

Brandteknisk riskvärdering av

Hässleholm Kulturhus

*Simon Espenrud
Joel Johansson
Peder Liljeroth
Leif Staffansson*



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

*Brandteknik och Riskhantering
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
Rapport 9341, Lund 2008*

Brandteknisk riskvärdering av Hässleholm Kulturhus

Simon Espenrud

Joel Johansson

Peder Liljeroth

Leif Staffansson

Lund 2008

**Avdelningen för Brandteknik
och Riskhantering**

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
and Systems Safety**

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 Hässleholm Kulturhus

Title

Fire safