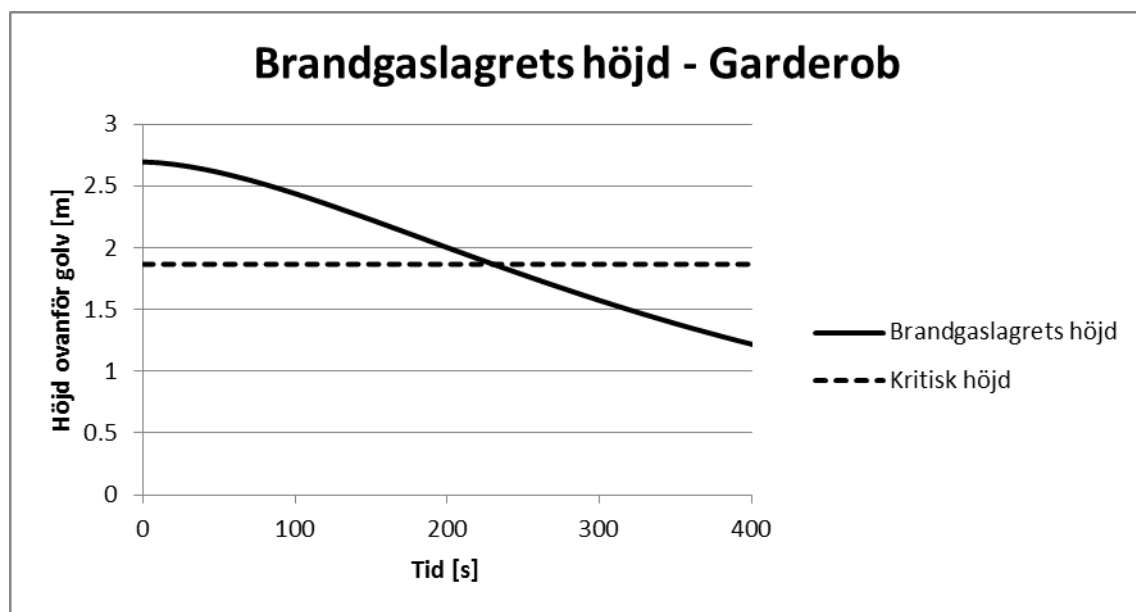
Tabell M 1. Värden på parametrar för beräkning av brandgaslagrets höjd i garderoben

Beteckning	Värde
ρ_g	1 kg/m ³ (Karlsson, Quintiere, 2000).
ρ_∞	1,2 kg/m ³ (Karlsson, Quintiere, 2000).
g	9,81 m/s ² (Karlsson, Quintiere, 2000).
c_p	1 kJ/kgK (Karlsson, Quintiere, 2000).
T_∞	293 K
α	0,1182 kW/s ²
S	314 m ²
t	0-400 s
n	2
H	2,7 m

Värdena för S är golvytan i alla tre rum som igår i garderoben och H är en medeltakhöjd för rummen. En översikt över geometrin som beräkningar utgår ifrån visas i Figur 11.

$$k = \frac{0,21}{1} \cdot \left(\frac{1,2^2 \cdot 9,81}{1 \cdot 293} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,076$$

Beräkningar av brandgaslagrets höjd i förhållande till tid utifrån ekvation 15 presenteras i Figur M 1.



Figur M 1. Diagram över brandgaslagrets höjd i garderoben

Verifiering av ρ_g med ekvation 16 beräknas vid en tid på 100 sekunder.

$$\rho_g = 1,2 \cdot \left(1 - \frac{0,1182 \cdot 100^{2+1}}{(2+1) \cdot (5,85 - 4,96) \cdot 902 \cdot 1 \cdot 353} \right) = 1,03 \text{ kg/m}^3$$

Värdet på ρ_g anses tillräckligt nära 1,0 som var det värde som ansattes i början av beräkningar för att beräkningarna ska anses vara giltiga.

Diagrammet visar att kritiska förhållanden inträffar efter cirka 220 sekunder. Dock har inte hänsyn tagits till de utflöden till foajén som existerar i verkligheten. CFAST-simuleringarnas resultat visade att kritiska förhållanden inte uppstår gällande höjd på brandgaslagret. Brandgaslagrets höjd anses därför inte utgöra någon risk för att kritiska förhållanden uppnås i garderoben.

Scenario II – Publikdel stora teatern

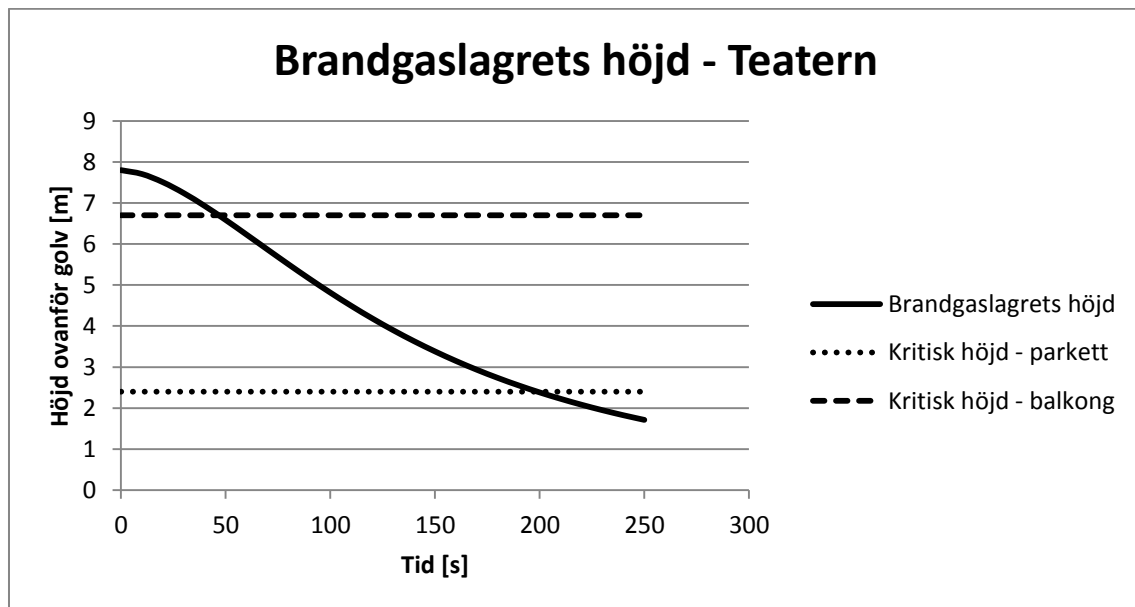
Värden som använts för beräkning av brandgaslagrets höjd med ekvation 15-17 presenteras i Tabell M 2.

Tabell M 2. Värden på parametrar för beräkning av brandgaslagrets höjd i stora teatern

Beteckning	Värde
ρ_g	1 kg/m ³ (Karlsson, Quintiere, 2000).
ρ_∞	1,2 kg/m ³ (Karlsson, Quintiere, 2000).
g	9,81 m/s ² (Karlsson, Quintiere, 2000).
c_p	1 kJ/kgK (Karlsson, Quintiere, 2000).
T_∞	293 K
α	0,047 kW/s ²
S	218,8 m ²
t	0-300 s
n	2
H	7,8 m

$$k = \frac{0,21}{1} \cdot \left(\frac{1,2^2 \cdot 9,81}{1 \cdot 293} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,076$$

Beräkningar av brandgaslagrets höjd i förhållande till tid utifrån ekvation 15 presenteras i Figur M 2.



Figur M 2. Diagram över brandgaslagrets höjd i stora teatern

Verifiering av ρ_g med ekvation 16 beräknas vid en tid på 100 sekunder.

$$\rho_g = 1,2 \cdot \left(1 - \frac{0,047 \cdot 100^{2+1}}{(2+1) \cdot (7,8 - 4,81) \cdot 245 \cdot 1 \cdot 353} \right) = 1,13 \text{ kg/m}^3$$

Värdet på ρ_g ligger något över 1,0 som var det värde som ansattes i början av beräkningar, dock anses värdet vara tillräckligt nära för att beräkningarna ska anses vara giltiga. Den procentuella skillnaden på 13 % kan ändå anses påtaglig. Dock används beräkningarna endast för viss validering av simuleringar vilket gör att den procentuella skillnaden inte anses alltför stor.

Diagrammet i Tabell M 2. Värden på parametrar för beräkning av brandgaslagrets höjd i stora teatern visar att kritiska förhållanden för personer på balkongen inträffar efter 50 sekunder och personer på publikdel efter cirka 200 sekunder. Tiden till kritiska förhållanden beräknade med CFAST för personer på balkongen är cirka 30 sekunder och personer på publikdel är cirka 240 sekunder. Värdena skiljer sig något åt och då kritiska förhållanden med avseende på brandgaslagrets höjd inträffar mycket snabbt för personer som vistas på balkongen kommer simulering i FDS göras.

Scenario III - Lilla scen

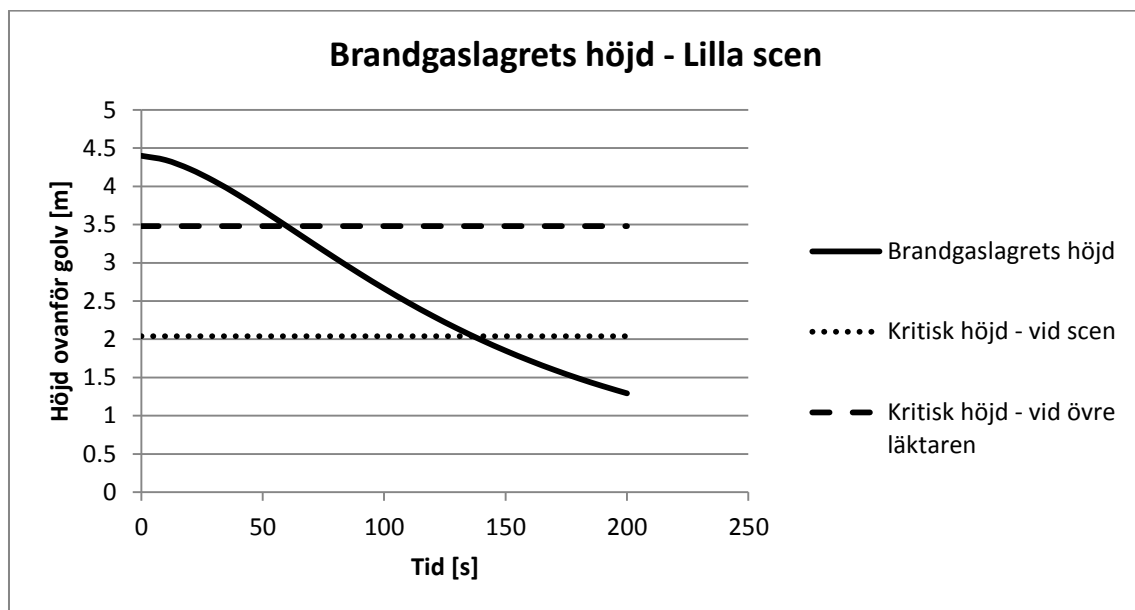
Värden som använts för beräkning av brandgaslagrets höjd i ekvation 15-17 presenteras i Tabell M 3.

Tabell M 3. Värden på parametrar för beräkning av brandgaslagrets höjd i lilla scenen

Beteckning	Värde
ρ_g	1 kg/m ³ (Karlsson, Quintiere, 2000).
ρ_∞	1,2 kg/m ³ (Karlsson, Quintiere, 2000).
g	9,81 m/s ² (Karlsson, Quintiere, 2000).
c_p	1 kJ/kgK (Karlsson, Quintiere, 2000).
T_∞	293 K
α	0,047 kW/s ²
S	159,6 m ²
t	0-200 s
n	2
H	4,4 m

$$k = \frac{0,21}{1} \cdot \left(\frac{1,2^2 \cdot 9,81}{1 \cdot 293} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,076$$

Beräkningar av brandgaslagrets höjd i förhållande till tid utifrån ekvation 15 presenteras i Figur M 3.



Figur M 3. Diagram över brandgaslagrets höjd i lilla scenen

Verifiering av ρ_g med ekvation 16 beräknas vid en tid på 100 sekunder.

$$\rho_g = 1,2 \cdot \left(1 - \frac{0,047 * 100^{2+1}}{(2 + 1) \cdot (4,4 - 2,66) \cdot 159,6 \cdot 1 \cdot 353} \right) = 1,008 \text{ kg/m}^3$$

Värdet på ρ_g ligger tillräckligt nära 1,0 som var det värde som ansattes i början av beräkningar, för att beräkningarna ska anses vara giltiga.

Diagrammet i Figur M 3 visar att kritiska förhållanden vid scen uppstår efter cirka 140 sekunder och vid övre läktaren efter cirka 60 sekunder. Simuleringarna i CFAST visar att kritisk höjd vid lilla scen inträffar efter cirka 120 sekunder, dock är medeltemperaturen 105 °C vid den tidpunkten. Därför görs även simuleringar i FDS, för att undersöka när kritiska förhållanden inträffar.

Scenario IV - Bibliotek

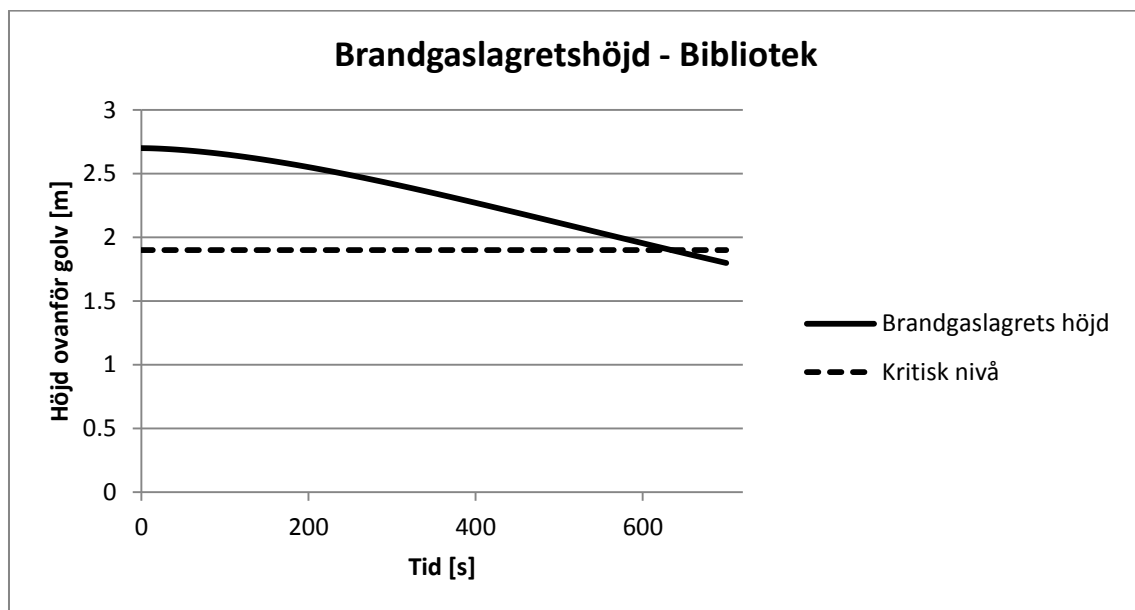
Värden som använts för beräkning av brandgaslagrets höjd i ekvation 15-17 presenteras i Tabell M 4.

Tabell M 4. Värden på parametrar för beräkning av brandgaslagrets höjd i biblioteket

Beteckning	Värde
ρ_g	1 kg/m ³ (Karlsson, Quintiere, 2000).
ρ_∞	1,2 kg/m ³ (Karlsson, Quintiere, 2000).
g	9,81 m/s ² (Karlsson, Quintiere, 2000).
c_p	1 kJ/kgK (Karlsson, Quintiere, 2000).
T_∞	293 K
α	0,012 kW/s ²
S	2408 m ²
t	0-720 s
n	2
H	2,7 m

$$k = \frac{0,21}{1} \cdot \left(\frac{1,2^2 \cdot 9,81}{1 \cdot 293} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,076$$

Beräkningar av brandgaslagrets höjd i förhållande till tid utifrån ekvation 15 presenteras i Figur M 4.



Figur M 4. Diagram över brandgaslagrets höjd i biblioteket

Verifiering av ρ_g med ekvation 16 beräknas vid en tid på 100 sekunder.

$$\rho_g = 1,2 \cdot \left(1 - \frac{0,012 \cdot 100^{2+1}}{(2+1) \cdot (2,7 - 2,6515) \cdot 2408 \cdot 1 \cdot 353} \right) = 1,08 \text{ kg/m}^3$$

Värdet på ρ_g ligger tillräckligt nära 1,0, som var det värde som ansattes i början av beräkningar, för att beräkningarna ska vara giltiga.

Simuleringar från CFAST visar att brandgaslagrets höjd når kritisk nivå vid 240 sekunder, dock är temperaturen endast 30 °C vid denna tid. I diagrammet i Figur M 4 kan utläsas att den kritiska nivån nås vid cirka 600 sekunder och simuleringarna visar att brandgaslagrets temperatur vid samma tidpunkt är 80°C vilket stämmer överens med handberäkningarna. Brandgaslagrets höjd anses därför inte utgöra någon risk för kritiska förhållanden uppnås i biblioteket.

Bilaga N: CFAST-simuleringar

Samtliga brandscenarier simuleras i CFAST för att kontrollera vilka scenarier som riskerar att ge kritiska förhållanden vid utrymning. De scenarier där risk för kritiska förhållanden anses föreligga enligt CFAST kommer att simuleras i FDS för att få en bättre bild av brandförloppet.

CFAST

I de scenarier som byggts upp nedan är inte alltid programmet giltigt utifrån Tabell G 1. Trots detta kommer resultatet användas för att avgöra i vilka scenarier det riskerar att bli kritiska förhållanden under utrymning. Detta anses vara ett acceptabelt användningsområde trots begränsningarna eftersom inga exakta värden kommer att användas för att bedöma förhållanden utan endast en helhetsbild av miljön i brandrummet kommer att beaktas.

I simuleringarna används brandgaslagrets höjd, sikt och temperatur för att avgöra huruvida kritiska förhållanden uppstår i det aktuella utrymnet. I vissa fall kommer brandgaslagret nå ner till kritisk höjd enligt CFAST och om medeltemperaturen är alltför låg bedöms inte brandgaslagret kunna skada människor på den höjden. Detta eftersom det indikerar på att brandgaslagret inte är så tätt utan väl utblandat med rumsluften vilket också kan bekräftas resultaten gällande sikt. För att beräkna kritisk nivå på brandgaslagret används ekvation 17.

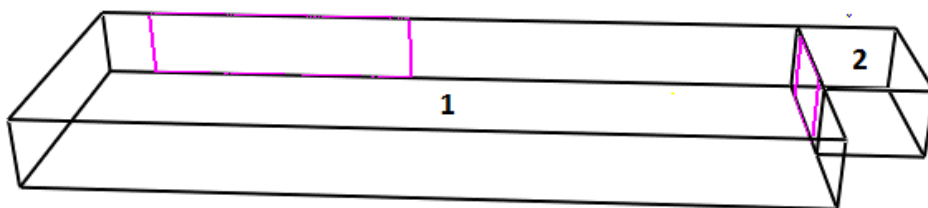
$$\text{Kritisk nivå} = 1,6 + 0,1 \cdot \text{rumshöjd} \quad \text{Ekvation 17 (Boverket II, 2013)}$$

Scenario I - Garderob

Nedan presenteras uppbyggnaden av scenariot i CFAST och resultatet av simuleringen.

Uppbyggnad av scenario

I simuleringarna beaktas endast rum 1, enligt Figur N 1, eftersom det är i denna del människor vistas. Här förvaras även en del av jackorna. Rum 2 utgör utrymme endast avsett för jackor och därför förekommer ett begränsat personantal på denna plats. Den fria öppningen mot omgivningen motsvarar resten av foajén.



Figur N 1. Garderobens geometri för simulering i CFAST

Dimensioner på de olika rummen presenteras i Tabell N 1.

Tabell N 1. Dimensioner för garderobens geometri

Rum	Längd x bredd x höjd [m]
1	29 x 10 x 2,7
2	4 x 6 x 2,7

Geometrins giltighet presenteras i tabellen nedan.

Tabell N 2. Beräkning för kontroll av geometrins giltighet i CFAST för garderoben

Acceptabelt	Beräknat för scenario I – rum 1
längd/bredd < 3	29/10=2,9
längd/höjd < 3	29/2,7=10,7
bredd/höjd > 0,4	10/2,7=3,7

Enligt beräkningarna ovan är geometrin inte giltig gällande förhållandet mellan längd och höjd.

Väggar och tak anges bestå av betong. Eftersom jackor till stor del består av polyester antas det vara materialet som brinner. Indata för polyester presenteras i Tabell N 3 nedan.

Tabell N 3. Polyesters egenskaper för simulering av garderoben i CFAST

Molmassa	0,1016 kg/mol	(DiNenno PJ. 2002)
Förbränningsentalpi	25000 kJ/ kg	(DiNenno PJ. 2002)
Strålningsfraktion	0,44	(Shintani et al. 2014)
H/C	0,16	(standardvärde i CFAST)
Storlek på branden	1 x 1 meter	

Arean på branden som anges i simuleringen är mindre än i brandscenariot. Dock undersöks endast temperatur och höjd på brandgaslagret, som främst beror på effekt och i tabellen beskrivna indata. Därav påverkas inte resultatet av arean på branden.

Brandtillväxten följer de effektkurvor som presenterats under brandscenariot, alltså en αt^2 -kurva med tillväxthastigheten $0,1182 \text{ kW/s}^2$ med respektive maximal effekt, det vill säga med och utan sprinkleraktivering.

Mellan de olika rummen samt ut från rum 1 sätts öppningar för att efterlikna den öppna geometrin och brandgaserna kan röra sig fritt mellan dem. Öppningar utgörs av lila rektanglar i Figur N 1.

Branden placeras intill väggen i rum 1, där jackorna i huvudsak hänger.

För garderoben blir den kritiska höjden enligt ekvation 17:

$$\text{Kritisk nivå} = 1,6 + 0,1 \cdot 2,7 = 1,87 \text{ m} \approx 1,9 \text{ m}$$

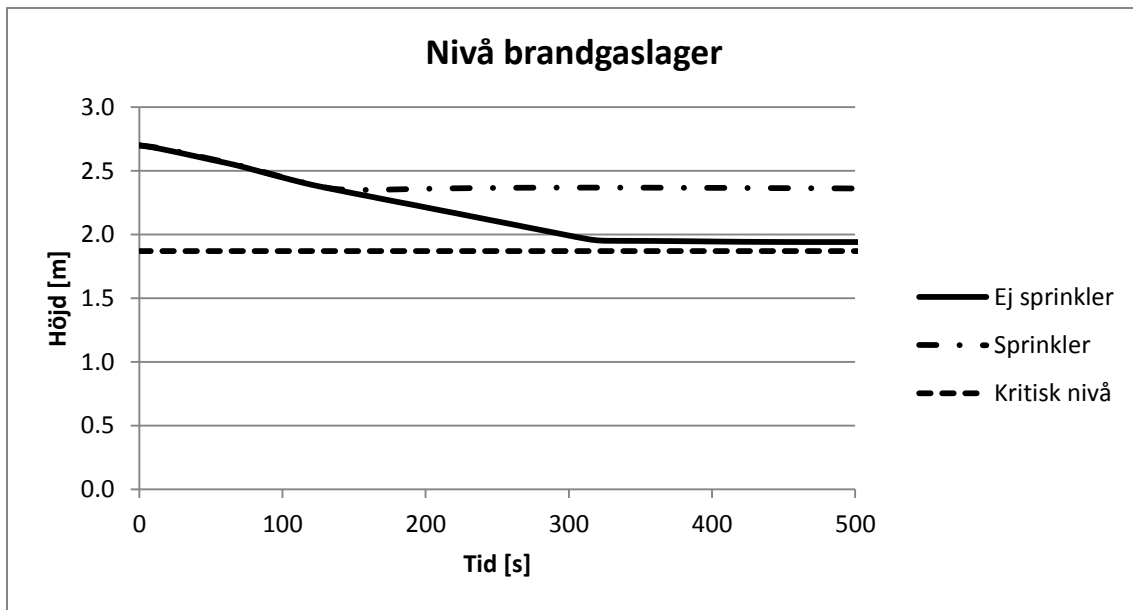
Resultat

Simuleringarna visar att kritiska förhållanden inte uppstår i garderoben eftersom varken brandgaslagret, sikten eller temperaturen når de kritiska nivåerna.

Tabell N 4. Resultat för garderoben enligt simulering i CFAST

Kriterium	Nivå	Tid till kritisk nivå rum 1 [s]
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv	1,9 m	Uppnås ej
2. Sikt två meter ovan golv	1 obscura	Uppnås ej
3. Värmestrålning	Max 10 kW/ m^2	Se Bilaga L: Strålning
4. Temperatur 1,8 m ovan golv	Max 80°C	Uppnås ej
5. Toxicitet	-	-

I diagrammet nedan visas resultaten från simuleringar med och utan sprinkleraktivering.



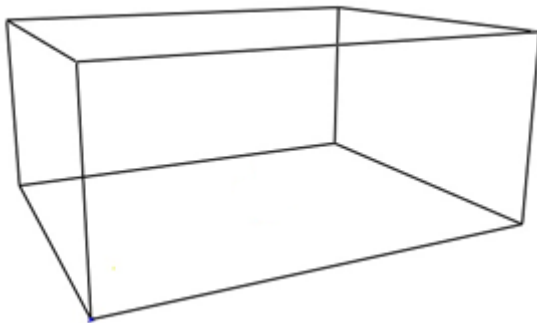
Figur N 2. Brandgaslagrets höjd i garderoben enligt simulering i CFAST

Scenario II – Publikdel stora teatern

Nedan presenteras uppbyggnaden av scenariot i CFAST och resultatet av simuleringen.

Uppbyggnad av scenario

Vid simuleringar antas det att brandjalusiet vid scenen ha fällts ned vilket medför att endast utrymmet där publiken sitter simuleras. Både takhöjden och golvet lutar vilket inte är möjligt att simulera i CFAST på ett verklighetstroget sätt. Konsekvensen av detta är att rummet har förenklats till ett rätblock med en medeltakhöjd. Dock spelar det en liten roll för resultatet eftersom det undersöks kritiska förhållanden som mäts från taket. Därför kan bedömningen göras utifrån olika golvhöjder. Rätblockets mått är 17,5 x 14 x 7,8 m (längd x bredd x höjd).



Figur N 3. Schematisk bild övergeometrin för simulering av stora teatern i CFAST

Väggar och tak anges till betong. Eftersom det mestadels förekommer stolar av typen biofåtöljer anges branden ske i polyuretan. Indata för branden ligger förinlagt för ämnet uretan i CFAST vilket antas vara liknande polyuretan. Indata för simuleringen presenteras i Tabell N 5 nedan.

Tabell N 5. Polyuretans egenskaper för simulering av stora teatern i CFAST

Molmassa	0,0283 kg/mol	(DiNenno PJ. 2002)
Förbränningsentalpi	18100 kJ/ kg	(DiNenno PJ. 2002)
Strålningsfraktion	0,33	(Shintani et al. 2014)
H/C	0,16	(standardvärde i CFAST)
Storlek på branden	1 x 1 meter	

Arean på branden är även i detta fall mindre än i brandscenariot och samma analys på resultatpåverkan görs likt scenario I.

Brandtillväxten följer den effektkurva som presenterats under brandscenariot i Bilaga I: Scenario II – Publikdel vid stora teatern, alltså en αt^2 -kurva med tillväxthastigheten $0,047 \text{ kW/s}^2$.

För stora teatern blir den kritiska höjden för parketten enligt ekvation 17:

$$\text{Kritisk nivå} = 1,6 + 0,1 \cdot 7,8 = 2,38 \text{ m} \approx 2,4 \text{ m}$$

Samt för balkongen:

$$\text{Kritisk nivå} = 1,6 + 0,1 \cdot 3,4 = 1,94 \text{ m} \approx 1,9 \text{ m}$$

Resultat

Resultatet av simuleringen presenteras i Tabell N 6 nedan. I simuleringen har sikten ej kontrollerats eftersom kritiska förhållanden ändå uppnås.

Tabell N 6. Resultat för stora teatern enligt simulering i CFAST

Kriterium	Nivå	Tid till kritisk nivå [s]
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv	1,9 m - balkong	40
	2,4 m - parkett	210
2. Sikt två meter ovan golv	1 obscura	-
3. Värmestrålning	Max 10 kW/ m ²	Se Bilaga L: Strålning
4. Temperatur 1,8 m ovan golv	Max 80°C - balkong	200
	Max 80°C - parkett	200
5. Toxicitet	-	-

Brandgaslagret når den kritiska höjden på balkongen efter 40 sekunder. Dock uppnås inte kritiska nivån för temperaturen för denna del av lokalen. Trots att temperaturen är låg bedöms risk för kritiska förhållanden föreligga eftersom brandgaslagret snabbt når personer på balkongen.

För personer på parketten är risken lägre eftersom tiden till kritiska förhållanden är längre. Dock är temperaturen då hög.

Risk för kritiska förhållanden anses föreligga utifrån simuleringarna i CFAST och simuleringar kommer därför att göras i FDS.

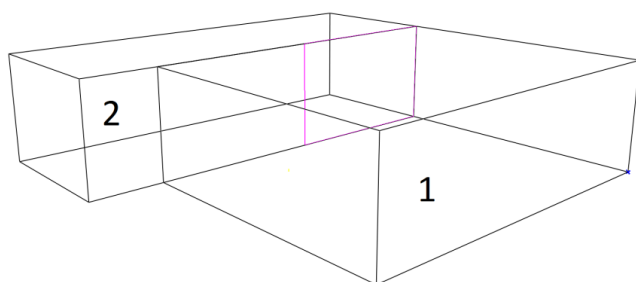
Scenario III – Lilla scen

Nedan presenteras uppbyggnaden av scenariot i CFAST och resultatet av simuleringen.

Uppbyggnad av scenario

Lilla scenen består av ett rum som har en del av väggen öppen mot ett intilliggande rum. Lilla scenen utgör rum 1 i Figur N 4 nedan och det angränsande utrymmet utgör rum 2. Mellan rummen är det öppet innanför den lila markeringen. Utrymning av rum 1 sker främst genom dörrar i samma rum och därför kommer endast kritiska förhållanden tas i beaktande i detta rum. Det anslutande rummet, rum 2, finns främst med i simuleringen för att möjliggöra brandgasspridning mellan rummen.

Scenario III 2018 - 04/27/2011 - 13/2017



Figur N 4. Schematisk bild över geometrin för simulering av lilla scenen i CFAST

Dimensionerna för de olika rummen presenteras Tabell N 7 nedan.

Tabell N 7. Dimensioner för lilla scenens geometri

Rum	Längd x bredd x höjd [m]
1	11 x 14 x 4,4
2	6 x 17 x 4,4

Väggar och tak består av betong i båda rummen. I brandscenariot för lilla scen är det en blandning av mixerbordet och stolar som brinner. Då det endast går att definiera ett bränsle i CFAST har det, liksom för stora teatern, valts att använda polyuretan vilket finns i stolarna. Indata för branden ligger förinlagt för ämnet uretan i CFAST och presenteras i Tabell N 8 nedan.

Tabell N 8. Polyuretans egenskaper för simulering av lilla scenen i CFAST

Molmassa	0,0283 kg/mol	(DiNenno PJ. 2002)
Förbränningsentalpi	18100 kJ/ kg	(DiNenno PJ. 2002)
Strålningsfraktion	0,33	(Shintani et al. 2014)
H/C	0,16	(standardvärde i CFAST)
Storlek på branden	1 x 1 meter	

Arean på branden är även i detta fall mindre än brandscenariot och samma analys på resultatpåverkan görs likt scenario I.

Brandtillväxten följer den effektkurva som presenterats under brandscenariot, alltså en αt^2 -kurva med tillväxthastigheten $0,047 \text{ kW/s}^2$. Simuleringarna görs utan sprinkleraktivering för att undersöka risk för kritiska förhållanden föreligger om sprinklersystemet ej skulle fungera.

Branden placeras i rum 1 vid den ungefärliga plats där mixerbordet och stolarna är belägna.

För lilla scen blir den kritiska höjden för den övre läktaren, mätt från golvet enligt ekvation 17:

$$\text{Kritisk nivå} = 1,6 + 0,1 \cdot (4,4 - 1,6) + 1,6 = 3,48 \text{ m} \approx 3,5 \text{ m}$$

Samt över golvet vid scenen:

$$\text{Kritisk nivå} = 1,6 + 0,1 \cdot 4,4 = 2,04 \approx 2,0 \text{ m}$$

Resultat

I Tabell N 9 nedan redovisas resultat från simulering. I simuleringen har sikten ej kontrollerats eftersom kritiska förhållanden ändå uppnås.

Tabell N 9. Resultat för lilla scenen enligt simulering i CFAST

Kriterium	Nivå	Tid till kritisk nivå [s]
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv	3,5 m - övre läktare	130
	2,0 m - golv	240
2. Sikt två meter ovan golv	1 obscura	-
3. Värmestrålning	Max 10 kW/ m ²	Se Bilaga L: Strålning
4. Temperatur 1,8 m ovan golv	Max 80°C - övre läktare	120
	Max 80°C - golv	250
5. Toxicitet	-	-

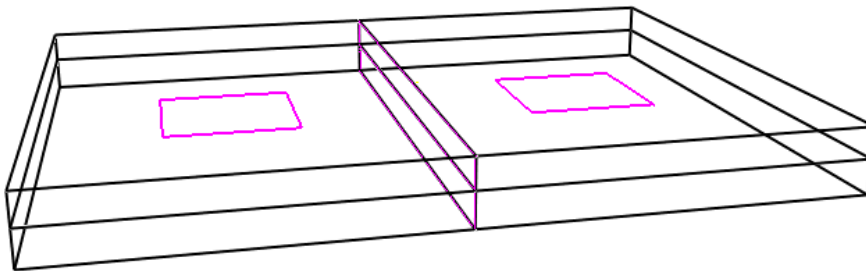
Den höga temperaturen som uppnås i lokalen enligt CFAST inom en kort tidsperiod och brandgaslagrets nivå gör att risk anses föreligga för kritiska förhållanden i detta scenario. Inga fler slutsatser dras från resultat i CFAST utan vidare simuleringar görs i FDS.

Scenario IV - Bibliotek

Nedan presenteras uppbyggnaden av scenariot i CFAST och resultatet av simuleringen.

Uppbyggnad av scenario

Biblioteket byggs upp av två rätblock där det undre motsvarar biblioteket och det övre kontoren som är belägna ovanför biblioteket. Dessa är uppdelade i två lika stora delar för att möjliggöra insättning av de två atrierna. Dessutom ger mindre geometrier troligtvis mer verklighetstroga resultat på grund av giltigheten för programmet. Runt atrierna finns balkonger med kontor. Geometrin presenteras i Figur N 5 nedan där de lila markeringarna utgör öppning mot kontoren och mot respektive delar. Huruvida det blir kritiska förhållanden kommer endast att behandlas för biblioteket.



Figur N 5. Schematisk bild över geometrin för simulering av biblioteket i CFAST

Dimensionerna för de olika geometrierna presenteras i Tabell N 10 nedan. Längden är sammanlagd för de två rätblocken.

Tabell N 10. Dimensioner över bibliotekets geometri

Rum	Längd x bredd x höjd [m]
Bibliotek	58 x 43,5 x 2,7
Kontor	58 x 43,5 x 2,4
Öppning för atrium	110 m ² /st

Geometrins giltighet för ett av rätblocken som utgör biblioteket presenteras i tabellen nedan.

Tabell N 11. Beräkning för kontroll av geometrins giltighet i CFAST för biblioteket

Acceptabelt	Beräknat för scenario IV
längd/bredd < 3	29/43,5 = 0,67
längd/höjd < 3	29/2,7 = 10,7
bredd/höjd > 0,4	43,5/2,7 = 16,1

Enligt beräkningarna ovan är geometrin inte giltig gällande förhållandet mellan längd och höjd.

Väggar och tak sätts till att bestå av betong. I brandscenariot för biblioteket är det bokhyllor fulla med böcker som brinner. Därför har cellulosa satts som bränsle i simuleringen. Indata för branden presenteras i Tabell N 12 nedan.

Tabell N 12. Cellulosas egenskaper för simulering av biblioteket i CFAST

Molmassa	0,1621 kg/mol	(DiNenno PJ. 2002)
----------	---------------	--------------------

Förbränningsentalpi	16090 kJ/ kg	(DiNenno PJ. 2002)
Strålningsfraktion	0,365	(Drysdale, 2011)
H/C	0,33	0,33 (högsta värdet förinlagt i CFAST, används som ett worst case värde)
Storlek på branden	1 x 1 meter	

Arealen på branden är även i detta fall mindre än brandscenariot och samma analys på resultatpåverkan görs likt scenario I.

Brandtillväxten följer den effektkurva som presenterats under brandscenariot, alltså en α^2 -kurva med tillväxthastigheten 0,012 kW/s².

Branden placeras vid ena långsidan där takhöjden är låg.

För biblioteket blir den kritiska höjden för brandgaslagret enligt ekvation 17:

$$\text{Kritisk nivå} = 1,6 + 0,1 \cdot 2,7 = 1,87 \text{ m} \approx 1,9 \text{ m}$$

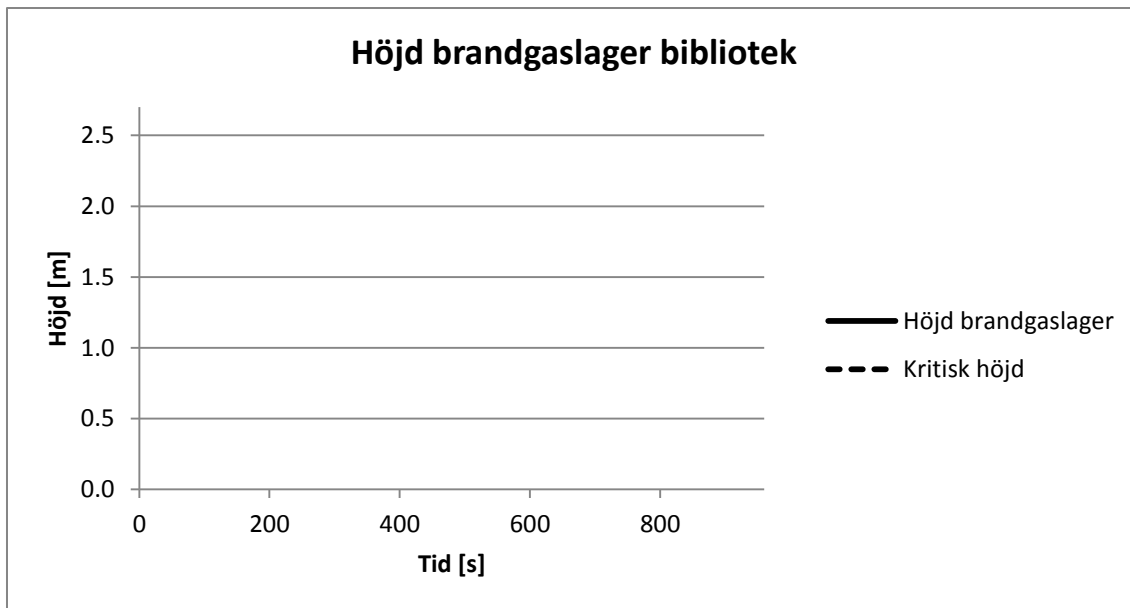
Resultat

Resultatet av simuleringen presenteras i Tabell N 13 nedan. I simuleringen har sikten ej kontrollerats på grund av datorprogrammets begränsningar.

Tabell N 13. Resultat för biblioteket enligt simulering i CFAST

Kriterium	Nivå	Tid till kritisk nivå [s]
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv	1,9 m	260
2. Sikt två meter ovan golv	1 obscura	-
3. Värmestrålning	Max 10 kW/ m ²	Se Bilaga L: Strålning
4. Temperatur 1,8 m ovan golv	Max 80°C	630
5. Toxicitet	-	-

Brandgaslagrets höjd når den kritiska nivån efter cirka 260 sekunder. Dock är medeltemperatur då 35 °C vilket gör att kritiska förhållanden inte föreligger vid denna tidpunkt. Medeltemperaturen på brandgaslagret uppnår 80 °C först efter drygt tio minuter vilket då blir tiden för kritiska förhållanden. Dock är denna tid något missvisande eftersom ingen spridning har beräknats efter fem minuter. Eftersom utrymningen är klar efter fem minuter påverkar detta inte resultatet.



Figur N 6. Brandgaslagrets höjd i biblioteket enligt simulering i CFAST

Bilaga O: Detact-T2

Nedan presenteras simuleringarna som gjorts i Detact-T2 för de olika scenarierna.

Scenario I - Garderob

Nedan presenteras indata till simuleringarna för scenario I.

Detektion

Indataparametrar som används i Detact-T2 vid simulering av aktiveringstid för rökdetektorer presenteras i Tabell O 1 nedan. Aktivering sker genom approximation av optiskt täthet till en temperaturökning på 13 °C för aktivering (Nilsson, Holmstedt, 2008).

Tabell O 1. Värden på parametrar för simulering av tid till detektion för garderoben med Detact-T2

Omgivningstemperatur	20 °C
RTI	0,5 (ms) ^{1/2}
Aktiveringstemperatur	33 °C
Takhöjd	2,7 m
Radiellt avstånd till detektor	8 m
α-värde	0,118 kW/s ²
Tid till aktivering	69 sek
Effekt vid aktivering	557 kW

Sprinkler

Indataparametrar som används i Detact-T2 vid simulering av aktiveringstid för sprinkler presenteras i Tabell O 2 nedan.

Tabell O 2. Värden på parametrar för simulering av tid till sprinkleraktivering för garderoben med Detact-T2

Omgivningstemperatur	20 °C
RTI	50 (ms) ^{1/2}
Aktiveringstemperatur	68 °C
Takhöjd	2,7 m
Radiellt avstånd till detektor	6 m
α-värde	0,118 kW/s ²
Tid till aktivering	130 sek
Effekt vid aktivering	2002 kW

Scenario II – Publikdel stora teatern

Ingen simulering görs i Detact-T2 för denna del av byggnaden eftersom det istället undersöks med hjälp av FDS.

Scenario III – Lilla scen

Ingen simulering görs i Detact-T2 för denna del av byggnaden eftersom det istället undersöks med hjälp av FDS.

Scenario IV - Bibliotek

Nedan presenteras indata till simuleringarna för scenario IV.

Detektion

Indataparametrar som används i Detact-T2 vid simulering av aktiveringstid för detektorer presenteras i Tabell O 3 nedan. Aktivering sker genom approximation av optiskt täthet till en temperaturökning på 13 °C för aktivering (Nilsson & Holmstedt, 2008).

Tabell O 3. Värden på parametrar för simulering av tid till detektion för biblioteket med Detact-T2

Omgivningstemperatur	20 °C
RTI	0,5 (ms) ^{1/2}
Aktiveringstemperatur	33 °C
Takhöjd	2,7 m
Radiellt avstånd till detektor	8 m
α-värde	0,012 kW/s ²
Tid till aktivering	150 sek

Sprinkler

Ingen sprinklersimulering har gjorts för denna del av byggnaden eftersom inget sprinklersystem finns installerat.

Bilaga P: Indata FDS

Scenariot för stora teatern och lilla scen byggs upp och simuleras i FDS för framtagning av tid till kritiska förhållanden. Samma indata för branden och väggarna används i båda scenarierna eftersom de bygger på att samma material brinner, endast olika mängd. Tillväxthastighet och maximal effekt tas från respektive brandscenario effektkurva i Bilaga I: Scenario II – Publikdel vid stora teatern och Bilaga J: Scenario III – Lilla scenen.

Indata

Branden antas bestå av polyuretan, detta eftersom stolarna som brinner består av detta. I brandscenariot ingår även ett mixerbord med tillhörande utrustning, men då polyuretan både har hög förbränningsentalpi och sotfraktion väljs branden endast bestå av detta för konservativa resultat. Indataparametrarna för både bränsle och material presenteras och motiveras i Tabell P 1 nedan. En känslighetsanalys genomförs för att se hur valet av indataparametrar påverkar resultatet och presenteras under avsnitt 10.3.2.

Tabell P 1 - Värden på parametrar vid simulering i FDS

Indataparameter	Värde	Källa	Motivering
Bränsle	Polyuretan $\text{CH}_{1.74}\text{O}_{0.323}$	(DiNenno PJ. 2002)	Detta är en typ av polyuretanskum som enligt SFPE-handboken ingår i möbelstopning. Den har både hög sotfraktion och förbränningsentalpi vilket ger en konservativ utgångspunkt.
Förbränningsentalpi	24600 kJ/kg	(DiNenno PJ. 2002)	Den ideala förbränningsentalpin för aktuellt material.
Sotfraktion	0,194 kg/kg	(DiNenno PJ. 2002)	Sotfraktionen för polyuretan är hög och antas påverka resultat mycket. Eftersom det inte endast är polyuretan som brinner är det möjligt att sotfraktionen egentligen är lägre. Dess påverkan utreds i känslighetsanalys.
Strålningsfraktion	0,35	(McGrattan et al, 2007)	Eftersom polyuretan är ett sotande bränsle antas strålningsfraktionen vara hög. Inga data på exakt värde är kända och därför har standardvärdet för FDS använts. Strålningsfraktionens påverkan utreds närmare i känslighetsanalysen.
Antal solida vinklar	300 st	-	Då geometrin är stor hade ett stort antal solida vinklar behövts för att få bra resultat gällande strålning. Eftersom skadekriteriet om infallande strålning kommer beräknas för hand anses det rimligt att använda ett lågt antal solida vinklar för att få en rimligare simuleringstid.

Material i väggar, golv och tak	Betong	-	Byggnadens stomme består av betong och därför sätts golvet och väggarna i teatern till betong
Konduktivitet betong	1 W/(mK)	(Karlsson , Quintiere, 2011)	För betong anges konduktiviteten i ett intervall mellan 0,8-1,4 W/(mK). Eftersom betongens exakta egenskaper på objektet inte är kända skulle ett medelvärde vara ett rimligt val. I detta fall väljs ett värde något under medel för att vara konservativa.
Specifik värmekapacitet	0,88 kJ/(KgK)	(Karlsson, Quintiere, 2011)	Värdet förekommer i flera olika källor och antas därför vara ett representativt värde för betong.
Densitet	2000 kg/m ³	(Karlsson, Quintiere, 2011)	För betong anges densitet i ett intervall mellan 1900-2300 kg/m ³ . Eftersom betongens exakta egenskaper på objektet inte är kända skulle ett medelvärde vara ett rimligt val. I detta fall väljs ett värde något under medel för att vara konservativa.
Emissivitet	0,85	(Engineering toolbox, ud)	Värdet för betong varierade mycket beroende på källa, men gemensamt för alla var att det låg högt. I vissa andra källor ligger värdet över 0,9. Påverkan av detta kommer att behandlas i känslighetsanalysen.
Tjocklek på väggar, golv och tak	10 cm		Det är svårt att avgöra hur tjocka väggarna och golvet är. I simuleringarna användes tjockleken 10 cm vilket sedan visade sig vara en felbedömning. Betongväggar i klassen EI 60 ska vara minst 70 cm (Brandskyddshandboken, 2012). Eftersom värmeledningen i väggarna kan påverka resultatet kommer väggarnas tjocklek redas ut närmare i känslighetsanalysen. Resultatet blev att väggtjockleken inte har stor inverkan på resultatet och därmed används simuleringarna med väggtjockleken 10 cm.
Material i ljudbås (endast teatern)	Inert	-	Ljudbåset består endast av tunna väggar med öppna rutor ut mot den publika delen. Detta har byggts upp med hjälp av tunna plattor som satts som inerta. Syftet med att ha med ljudbåset är att det upptar volym och då påverkar spridningen av brandgaserna. Därför anses förenklingen till inerta tunna väggar vara acceptabel.

Begränsningar

För att uppställningen i FDS ska ge godtagbara resultat ska en del begränsningar vara uppfyllda. I följande beräkningar kommer värdena i Tabell P 2 nedan användas om inget annat anges.

Tabell P 2. Indatat till ekvation 10 för beräkning av dimensionslös effektutveckling

ρ_{∞}	1 kg/m ³
c_p	1 kJ/(KgK)
T_{∞}	293 K
g	9,81 m/s ²

För att flammen ska representera en rumsbrand, alltså varken bli en jetflamma eller en ofullständig flamma ska den dimensionslösa effektutveckling \dot{Q}^* ligga mellan 0,3 till 2,5. Om den ligger under 0,3 innebär det att effektutvecklingen som utvecklas per ytenhet är för låg vilket kan medföra att det istället för en stor flamma bildas flera mindre flammor. Om den dimensionslösa effektutvecklingen är över 2,5 är effektutvecklingen i förhållande till ytan för hög vilket kan ge jetflammor (SFPE – BIV, 2013). Den dimensionslösa effektutvecklingen beräknas enligt

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} \cdot c_p \cdot T_{\infty} \cdot \sqrt{gD} \cdot D^2} \quad \text{Ekvation 10 (Karlsson & Quintiere, 2000)}$$

Den dimensionslösa effektutvecklingen för samtliga simuleringar presenteras i Tabell P 3 nedan.

Tabell P 3. Effektutveckling, diameter samt dimensionslös effektutveckling för de olika scenarierna

Scenario	\dot{Q} [kW]	D	\dot{Q}^* [-]
Lilla scen	3177	1,95	0,54
Teatern	6666	3,39	0,29
Lilla scen med sprinkler	600	1,13	0,40
Teatern med sprinkler	666	1,13	0,45

För teatern blir den dimensionslösa effektutvecklingen 0,29. Detta medför att den aktuella branden ligger utanför det tillåtna intervallet. Dock är den så pass nära så att det kan anses godtagbart, men avvikelsen ska tas i beaktande vid analys av resultat.

För att förhållandet mellan cellstorlek och effekt ska vara godtagbart ska en karakteristisk diameter beräknas enligt följande ekvation:

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} \cdot c_p \cdot T_{\infty} \cdot \sqrt{g}} \right)^{2/5} \quad \text{Ekvation 3}$$

För att förhållandet ska vara korrekt ska följande intervall vara uppfyllt:

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

Kvoten räknas ut för respektive scenario och cellstorlek och presenteras i Tabell P 4 nedan.

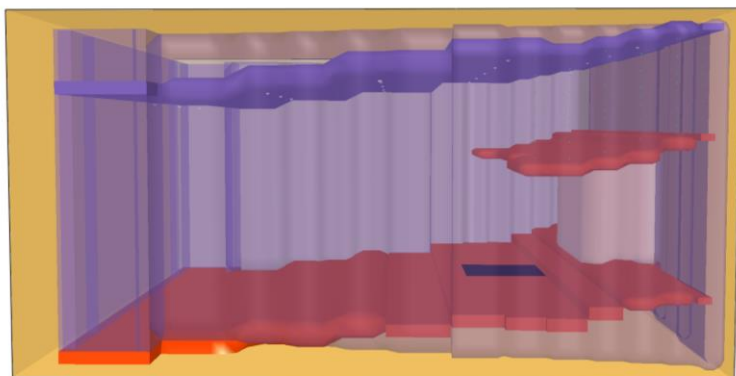
Tabell P 4. Kvoten mellan karakteristisk diameter och cellstorlek för de olika mesherna

Mesh	D^*	δx	$\frac{D^*}{\delta x}$
Lilla scen 1	1,53	0,05	30,6
Lilla scen 2	1,53	0,1	15,3
Lilla scen 3	1,53	0,2	7,63
Lilla scen 4	1,53	0,4	3,82
Teatern 1	2,06	0,1	20,6
Teatern 2	2,06	0,2	10,3
Teatern 3	2,06	0,4	5,1

I samtliga fall, förutom *lilla scen 4*, är storleken på cellerna tillräckligt liten i förhållande till effekten. *Lilla scen 4* är dock det intilliggande utrymmet och cellstorleken här bedöms därför inte påverka resultatet.

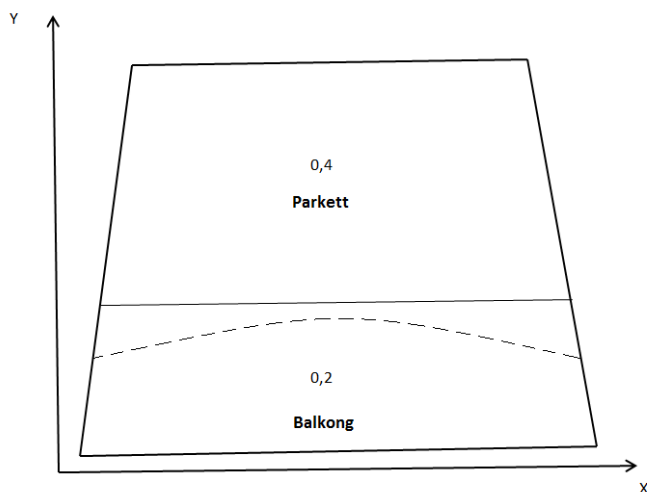
Stora teatern

Den publika delen av stora teatern har sluttande tak och golv. Utrymmet smalnar även av fram mot scen. I FDS byggs geometrin upp genom att använda flera plattor som förskjuts. Funktionen *sawtooth* används för att jämna ut kanterna som blir mellan plattorna för att minska turbulens i luftflödena vid väggar och tak som kan uppstå mellan plattorna.



Figur P 1. Schematisk bild över geometrin för simulering av stora teatern i FDS

Eftersom det är en så pass stor geometri måste cellstorleken anpassas till en rimlig simuleringstid till projektet. Utrymmet delas upp i två mesher, se Figur P 2 nedan, en med cellstorleken 0,2 meter och en med cellstorleken 0,4 meter. Den lilla cellstorleken används över branden och balkongen eftersom det är de delar som är mest kritiska. En simulering görs även med hälften så stora celler; 0,1 och 0,2 meter för att verifiera nodkonvergens.



Figur P 2. Översiktsbild ovanifrån av meshernas placering i stora teatern för simulering i FDS

Branden placeras en bit framför ljudbåset på parketten, den svarta plattan i Figur P 1, och antas nå den maximala arean 3 x 3 meter eftersom branden sprider sig från ett bord till intilliggande stolar. Antändning sker i mitten av kvadraten och sprider sig radiellt. Spridningshastigheten kan beräknas enligt ekvationen nedan.

$$\text{Spridningshastighet} = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi} \cdot \frac{1}{HRRPUA}}$$

Eftersom branden anges som en kvadrat kommer resultatet av flamspridningen att underskatta effektutvecklingen något. Detta kan kompenseras genom att höja den maximala effekten med tio procent (SFPE – BIV, 2013). Då uppstår avvikelser på effektutvecklingen först efter det att minimikravet på effekten uppstått. Efter det kommer den maximala effekten bli något högre jämfört med effektkurvan. Detta resulterar i en konservativ kurva. De slutliga indata för branden presenteras i Tabell P 5 nedan.

Tabell P 5. Spridningshastighet och maximal effekt för stora teatern

Spridningshastighet	Effekt (10 % högre)
0,00471 m/s	6666 kW

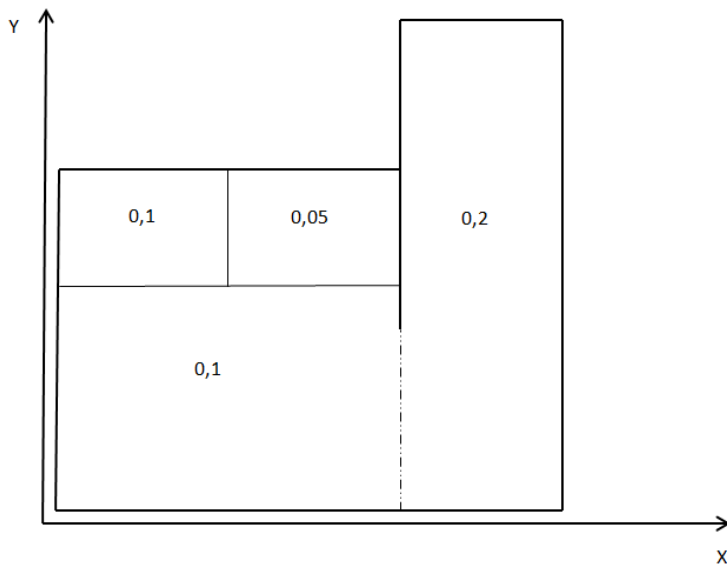
Mätpunkter för temperatur, koncentration koldioxid, syrekoncentration, sikt samt brandgaslagrets höjd placeras ut vid nödutgångar samt på balkongen och parketten. Sprinkler sätts in i form av värmedetektorer för att få tiden till eventuell sprinkleraktivering. I första simuleringen får branden brinna utan åtgärd, det vill säga utan sprinkleraktivering.

Utifrån första simuleringen kan tiden till sprinkleraktivering samt motsvarande effekt utläsas. Till den andra simuleringen med sprinkler antas effektkurvans tillväxt avstanna då sprinklern aktiveras, se effektkurvan i Bilaga I: Scenario II – Publikdel vid stora teatern. Arean på branden vid sprinkleraktivering kan beräknas med hjälp av spridningshastigheten och HRRPUA. Den nya arean blir 1 x 1 meter.

Lilla scen

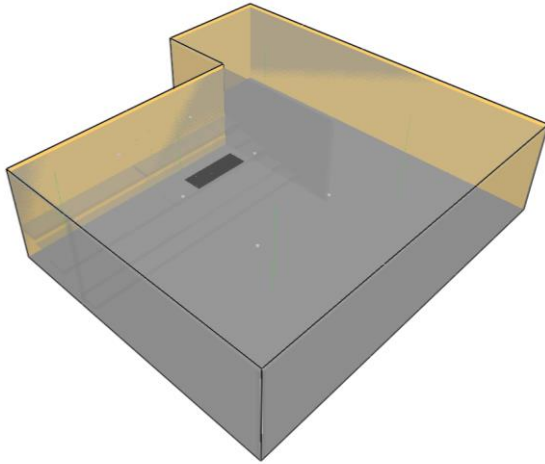
Utrymmena för lilla scen som anses aktuella för brandscenariot är själva utrymmet där scenen och publiken är samt det intilliggande rummet, till vilket det är en stor öppning. Läktaren byggs upp av trappsteg under vilka luften kan flöda fritt. Två simuleringar görs för att kontrollera nodkonvergensen.

Geometrin är uppdelad på 4 olika mesher. Måtten och placeringen av respektive mesh presenteras i Figur P 3 nedan. Cellstorleken gäller för simuleringen med liten cellstorlek. Den andra simuleringen är grövre med dubbelt så stora celler men uppdelning av mesher följer Figur P 3.



Figur P 3. Översikt ovanifrån av meshernas placering i lilla scenen för simulering i FDS

Branden placeras på det tredje steget (1,1 meter över golvet) av läktaren uppifrån, representerad av en svart rektangel i Figur P 4. Arean är 1 x 3 meter för att representera mixerbordet samt några intilliggande stolar. Eftersom branden inte är en kvadrat är det svårt att uppskatta en korrekt radiell flamspridningshastighet. Därför förenklas branden till att hela arean brinner men att effektutvecklingen sker enligt scenariots α^2 -kurva. Vid simuleringen har en något för hög effekt använts på grund av en felaktig avläsning. Dock påverkar detta ej när kritiska förhållanden uppstår då detta sker innan maximala effekten har nåtts.



Figur P 4. . Schematisk bild över geometrin för simulering av stora teatern i FDS

Mätpunkter för temperatur, koncentration koldioxid, syrekoncentration, sikt samt brandgaslagrets höjd placeras ut vid nödutgångar samt i rummen. Sprinkler sätts in i form av värmedetektorer för att få tiden till sprinkleraktivering. I första simuleringen får branden brinna utan åtgärd, det vill säga utan sprinkleraktivering.

Utifrån första simuleringen kan tiden till sprinkleraktivering utläsas. Till den andra simulering med sprinkler antas effektkurvans tillväxt avstanna då sprinklern aktiverar, se effektkurvan i Bilaga J: Scenario III – Lilla scenen. Eftersom branden inte är lika stor då sprinkler aktiveras minskas dess area till 1 x 1 meter.

Kod stora teatern

---- Teatern: publikdel: stor mesh ----

&HEAD CHID='Teatern HRRPUA750 v2' TITLE='Teatern stor mesh HRRPUA750 v2' /

---Mesher---

&MESH ID='SCEN', IJK=54, 32, 27, XB=0.0,21.6, 8.0, 20.8, 0.0, 10.8 / Scen + parkett

&MESH ID='BALKONG', IJK=108, 40, 54, XB=0.0,21.6, 0.0,8.0, 0.0,10.8 / Balkong + Brand

---Tid---

&TIME T_END=500.00 /

---Bränsle---

&REAC ID='Polyuretan'

SOOT_YIELD=0.194

C=1

H=1.74

O=0.323

HEAT_OF_COMBUSTION=24600

IDEAL=.TRUE. /

---Brännare alfa=0,047, Max HRR=6060+10%=6666., HRRPUA=741. AREA=3x3m---

&SURF ID='FIRE', HRRPUA=741.0, COLOR='BLACK' /

&VENT XB=9.2,12.2, 4.0,7.0, 1.6,1.6 SURF_ID='FIRE', XYZ=10.6,5.4,1.6, SPREAD_RATE=0.00471 /

---Material---

&MATL ID = 'CONCRETE'

CONDUCTIVITY = 1.0

SPECIFIC_HEAT = 0.88

DENSITY = 2000.

EMISSIVITY= 0.85 /

&SURF ID ='WALL'

MATL_ID= 'CONCRETE'

THICKNESS= 0.1

TRANSPARENCY= 0.5

COLOR='MEDIUM PURPLE 4' /

--Strålningsmodell--

&RADI RADIATIVE_FRACTION= 0.35 /

&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX' / 'Strålningsmodell'

---Geometri---

--Bakre vägg--

&OBST XB=0.0, 3.6, 0.4,0.6, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE. /

&OBST XB=3.6, 7.2, 0.2,0.4, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./
&OBST XB=7.2,14.4, 0.0,0.2, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./
&OBST XB=14.4,18.0, 0.2,0.4, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./
&OBST XB=18.0,21.6, 0.4,0.6, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./

--Vänster vägg--

&OBST XB=0.0,0.2, 0.6,1.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,2
&OBST XB=0.2,0.4, 1.0,2.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,2
&OBST XB=0.4,0.6, 2.0,3.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,2
&OBST XB=0.6,0.8, 3.0,4.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,2
&OBST XB=0.8,1.0, 4.0,5.2, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,2
&OBST XB=1.0,1.2, 5.2,6.4, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,2
&OBST XB=1.2,1.6, 6.4,8.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,4
&OBST XB=1.6,2.0, 8.0,10.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,4
&OBST XB=2.0,2.4, 10.0,11.6, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,4
&OBST XB=2.4,2.8, 11.6,13.2, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,4
&OBST XB=2.8,3.2, 13.2,14.8, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,4
&OBST XB=3.2,3.6, 14.8,17.6, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,4

-- Litet rum, vänster --

&OBST XB=1.6,3.6, 17.2,17.6, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL'/
&OBST XB=1.6,2.0, 17.6,20.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL'/
&OBST XB=2.0,4.4, 19.6,20.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL'/
&OBST XB=4.4,16.8, 19.6,20.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL'/

-- Höger vägg --

&OBST XB=21.2,21.0, 0.6,1.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,2
&OBST XB=21.0,20.8, 1.0,2.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,2
&OBST XB=20.8,20.6, 2.0,3.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,2
&OBST XB=20.6,20.4, 3.0,4.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,2
&OBST XB=20.4,20.2, 4.0,5.2, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,2
&OBST XB=20.2,20.0, 5.2,6.4, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,2
&OBST XB=20.0,19.6, 6.4,8.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,4
&OBST XB=19.6,19.2, 8.0,10.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,4
&OBST XB=19.2,18.8, 10.0,11.6, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,4
&OBST XB=18.8,18.4, 11.6,13.2, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,4
&OBST XB=18.4,18.0, 13.2,14.8, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,4
&OBST XB=18.0,17.6, 14.8,17.6, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL', SAWTOOTH=.FALSE./	mesh 0,4

-- Litet rum, vänster --

&OBST XB=17.6,19.6, 17.2,17.6, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL'/
&OBST XB=19.2,19.6, 17.6,20.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL'/
&OBST XB=16.8,19.2, 19.6,20.0, 0.4,10.2, SURF_ID='WALL'/

-- Golv --

&OBST XB=1.6,19.6, 20.0,17.2, 0.0,0.4, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2'/
 &OBST XB=3.2,17.6, 14.8,17.6, 0.0,0.4, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2',
 SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=3.2,18.0, 13.2,14.8, 0.4,0.8, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2',
 SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=2.8,18.4, 11.6,13.2, 0.4,0.8, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2',
 SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=2.4,18.8, 10.0,11.6, 0.8,1.2, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2',
 SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=2.0,19.2, 8.0,10.0, 0.8,1.2, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2'/
 &OBST XB=1.6,19.6, 6.4,8.0, 1.2,1.6, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2'/
 &OBST XB=1.2,20.0, 5.2,6.4, 1.2,1.6, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2'/
 &OBST XB=1.0,20.2, 4.0,5.2, 1.2,1.6, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2'/
 &OBST XB=0.8,20.4, 3.0,4.0, 1.6,2.0, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2'/
 &OBST XB=0.6,20.6, 2.0,3.0, 2.0,2.2, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2', SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=0.4,20.8, 1.0,2.0, 2.2,2.4, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2', SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=0.2,21.0, 0.6,1.0, 2.2,2.4, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2'/
 &OBST XB=7.2,14.4, 0.2,0.6, 2.2,2.4, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2'/

-- Tak --

&OBST XB=1.6,19.6, 20.0,17.2, 8.2,8.6, SURF_ID='WALL', COLOR='MEDIUM PURPLE 4'/
 &OBST XB=3.2,17.6, 14.8,17.2, 8.2,8.6, SURF_ID='WALL', COLOR='MEDIUM PURPLE 4',
 SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=3.2,18.0, 13.2,14.8, 8.6,9.0, SURF_ID='WALL', COLOR='MEDIUM PURPLE 4',
 SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=2.8,18.4, 11.6,13.2, 8.6,9.0, SURF_ID='WALL', COLOR='MEDIUM PURPLE 4',
 SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=2.4,18.8, 10.0,11.6, 9.0,9.4, SURF_ID='WALL', COLOR='MEDIUM PURPLE 4',
 SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=2.0,19.2, 8.0,10.0, 9.0,9.4, SURF_ID='WALL', COLOR='MEDIUM PURPLE 4',
 SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=1.6,19.6, 6.4,8.0, 9.4,9.8, SURF_ID='WALL', COLOR='MEDIUM PURPLE 4',
 SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=1.2,20.0, 5.2,6.4, 9.4,9.8, SURF_ID='WALL', COLOR='MEDIUM PURPLE 4',
 SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=1.0,20.2, 4.0,5.2, 9.4,9.6, SURF_ID='WALL', COLOR='MEDIUM PURPLE 4',
 SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=0.8,20.4, 3.0,4.0, 9.6,9.8, SURF_ID='WALL', COLOR='MEDIUM PURPLE 4',
 SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=0.6,20.6, 2.0,3.0, 9.8,10.0, SURF_ID='WALL', COLOR='MEDIUM PURPLE 4',
 SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=0.4,20.8, 1.0,2.0, 10.0,10.2, SURF_ID='WALL', COLOR='MEDIUM PURPLE 4',
 SAWTOOTH=.FALSE./
 &OBST XB=0.2,21.0, 0.4,1.0, 10.0,10.2, SURF_ID='WALL', COLOR='MEDIUM PURPLE 4'/

&OBST XB=7.2,14.4, 0.2,0.4, 10.0,10.2, SURF_ID='WALL', COLOR='MEDIUM PURPLE 4'/

--Balkong--

&OBST XB=16.0,20.0, 5.2,6.0, 5.8,6.0, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2',
SAWTOOTH=.FALSE./

&OBST XB=1.2,5.0, 5.2,6.0, 5.8,6.0, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2', SAWTOOTH=.FALSE./

&OBST XB=11.2,20.2, 4.4,5.2, 5.8,6.0, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2',
SAWTOOTH=.FALSE./

&OBST XB=1.0,9.0, 4.4,5.2, 5.8,6.0, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2', SAWTOOTH=.FALSE./

&OBST XB=1.0,20.2, 4.0,4.4, 5.8,6.0, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2', SAWTOOTH=.FALSE./

&OBST XB=0.8,20.4, 3.0,4.0, 6.2,6.0, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2', SAWTOOTH=.FALSE./

&OBST XB=0.6,20.6, 2.0,3.0, 6.4,6.2, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2', SAWTOOTH=.FALSE./

&OBST XB=0.4,20.8, 1.0,2.0, 6.6,6.8, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2', SAWTOOTH=.FALSE./

&OBST XB=0.2,21.0, 0.6,1.0, 6.8,7.0, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2'/

&OBST XB=7.2,14.4, 0.2,0.6, 6.8,7.0, SURF_ID='WALL', COLOR='ORANGE RED 2'/

--Ljudbås--

&OBST XB=14.6,14.4, 0.2,1.0, 2.2,6.8, SURF_ID='INERT', COLOR='BURLY WOOD
3',SAWTOOTH=.FALSE./

&OBST XB=14.4,14.2, 1.0,1.6, 2.4,6.6, SURF_ID='INERT', COLOR='BURLY WOOD
3',SAWTOOTH=.FALSE./

&OBST XB=14.0,13.8, 1.6,2.0, 2.4,6.6, SURF_ID='INERT', COLOR='BURLY WOOD
3',SAWTOOTH=.FALSE./

&OBST XB=13.8,13.6, 2.0,2.6, 2.2,6.2, SURF_ID='INERT', COLOR='BURLY WOOD
3',SAWTOOTH=.FALSE./

&OBST XB=8.0,13.6, 2.6,2.8, 2.2,6.2, SURF_ID='INERT', COLOR='BURLY WOOD
3',SAWTOOTH=.FALSE./

&OBST XB=7.2,7.4, 0.2,1.0, 2.4,6.8, SURF_ID='INERT', COLOR='BURLY WOOD 3',SAWTOOTH=.FALSE./

&OBST XB=7.4,7.6, 1.0,1.6, 2.4,6.6, SURF_ID='INERT', COLOR='BURLY WOOD 3',SAWTOOTH=.FALSE./

&OBST XB=7.6,7.8, 1.6,2.0, 2.4,6.6, SURF_ID='INERT', COLOR='BURLY WOOD 3', SAWTOOTH=.FALSE./

&OBST XB=7.8,8.0, 2.0,2.6, 2.2,6.2, SURF_ID='INERT', COLOR='BURLY WOOD 3',SAWTOOTH=.FALSE./

---Slicefile---

-- Temperatur --

&SLCF XB=0.7,0.7, 0.6,1.0, 7.0,10.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: vänster dörr
&SLCF XB=0.9,0.9, 1.0,2.0, 6.8,10.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: vänster dörr
&SLCF XB=1.1,1.1, 2.0,3.0, 6.4,9.8, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: vänster dörr
&SLCF XB=1.3,1.3, 3.0,4.0, 6.0,9.6, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: vänster dörr
&SLCF XB=1.5,1.5, 4.0,5.2, 5.8,9.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: vänster dörr
&SLCF XB=1.7,1.7, 5.2,6.0, 5.8,9.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: vänster dörr

&SLCF XB=20.5,20.5, 0.6,1.0, 7.0,10.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: höger dörr
&SLCF XB=20.3,20.3, 1.0,2.0, 6.8,10.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: höger dörr
&SLCF XB=20.1,20.1, 2.0,3.0, 6.4,9.8, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: höger dörr
&SLCF XB=19.9,19.9, 3.0,4.0, 6.0,9.6, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: höger dörr

&SLCF XB=19.7,19.7, 4.0,5.2, 5.8,9.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: höger dörr
&SLCF XB=19.5,19.5, 5.2,6.0, 5.8,9.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: höger dörr
&SLCF XB=10.8,10.8, 0.6,1.0, 7.0,10.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: mitten
&SLCF XB=10.8,10.8, 1.0,2.0, 6.8,10.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: mitten
&SLCF XB=10.8,10.8, 2.0,3.0, 6.4,9.8, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: mitten
&SLCF XB=10.8,10.8, 3.0,4.0, 6.0,9.6, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: mitten
&SLCF XB=10.8,10.8, 4.0,5.2, 5.8,9.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: mitten
&SLCF XB=10.8,10.8, 5.2,6.0, 5.8,9.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Balkong: mitten
&SLCF XB=0.7,0.7, 0.6,1.0, 2.4,10.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: vänster dörr
&SLCF XB=0.9,0.9, 1.0,2.0, 2.4,10.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: vänster dörr
&SLCF XB=1.1,1.1, 2.0,3.0, 2.2,9.8, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: vänster dörr
&SLCF XB=1.3,1.3, 3.0,4.0, 2.0,9.6, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: vänster dörr
&SLCF XB=1.5,1.5, 4.0,5.2, 1.8,9.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: vänster dörr
&SLCF XB=1.7,1.7, 5.2,6.4, 1.6,9.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: vänster dörr
&SLCF XB=2.1,2.1, 6.4,8.0, 1.6,9.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: vänster dörr
&SLCF XB=2.5,2.5, 8.0,10.0, 1.2,9.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: vänster dörr
&SLCF XB=2.9,2.9, 10.0,11.6, 1.2,9.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: vänster dörr
&SLCF XB=3.3,3.3, 11.6,13.2, 0.8,8.6, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: vänster dörr
&SLCF XB=3.7,3.7, 13.2,14.8, 0.8,8.6, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: vänster dörr
&SLCF XB=4.0,4.0, 14.8,17.6, 0.4,8.2, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: vänster dörr
&SLCF XB=20.5,20.5, 0.6,1.0, 2.4,10.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: höger dörr
&SLCF XB=20.3,20.3, 1.0,2.0, 2.4,10.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: höger dörr
&SLCF XB=20.1,20.1, 2.0,3.0, 2.2,9.8, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: höger dörr
&SLCF XB=19.9,19.9, 3.0,4.0, 2.0,9.6, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: höger dörr
&SLCF XB=19.7,19.7, 4.0,5.2, 1.8,9.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: höger dörr
&SLCF XB=19.5,19.5, 5.2,6.4, 1.6,9.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: höger dörr
&SLCF XB=19.1,19.1, 6.4,8.0, 1.6,9.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: höger dörr
&SLCF XB=18.7,18.7, 8.0,10.0, 1.2,9.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: höger dörr
&SLCF XB=18.3,18.3, 10.0,11.6, 1.2,9.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: höger dörr
&SLCF XB=17.9,17.9, 11.6,13.2, 0.8,8.6, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: höger dörr
&SLCF XB=17.5,17.5, 13.2,14.8, 0.8,8.6, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: höger dörr
&SLCF XB=17.1,17.1, 14.8,17.6, 0.4,8.2, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: höger dörr
&SLCF XB=10.8,10.8, 0.6,1.0, 2.4,10.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: mitten
&SLCF XB=10.8,10.8, 1.0,2.0, 2.4,10.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: mitten
&SLCF XB=10.8,10.8, 2.0,3.0, 2.2,9.8, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: mitten
&SLCF XB=10.8,10.8, 3.0,4.0, 2.0,9.6, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: mitten
&SLCF XB=10.8,10.8, 4.0,5.2, 1.8,9.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: mitten
&SLCF XB=10.8,10.8, 5.2,6.4, 1.6,9.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: mitten
&SLCF XB=10.8,10.8, 6.4,8.0, 1.6,9.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: mitten
&SLCF XB=10.8,10.8, 8.0,10.0, 1.2,9.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: mitten
&SLCF XB=10.8,10.8, 10.0,11.6, 1.2,9.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /	Parkett: mitten

&SLCF XB=10.8,10.8, 11.6,13.2, 0.8,8.6, QUANTITY='TEMPERATURE'/ Parkett: mitten
&SLCF XB=10.8,10.8, 13.2,14.8, 0.8,8.6, QUANTITY='TEMPERATURE'/ Parkett: mitten
&SLCF XB=10.8,10.8, 14.8,17.6, 0.4,8.2, QUANTITY='TEMPERATURE'/ Parkett: mitten

Samma koordinater som ovan används för quantity: carbon dioxide, oxygen samt visibility.

-- Övriga --

&SLCF XB=1.2,20.0, 5.4,5.4, 1.6,9.4, QUANTITY='visibility'/ Flamman x-led
&SLCF XB=1.0,20.2, 5.01,5.01, 6.0,9.4, QUANTITY='visibility'/ utrymningsdörrar balkong
x-led
&SLCF XB=3.21,18.41, 12.11,12.11, 0.8,8.6, QUANTITY='visibility'/ utrymningsvägar främre
parkett x-led
&SLCF XB=1.01,20.21, 4.11,4.11, 1.6,5.8, QUANTITY='visibility'/ utrymningsvägar bakre
parkett x-led

Samma koordinater som ovan används för slicefile med quantity temperature.

--- Devices ---

-- Vänster balkong --

&DEVC ID='BalkongV temp11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.71,0.81,7.51 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='BalkongV temp15', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.71,0.81,9.51 /

&DEVC ID='BalkongV temp21', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.91,1.51,7.31 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='BalkongV temp26', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.91,1.51,9.81 /

&DEVC ID='BalkongV temp31', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.11,2.51,6.91 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='BalkongV temp37', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.11,2.51,9.91 /

&DEVC ID='BalkongV temp41', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.31,3.51,6.51 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='BalkongV temp47', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.31,3.51,9.51 /

&DEVC ID='BalkongV temp51', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.51,4.51,6.31 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='BalkongV temp57', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.51,4.51,9.31 /

&DEVC ID='BalkongV temp61', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.71,5.51,6.31 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='BalkongV temp67', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.71,5.51,9.31 /

Samma kordinater som ovan används även för de devices: carbon dioxide och oxygen

-- Höger balkong --

&DEVC ID='BalkongH temp11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=20.51,0.81,7.51 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='BalkongH temp15', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=20.51,0.81,9.51 /

&DEVC ID='BalkongH temp21', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=20.31,1.51,7.31 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='BalkongH temp26', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=20.31,1.51,9.81 /

&DEVC ID='BalkongH temp31', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=20.11,2.51,6.91 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='BalkongH temp37', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=20.11,2.51,9.91 /

&DEVC ID='BalkongH temp41', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=19.91,3.51,6.51 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='BalkongH temp47', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=19.91,3.51,9.51 /

&DEVC ID='BalkongH temp51', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=19.71,4.51,6.31 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='BalkongH temp57', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=19.71,4.51,9.31 /

&DEVC ID='BalkongH temp61', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=19.51,5.51,6.31 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='BalkongH temp67', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=19.51,5.51,9.31 /

Samma kordinater som ovan används även för de devices: carbon dioxide och oxygen

--Temperatur vid utrymningsdörrarna—

&DEVC ID='temp balkong v1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.71, 5.01, 7.81 /
&DEVC ID='temp balkong v2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.71, 5.01, 7.61 /
&DEVC ID='temp balkong v3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.71, 5.01, 8.01 /
&DEVC ID='temp balkong h1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=19.71, 5.01, 7.81 /
&DEVC ID='temp balkong h2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=19.71, 5.01, 7.61 /
&DEVC ID='temp balkong h3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=19.71, 5.01, 8.01 /

&DEVC ID='temp parkett bakre v1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.21, 4.11, 3.41 /
&DEVC ID='temp parkett bakre v2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.21, 4.11, 3.21 /
&DEVC ID='temp parkett bakre v3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.21, 4.11, 3.61 /
&DEVC ID='temp parkett bakre h1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=18.01, 4.11, 3.41 /
&DEVC ID='temp parkett bakre h2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=18.01, 4.11, 3.21 /
&DEVC ID='temp parkett bakre h3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=18.01, 4.11, 3.61 /

&DEVC ID='temp parkett fram v1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.71, 12.11, 2.61 /
&DEVC ID='temp parkett fram v2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.71, 12.11, 2.41 /

&DEVC ID='temp parkett fram v3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.71, 12.11, 2.81 /
&DEVC ID='temp parkett fram h1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.91, 12.11, 2.61/
&DEVC ID='temp parkett fram h2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.91, 12.11, 2.41/
&DEVC ID='temp parkett fram h3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.91, 12.11, 2.81/

-- Brandgaslager --

&DEVC ID='LayerheightbalkongV', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=1.71,1.71, 5.01,5.01, 6.0,9.4 /
&DEVC ID='LayerheightbalkongH', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=19.71,19.71, 5.01,5.01, 6.0,9.4 /

&DEVC ID='LayerheightframreparkettV', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=3.71,3.71, 12.11,12.11,
0.8,8.6 /

&DEVC ID='LayerheightframreparkettH', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=17.91,17.91, 12.11,12.11,
0.8,8.6/

&DEVC ID='LayerheightbakreparkettV', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=3.21,3.21, 4.11,4.11, 1.6,9.4 /
&DEVC ID='LayerheightbakreparkettH', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=18.01,18.01, 4.11,4.11,
1.6,9.4/

-- Sikt --

&DEVC ID='sikt BalkongVX', QUANTITY='path obscuration', XB=1.0,11.0, 5.01,5.01, 8.01,8.01/
&DEVC ID='sikt BalkongHX', QUANTITY='path obscuration', XB=10.2,20.2, 5.01,5.01, 8.01,8.01/

&DEVC ID='sikt BalkongVY', QUANTITY='path obscuration', XB=1.71,1.71, 0.61,10.61, 8.01,8.01/
&DEVC ID='sikt BalkongHY', QUANTITY='path obscuration', XB=19.71,19.71, 0.61,10.61, 8.01,8.01/

&DEVC ID='sikt BalkongMX', QUANTITY='path obscuration', XB=5.71,15.71, 5.01,5.01, 8.01,8.01/
&DEVC ID='sikt BalkongMY', QUANTITY='path obscuration', XB=10.71,10.71, 0.61,10.61, 8.01,8.01/

&DEVC ID='sikt framreparkettVX', QUANTITY='path obscuration', XB=3.21,13.21, 12.11,12.11,
2.81,2.81/

&DEVC ID='sikt framreparkettHX', QUANTITY='path obscuration', XB=8.41,18.41, 12.11,12.11,
2.81,2.81/

&DEVC ID='sikt framreparkettVY', QUANTITY='path obscuration', XB=3.71,3.71, 6.11,16.11, 2.81,2.81/
&DEVC ID='sikt framreparkettHY', QUANTITY='path obscuration', XB=17.91,17.91, 6.11,16.11,
2.81,2.81/

&DEVC ID='sikt bakreparkettVX', QUANTITY='path obscuration', XB=1.01,11.01, 4.11,4.11, 3.61,3.61/
&DEVC ID='sikt bakreparkettHX', QUANTITY='path obscuration', XB=10.21,20.21, 4.11,4.11,
3.61,3.61/

&DEVC ID='sikt bakreparkettVY', QUANTITY='path obscuration', XB=3.21,3.21, 4.11,14.11, 3.61,3.61/
&DEVC ID='sikt bakreparkettHY', QUANTITY='path obscuration', XB=18.01,18.01, 4.11,14.11,
3.61,3.61/

--Sprinkler--

&PROP ID='Acme Heat', QUANTITY='LINK TEMPERATURE', RTI=50., ACTIVATION_TEMPERATURE=68.

/

&DEVC ID='SpM1', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=10.81, 2.21, 9.7 /

&DEVC ID='SpM2', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=10.81, 6.21, 9.3 /

&DEVC ID='SpM3', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=10.81, 10.21, 8.8 /

&DEVC ID='SpM4', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=10.81, 14.21, 8.4 /

&DEVC ID='SpM5', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=10.81, 18.21, 8.0 /

&DEVC ID='SpV11', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=6.81, 2.21, 9.7 /

&DEVC ID='SpV12', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=6.81, 6.21, 9.3 /

&DEVC ID='SpV13', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=6.81, 10.21, 8.8 /

&DEVC ID='SpV14', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=6.81, 14.21, 8.4 /

&DEVC ID='SpV15', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=6.81, 18.21, 8.0 /

&DEVC ID='SpV21', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=2.81, 2.21, 9.7 /

&DEVC ID='SpV22', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=2.81, 6.21, 9.3 /

&DEVC ID='SpV23', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=3.81, 10.21, 8.7 /

&DEVC ID='SpH11', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=14.81, 2.21, 9.7 /

&DEVC ID='SpH12', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=14.81, 6.21, 9.3 /

&DEVC ID='SpH13', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=14.81, 10.21, 8.8 /

&DEVC ID='SpH14', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=14.81, 14.21, 8.4 /

&DEVC ID='SpH15', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=14.81, 18.21, 8.0 /

&DEVC ID='SpH21', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=18.81, 2.21, 9.7 /

&DEVC ID='SpH22', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=18.81, 6.21, 9.3 /

&DEVC ID='SpH23', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=17.81, 10.21, 8.8 /

&TAIL /

Kod lilla scen

--- Lilla scen stor mesh ---

&HEAD CHID='Lilla scen stor' TITLE='Lilla scen stor' /

--- Mesh ---

&MESH ID='RUM11', IJK= 120, 100, 48, XB= 0.0, 12.0, 0.0, 10.0, 0.0, 4.8 /

&MESH ID='RUM12', IJK= 60, 40, 48, XB= 0.0, 6.0, 10.0, 14.0, 0.0, 4.8 /

&MESH ID='ELD', IJK= 120, 80, 48, XB= 6.0, 12.0, 10.0, 14.0, 0.0, 4.8 /

&MESH ID='RUM2', IJK= 30, 90, 48, XB= 12.0, 18.0, 0.0, 18.0, 0.0, 4.8 /

--- Tid ---

&TIME T_END=500.0 /

--- Bränsle ---

&REAC ID='Polyuretan'

SOOT_YIELD=0.194

C=1

H=1.74

O=0.323

HEAT_OF_COMBUSTION=24600

IDEAL=.TRUE. /

--- Brännare: area 1x3 meter, max hrr=3177 ---

&SURF ID='FIRE', HRRPUA=1059, COLOR='BLACK', RAMP_Q='fireramp' /

&RAMP ID='fireramp', T=0, F=0 /

&RAMP ID='fireramp', T=20, F=0.01 /

&RAMP ID='fireramp', T=40, F=0.02 /

&RAMP ID='fireramp', T=50, F=0.04 /

&RAMP ID='fireramp', T=60, F=0.05 /

&RAMP ID='fireramp', T=70, F=0.07 /

&RAMP ID='fireramp', T=80, F=0.09 /

&RAMP ID='fireramp', T=90, F=0.12 /

&RAMP ID='fireramp', T=100, F=0.15 /

&RAMP ID='fireramp', T=110, F=0.18 /

&RAMP ID='fireramp', T=120, F=0.21 /

&RAMP ID='fireramp', T=130, F=0.25 /

&RAMP ID='fireramp', T=140, F=0.29 /

&RAMP ID='fireramp', T=150, F=0.33 /

&RAMP ID='fireramp', T=160, F=0.38 /

&RAMP ID='fireramp', T=170, F=0.43 /

&RAMP ID='fireramp', T=180, F=0.48 /

&RAMP ID='fireramp', T=190, F=0.53 /

&RAMP ID='fireramp', T=200, F=0.59 /

&RAMP ID='fireramp', T=210, F=0.65 /
&RAMP ID='fireramp', T=220, F=0.72 /
&RAMP ID='fireramp', T=230, F=0.78 /
&RAMP ID='fireramp', T=240, F=0.85 /
&RAMP ID='fireramp', T=250, F=0.92 /
&RAMP ID='fireramp', T=260, F=1 /

&VENT XB=7.4,10.4, 11.0,12.0, 1.1,1.1 SURF_ID='FIRE'/

--- **Material** ---

&MATL ID = 'CONCRETE'
CONDUCTIVITY = 1.0
SPECIFIC_HEAT = 0.88
DENSITY = 2000.
EMISSIVITY= 0.85/

&SURF ID ='WALL'
MATL_ID= 'CONCRETE'
THICKNESS= 0.1
TRANSPARENCY= 0.5
COLOR='GRAY' /

-- **Golv, tak** --

&OBST XB= 0.0, 12.0, 0.0, 14.0, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 0.0, 12.0, 0.0, 14.0, 4.5, 4.6, SURF_ID='WALL'/

Golv RUM1
Tak RUM1

&OBST XB= 12.0, 18.0, 0.0, 18.0, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 12.0, 18.0, 0.0, 18.0, 4.5, 4.6, SURF_ID='WALL' /

Golv RUM2
Tak RUM2

-- **Väggar** --

&OBST XB= 0.0, 18.0, 0.0, 0.10, 0.0, 4.5, SURF_ID='WALL' /
&OBST XB= 17.9, 18.0, 0.0, 18.0, 0.0, 4.5, SURF_ID='WALL' /
&OBST XB= 12.0, 18.0, 17.9, 18.0, 0.0, 4.5, SURF_ID='WALL' /
&OBST XB= 12.0, 12.1, 7.0, 18.0, 0.0, 4.5, SURF_ID='WALL' /
&OBST XB= 0.0, 12.0, 14.0, 14.1, 0.0, 4.5, SURF_ID='WALL' /
&OBST XB= 0.0, 0.1, 0.0, 14.0, 0.0, 4.5, SURF_ID='WALL' /

Vägg 1
Vägg 2
Vägg 3
Vägg 4
Vägg 5
Vägg 6

-- **Trappsteg** --

&OBST XB= 0.0, 12.0, 8.0, 9.0, 0.1, 0.2, SURF_ID='WALL' /
&OBST XB= 0.0, 12.0, 9.0, 10.0, 0.4, 0.5, SURF_ID='WALL' /
&OBST XB= 0.0, 12.0, 10.0, 11.0, 0.7, 0.8, SURF_ID='WALL' /
&OBST XB= 0.0, 12.0, 11.0, 12.0, 1.0, 1.1, SURF_ID='WALL' /
&OBST XB= 0.0, 12.0, 12.0, 13.0, 1.3, 1.4, SURF_ID='WALL' /
&OBST XB= 0.0, 12.0, 13.0, 14.0, 1.6, 1.7, SURF_ID='WALL' /

Trappsteg 1
Trappsteg 2
Trappsteg 3
Trappsteg 4
Trappsteg 5
Trappsteg 6

--- Strålning ---

&RADI RADIATIVE_FRACTION= 0.35/
&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/
&RADI NUMBER_RADIATION_ANGLES=300/

--- Slicefiles ---

&SLCF PBX=0.5, QUANTITY='TEMPERATURE'/ Temperatur i trappan
&SLCF PBX=0.5, QUANTITY='carbon dioxide'/ CO2 i trappan
&SLCF PBX=0.5, QUANTITY='oxygen'/ Syre i trappan
&SLCF PBX=0.5, QUANTITY='visibility'/ Sikt i trappan

&SLCF PBX=11.5, QUANTITY='TEMPERATURE'/ Temperatur mitt i branden y
&SLCF PBX=8.9, QUANTITY='TEMPERATURE'/ Temperatur mitt i branden x

&SLCF PBX=6.0, QUANTITY='TEMPERATURE'/ Temperatur i mitt
&SLCF PBX=6.0, QUANTITY='carbon dioxide'/ CO2 i mitt
&SLCF PBX=6.0, QUANTITY='oxygen'/ Syre i mitt
&SLCF PBX=6.0, QUANTITY='visibility'/ Sikt i mitt

--- Sprinkler ---

&PROP ID='Acme Heat', QUANTITY='LINK TEMPERATURE', RTI=50., ACTIVATION_TEMPERATURE=68.
/

&DEVC ID='Sp1', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=4, 4, 4.4 /
&DEVC ID='Sp2', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=8, 4, 4.4 /
&DEVC ID='Sp3', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=4, 8, 4.4 /
&DEVC ID='Sp4', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=8, 8, 4.4 /
&DEVC ID='Sp5', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=4, 12, 4.4 /
&DEVC ID='Sp6', PROP_ID='Acme Heat', XYZ=8, 12, 4.4 /

--- Devices ---

-- Temperatur RUM11 --

&DEVC ID='RUM11 TEMP1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ= 1.5, 13, 0.05 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 10 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='RUM11 TEMP44', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ= 1.5, 13, 4.35 /

-- Temperatur RUM12 --

&DEVC ID='RUM12 TEMP1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ= 8, 13, 0.05 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 10 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='RUM12 TEMP44', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ= 8, 13, 4.35 /

-- Temperatur RUM13 --

&DEVC ID='RUM13 TEMP1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ= 6, 5, 0.05 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 10 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='RUM13 TEMP44', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ= 6, 5, 4.35 /

-- Temperatur RUM21--

&DEVC ID='RUM21 TEMP1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ= 15, 5, 0.05 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 10 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='RUM21 TEMP44', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ= 15, 5, 4.35 /

-- Temperatur RUM22 --

&DEVC ID='RUM22 TEMP1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ= 15, 14, 0.05 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 10 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='RUM22 TEMP44', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ= 15, 14, 4.35 /

-- Strålning --

&DEVC ID='RADI1', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX', XYZ= 3, 8.5, 0.2, IOR= 3 /

&DEVC ID='RADI2', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX', XYZ= 3, 9.5, 0.5, IOR= 3 /

&DEVC ID='RADI3', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX', XYZ= 3, 10.5, 0.8, IOR= 3 /

&DEVC ID='RADI4', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX', XYZ= 3, 11.5, 1.1, IOR= 3 /

&DEVC ID='RADI5', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX', XYZ= 3, 12.5, 1.4, IOR= 3 /

&DEVC ID='RADI6', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX', XYZ= 3, 13.5, 1.7, IOR= 3 /

-- Koldioxid i trappan --

&DEVC ID='Trappa CO11', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=0.51, 8.51, 1.71 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='Trappa CO16', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=0.51, 8.51, 4.21 /

&DEVC ID='Trappa CO21', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=0.51, 9.51, 2.01 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='Trappa CO25', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=0.51, 9.51, 4.01 /

&DEVC ID='Trappa CO31', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=0.51, 10.51, 2.31 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='Trappa CO35', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=0.51, 10.51, 4.31 /

&DEVC ID='Trappa CO41', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=0.51, 11.51, 2.61 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='Trappa CO44', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=0.51, 11.51, 4.11 /

&DEVC ID='Trappa CO51', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=0.51, 12.51, 2.91 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='Trappa CO54', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=0.51, 12.51, 4.41 /

&DEVC ID='Trappa CO61', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=0.51, 13.51, 3.21 /

&DEVC ID='Trappa CO62', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=0.51, 13.51, 3.71 /

&DEVC ID='Trappa CO63', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=0.51, 13.51, 4.21 /

-- Syre i trappan --

&DEVC ID='Trappa O11', QUANTITY='oxygen', XYZ=0.51, 8.51, 1.71 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='Trappa O16', QUANTITY='oxygen', XYZ=0.51, 8.51, 4.21 /

&DEVC ID='Trappa O21', QUANTITY='oxygen', XYZ=0.51, 9.51, 2.01 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='Trappa O25', QUANTITY='oxygen', XYZ=0.51, 9.51, 4.01 /

&DEVC ID='Trappa O31', QUANTITY='oxygen', XYZ=0.51, 10.51, 2.31 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='Trappa O35', QUANTITY='oxygen', XYZ=0.51, 10.51, 4.31 /

&DEVC ID='Trappa O41', QUANTITY='oxygen', XYZ=0.51, 11.51, 2.61 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='Trappa O44', QUANTITY='oxygen', XYZ=0.51, 11.51, 4.11 /

&DEVC ID='Trappa O51', QUANTITY='oxygen', XYZ=0.51, 12.51, 2.91 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='Trappa O54', QUANTITY='oxygen', XYZ=0.51, 12.51, 4.41 /

&DEVC ID='Trappa O61', QUANTITY='oxygen', XYZ=0.51, 13.51, 3.21 /

&DEVC ID='Trappa O62', QUANTITY='oxygen', XYZ=0.51, 13.51, 3.71 /

&DEVC ID='Trappa O63', QUANTITY='oxygen', XYZ=0.51, 13.51, 4.21 /

-- Koldioxid i Mitten --

&DEVC ID='Mitten CO11', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=6.01, 8.51, 1.71 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='Mitten CO16', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=6.01, 8.51, 4.21 /

&DEVC ID='Mitten CO21', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=6.01, 9.51, 2.01 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='Mitten CO25', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=6.01, 9.51, 4.01 /

&DEVC ID='Mitten CO31', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=6.01, 10.51, 2.31 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='Mitten CO35', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=6.01, 10.51, 4.31 /

&DEVC ID='Mitten CO41', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=6.01, 11.51, 2.61 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='Mitten CO44', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=6.01, 11.51, 4.11 /

&DEVC ID='Mitten CO51', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=6.01, 12.51, 2.91 /

Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:

&DEVC ID='Mitten CO54', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=6.01, 12.51, 4.41 /

&DEVC ID='Mitten CO61', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=6.01, 13.51, 3.21/
&DEVC ID='Mitten CO62', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=6.01, 13.51, 3.71/
&DEVC ID='Mitten CO63', QUANTITY='carbon dioxide', XYZ=6.01, 13.51, 4.21/

-- Syre i Mitten --

&DEVC ID='Mitten O11', QUANTITY='oxygen', XYZ=6.01, 8.51, 1.71 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='Mitten O16', QUANTITY='oxygen', XYZ=6.01, 8.51, 4.21 /

&DEVC ID='Mitten O21', QUANTITY='oxygen', XYZ=6.01, 9.51, 2.01 /
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='Mitten O25', QUANTITY='oxygen', XYZ=6.01, 9.51, 4.01 /

&DEVC ID='Mitten O31', QUANTITY='oxygen', XYZ=6.01, 10.51, 2.31/
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='Mitten O35', QUANTITY='oxygen', XYZ=6.01, 10.51, 4.31/

&DEVC ID='Mitten O41', QUANTITY='oxygen', XYZ=6.01, 11.51, 2.61/
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='Mitten O44', QUANTITY='oxygen', XYZ=6.01, 11.51, 4.11/

&DEVC ID='Mitten O51', QUANTITY='oxygen', XYZ=6.01, 12.51, 2.91/
Därefter på samma X- och y-kordinat med 50 centimeters förskjutning i z-led upp till:
&DEVC ID='Mitten O54', QUANTITY='oxygen', XYZ=6.01, 12.51, 4.41/

&DEVC ID='Mitten O61', QUANTITY='oxygen', XYZ=6.01, 13.51, 3.21/
&DEVC ID='Mitten O62', QUANTITY='oxygen', XYZ=6.01, 13.51, 3.71/
&DEVC ID='Mitten O63', QUANTITY='oxygen', XYZ=6.01, 13.51, 4.21/

-- Layer Height --

&DEVC ID='Layerheight', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=6.01,6.01, 7.01,7.01, 0.0,4.5 /

-- Sikt --

&DEVC ID='siktz', QUANTITY='path obscuration', XB=6.01,6.01, 7.01,7.01, 0.0,4.5 / 'z-led mitt i rummet'

&DEVC ID='siktT1', QUANTITY='path obscuration', XB=0.5,0.5, 8.0,9.0, 1.95,1.95 / 'y-led trappa'
&DEVC ID='siktT2', QUANTITY='path obscuration', XB=0.5,0.5, 9.0,10.0, 2.25,2.25 / 'y-led trappa'
&DEVC ID='siktT3', QUANTITY='path obscuration', XB=0.5,0.5, 10.0,11.0, 2.55,2.55/ 'y-led trappa'
&DEVC ID='siktT4', QUANTITY='path obscuration', XB=0.5,0.5, 11.0,12.0, 2.85,2.85 / 'y-led trappa'
&DEVC ID='siktT5', QUANTITY='path obscuration', XB=0.5,0.5, 12.0,13.0, 3.15,3.15 / 'y-led trappa'
&DEVC ID='siktT6', QUANTITY='path obscuration', XB=0.5,0.5, 13.0,14.0, 3.45,3.45 / 'y-led trappa'

&DEVC ID='siktM1', QUANTITY='path obscuration', XB=6.01,6.01, 8.0,9.0, 1.95,1.95 / 'y-led mitt'

&DEVC ID='siktM2', QUANTITY='path obscuration', XB=6.01,6.01, 9.0,10.0, 2.25,2.25 / 'y-led mitt'
&DEVC ID='siktM3', QUANTITY='path obscuration', XB=6.01,6.01, 10.0,11.0, 2.55,2.55/ 'y-led mitt'
&DEVC ID='siktM4', QUANTITY='path obscuration', XB=6.01,6.01, 11.0,12.0, 2.85,2.85 / 'y-led mitt'
&DEVC ID='siktM5', QUANTITY='path obscuration', XB=6.01,6.01, 12.0,13.0, 3.15,3.15 / 'y-led mitt'
&DEVC ID='siktM6', QUANTITY='path obscuration', XB=6.01,6.01, 13.0,14.0, 3.45,3.45 / 'y-led mitt'

&TAIL /

Bilaga Q: Utrymning

Nedan presenteras utrymningskonfigurationerna för respektive scenario.

Scenario I - Garderob

Simuleringarna ska representera de situationer då mycket folk vistas i utrymmet eftersom utrymningsituationen är som mest komplex då. Utrymning av garderoben antas ske under en paus i föreställning vid stora teatern. Högsta antalet personer i foajén sätts då till 500 personer som är det maximala antalet personer på en föreställning på stora teatern. Fördelningarna varieras sedan mellan målgrupper som är skapade utifrån vilken typ av föreställning det är, exempelvis familjeföreställning eller vuxenföreställning. Antalet funktionsnedsatta är anpassade efter antalet avsatta platser i lokalerna samt dimensionering gällande andel funktionshindrade i publika lokaler. 1 % av besökarna antas ha en funktionsnedsättning enligt BBR 5:352 (Boverket I, 2011). I Tabell Q 1 nedan presenteras de olika utrymningsscenarierna för simuleringarna i garderoben. Vid blockerade nödutgångar väljs alltid den grönmärkerade i Figur 12 som en av dessa.

Tabell Q 1. Fördelning och förutsättningar samt resultat för respektive utrymningsscenario vid simulering i Simulex för garderoben

Försök	Antal personer	Män & kvinnor	Barn	Äldre	Funktionsnedsatta	Antal utrymningsvägar	Förflyttningstid [s]
1.1	500	165	165	165	5	10	117
1.2	500	165	165	165	5	9	116
1.3	500	165	165	165	5	8	115
1.4	500	150	350	0	0	10	100
1.5	500	150	350	0	0	8	120
1.6	500	250	0	245	5	10	101
1.7	500	250	0	245	5	8	116
1.8	290	96	95	96	3	10	82
1.9	290	96	95	96	3	9	82
1.10	290	96	95	96	3	8	87
1.11	290	90	200	0	0	10	63
1.12	290	90	200	0	0	8	64
1.13	290	144	0	143	3	10	80
1.14	290	144	0	143	3	7	82
1.15	395	130	130	130	5	10	79
1.16	395	130	130	130	5	9	114
1.17	395	130	130	130	5	8	125
1.18	395	140	255	0	0	8	92
1.19	395	196	0	195	4	9	83
1.20	395	196	0	195	4	8	83

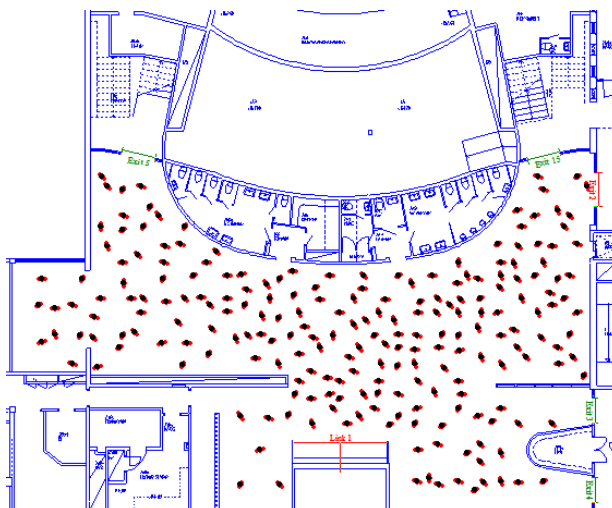
Nedan presenteras utrymningstiden och säkerhetsmarginalen för respektive utrymningsscenario.

Tabell Q 2. Utrymningstid och säkerhetsmarginal för respektive utrymningsscenario i garderoben

Utrymningsscenario	Utrymningstid [s]
1.1	247
1.2	246
1.3	245
1.4	230
1.5	250
1.6	231
1.7	246
1.8	212
1.9	212
1.10	217
1.11	193
1.12	194
1.13	210
1.14	212
1.15	209
1.16	244
1.17	255
1.18	222
1.19	213
1.20	213

Eftersom kritiska förhållanden aldrig uppstår behövs ingen säkerhetsmarginal bestämmas.

Figur Q 1 nedan visar exempel på uppställning av ett av försöken i Simulex på ett av våningsplanen.



Figur Q 1. Exempel på utplacering av personer i Simulex för våning 2 garderoben

Scenario II – Publikdel stora teatern

Maximala antalet personer som kan vistas i den publika delen är 500 personer, dock visar statistik över antalet besökare att det i medel är 58 % som är i lokalen. Utifrån de siffrorna väljs maxantalet till 500 och sedan även 290 och 395. Fördelningen mellan målgrupperna är gjorda utifrån vilken typ av föreställning det är, exempelvis riktad mot barn eller vuxna. Antalet funktionsnedsatta är anpassade efter antalet avsatta platser i lokalerna samt dimensionering gällande andel funktionshindrade i publika lokaler. Cirka en procent av besökarna antas ha en funktionsnedsättning enligt BBR 5:352 (Boverket I, 2011). Dörrarna kan blockeras av till exempel möbler eller barnvagnar. I Tabell Q 3 nedan presenteras de olika ingångsparametrarna för simuleringarna i Simulex.

Tabell Q 3. Fördelning och förutsättningar samt resultat för respektive utrymningsscenario vid simulering i Simulex för parkett i stora teatern

Försök	Antal personer	Män & kvinnor	Barn	Äldre	Funktionsnedsatta	Antal utrymningsvägar	Förflyttningstid
2.1	400	131	132	132	5	4	105
2.2	400	131	132	132	5	3	131
2.3	400	133	133	132	2	3	153
2.4	400	120	280	0	0	2	145
2.5	400	120	280	0	0	3	99
2.6	400	200	195	0	5	3	121
2.7	400	200	195	0	5	4	103
2.8	190	62	62	63	3	4	79
2.9	190	62	62	63	3	3	84
2.10	190	63	63	63	1	3	86
2.11	190	60	130	0	0	2	101
2.12	190	60	130	0	0	4	62
2.13	190	144	0	143	3	4	65
2.14	190	144	0	143	3	2	99
2.15	295	97	97	97	4	4	75
2.16	295	97	97	97	4	3	112
2.17	295	98	98	97	2	2	105
2.18	295	105	190	0	0	4	82
2.19	295	145		146	4	4	89
2.20	295	146		147	2	2	128

Nedan presenteras utrymningstiden och säkerhetsmarginalen för respektive utrymningsscenario.

Tabell Q 4. Utrymningstid och säkerhetsmarginal för respektive utrymningsscenario på parkett i stora teatern

Utrymningsscenario	Utrymningstid [s]	Säkerhetsmarginal utan sprinkler [s]	Säkerhetsmarginal med sprinkler [s]
2.1	155	40	64
2.2	181	14	38
2.3	203	-8	16
2.4	195	0	24
2.5	149	46	70
2.6	171	24	48
2.7	153	42	66
2.8	129	66	90
2.9	134	61	85
2.10	136	59	83
2.11	151	44	68
2.12	112	83	107
2.13	115	80	104
2.14	149	46	70
2.15	125	70	94
2.16	162	33	57
2.17	155	40	64
2.18	132	63	87
2.19	139	56	80
2.20	178	17	41

Simuleringar har även gjorts separat på balkongdelen för att se hur förflyttningstiden blir för endast balkongen. Dessa försök presenteras i Tabell Q 5 nedan.

Tabell Q 5. Fördelning och förutsättningar samt resultat för respektive utrymningsscenario vid simulering i Simulex för balkongen i stora teatern

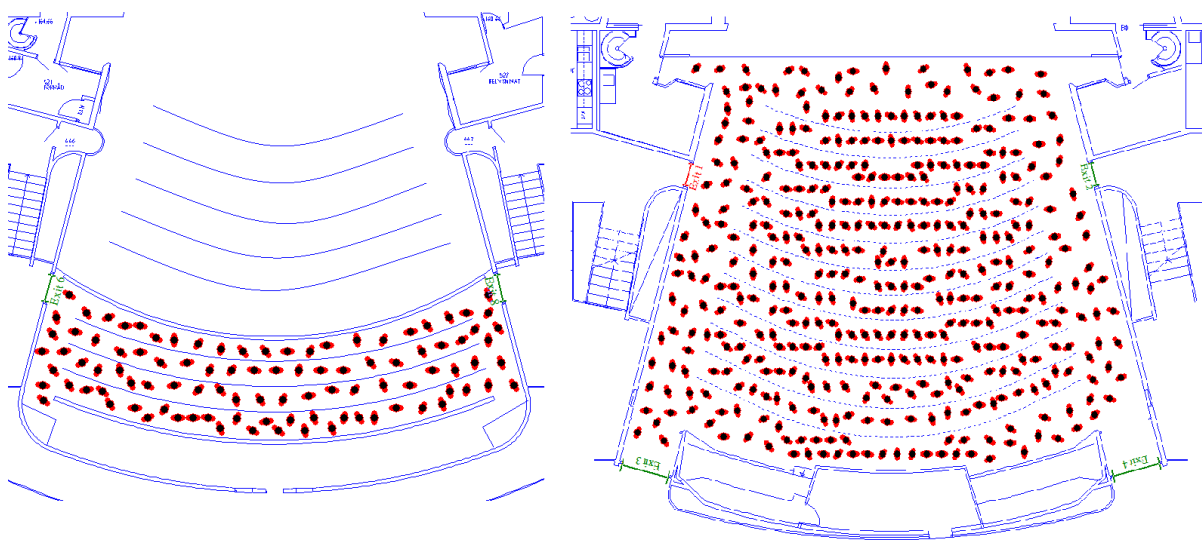
Försök	Antal personer	Män & kvinnor	Barn	Äldre	Funktionsnedsatta	Antal utrymningsvägar	Förflyttningstid [s]
B1	100	33	33	34	0	2	64
B2	100	33	33	34	0	1	119
B3	100	25	75	0	0	2	56
B4	100	25	75	0	0	1	100
B5	100	50	0	50	0	2	62
B6	100	50	0	50	0	1	105

Nedan presenteras utrymningstiden och säkerhetsmarginalen för respektive utrymningsscenario.

Tabell Q 6. Utrymningstid och säkerhetsmarginal för respektive utrymningsscenario på balkongen i stora teatern

Utrymningsscenario	Utrymningstid [s]	Säkerhetsmarginal utan sprinkler [s]	Säkerhetsmarginal med sprinkler [s]
B1	114	-64	-64
B2	169	-119	-119
B3	106	-56	-56
B4	150	-100	-100
B5	112	-62	-62
B6	155	-105	-105

Figur Q 2 nedan visar en uppställning av ett av försöken i Simulex.



Figur Q 2. Exempel på utplacering av personer i Simulex för stora teatern

Scenario III – Lilla scen

Antalet sittplatser är cirka 90 stycken vid lilla scen och statistik visar att den genomsnittliga publikbeläggningen är 78,7 %. Det motsvarar 71 personer, vilket kommer användas vid simulering och jämföras med om det varit fullsatt och ett antal mellan dessa. Fördelningen mellan målgrupperna är gjorda utifrån vilken typ av föreställning det är, exempelvis riktad mot barn eller vuxna. I simuleringarna kan antalet funktionsnedsatta anses överskattat. Dessa är valda efter antalet platser som är avsedda för dem och antal utrymningsvägar är dimensionerade efter rimligt tillgängliga. Dörrarna kan blockeras av till exempel möbler eller barnvagnar. Totalt finns tre stycken nödutgångar och två av dessa är i direkt anslutning till publikläktaren, varför en eller två dörrar avses vara tillgängliga. I Tabell Q 7 nedan presenteras de olika ingångsparametrarna för simuleringarna i Simulex.

Tabell Q 7. Fördelning och förutsättningar samt resultat för respektive utrymningsscenario vid simulering i Simulex för lilla scenen

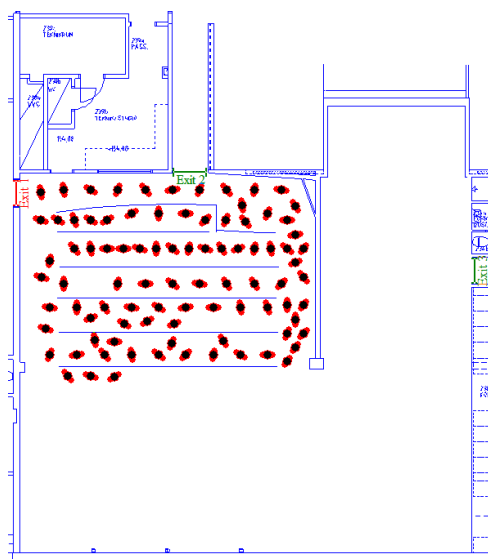
Försök	Antal personer	Män & kvinnor	Barn	Äldre	Funktionsnedsatta	Antal utrymningsvägar	Förflyttningstid [s]
3.1	90	28	28	28	5	2	57
3.2	90	28	28	28	5	1	61
3.3	90	29	29	29	3	2	53
3.4	90	44	0	43	3	3	54
3.5	90	42	0	42	5	2	57
3.6	90	4	86	0	0	2	48
3.7	90	4	86	0	0	1	83
3.8	71	23	23	21	4	2	46
3.9	71	23	23	21	4	1	76
3.10	71	23	23	23	2	2	43
3.11	71	33	0	34	4	2	36
3.12	71	35	0	34	2	1	62
3.13	71	3	68	0	0	2	39
3.14	71	3	68	0	0	1	66
3.15	50	16	16	16	2	2	38
3.16	50	16	16	16	2	1	59
3.17	50	35	15	0	0	2	35
3.18	50	35	15	0	0	1	50
3.19	50	24	24	0	2	2	30
3.20	50	24	24	0	2	1	50

Nedan presenteras utrymningstiden och säkerhetsmarginalen för respektive utrymningsscenario.

Tabell Q 8. Utrymningstid och säkerhetsmarginal för respektive utrymningsscenario vid lilla scen

Utrymningsscenario	Utrymningstid [s]	Säkerhetsmarginal utan sprinkler [s]	Säkerhetsmarginal med sprinkler [s]
3.1	107	-35	-35
3.2	111	-39	-39
3.3	103	-31	-31
3.4	104	-32	-32
3.5	107	-35	-35
3.6	98	-26	-26
3.7	133	-61	-61
3.8	96	-24	-24
3.9	126	-54	-54
3.10	93	-21	-21
3.11	86	-14	-14
3.12	112	-40	-40
3.13	89	-17	-17
3.14	116	-44	-44
3.15	88	-16	-16
3.16	109	-37	-37
3.17	85	-13	-13
3.18	100	-28	-28
3.19	80	-8	-8
3.20	100	-28	-28

Figur Q 3 nedan visar en uppställning av ett av försöken i Simulex.



Figur Q 3. Exempel på utplacering av personer i Simulex för lilla scenen

Scenario IV - Bibliotek

Maximala antalet personer som beräknas vara i biblioteket samtidigt är 360 personer (Lovén, 2012). Vid simulering av utrymningstid kommer antalet personer vara 360, 230 och 100. Fördelningen mellan målgrupperna är gjorda utifrån typ av arrangemang, exempelvis riktat mot barn eller vuxna. I simuleringarna kan antalet funktionsnedsatta anses överskattat. Dessa är valda eftersom en äldre målgrupp kan förväntas vistas här och antalet utrymningsvägar är dimensionerade efter rimligt tillgängliga. Dörrarna kan blockeras av exempelvis möbler eller barnvagnar. Totalt finns det fem nödutgångar från biblioteket. I Tabell Q 9 nedan presenteras de olika ingångsparametrarna för simuleringarna i Simulex.

Tabell Q 9. Fördelning och förutsättningar samt resultat för respektive utrymningsscenario vid simulering i Simulex för biblioteket

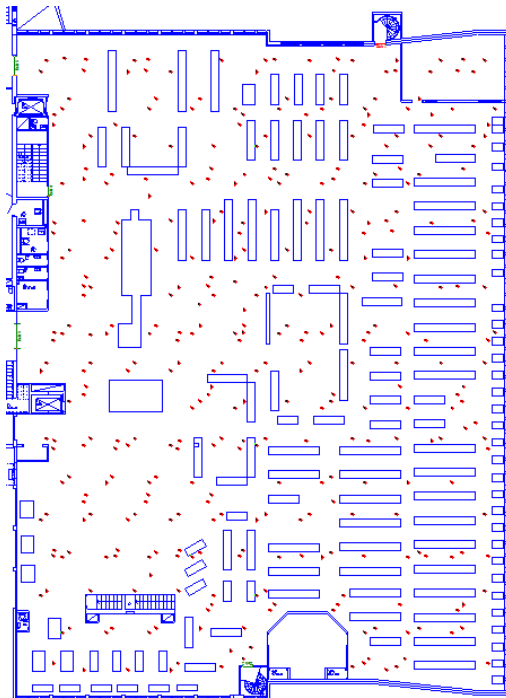
Försök	Antal personer	Män/kvinnor	Barn	Äldre	Funktionsnedsatta	Antal utrymningsvägar	Förflyttningstid [s]
4.1	360	117	118	117	8	5	65
4.2	360	117	118	117	8	4	91
4.3	360	119	119	118	4	3	110
4.4	360	176	0	176	8	5	86
4.5	360	176	0	176	8	2	108
4.6	360	120	240	0	0	2	104
4.7	360	120	240	0	0	3	92
4.8	100	32	32	32	4	4	46
4.9	100	32	32	32	4	3	72
4.10	100	32	33	33	2	5	46
4.11	100	47	0	48	5	2	78
4.12	100	47	0	48	5	4	56
4.13	100	33	67	0	0	3	73
4.14	100	33	67	0	0	2	72
4.15	230	75	75	74	6	5	60
4.16	230	75	75	74	6	3	90
4.17	230	79	69	72	6	4	61
4.18	230	80	150	0	0	3	83
4.19	230	80	150	0	0	5	63
4.20	230	114	0	113	3	5	69

Nedan presenteras utrymningstiden och säkerhetsmarginalen för respektive utrymningsscenario.

Tabell Q 10. Utrymningstid och säkerhetsmarginal för respektive utrymningsscenario i biblioteket

Utrymningsscenario	Utrymningstid [s]	Säkerhetsmarginal [s]
4.1	275	325
4.2	301	299
4.3	320	280
4.4	296	304
4.5	318	282
4.6	314	286
4.7	302	298
4.8	256	344
4.9	282	318
4.10	256	344
4.11	288	312
4.12	266	334
4.13	283	317
4.14	282	318
4.15	270	330
4.16	300	300
4.17	271	329
4.18	293	307
4.19	273	327
4.20	279	321

Figur Q 4 nedan visar en uppställning av ett av försöken i Simulex.



Figur Q 4. Exempel på utplacering av personer i Simulex för biblioteket

Sammanställning

I Tabell Q 11 nedan presenteras en sammanställning från simuleringarna i Simulex för alla fyra scenarierna.

Tabell Q 11. Sammanställning av resultat från Simulex för samtliga scenarier

Scenario	Tid [s]		
	Snabbast	Långsammast	Medelvärde
Garderob	63	125	95
Stora teatern	62	153	101
Lilla scen	40	107	76
Bibliotek	46	110	76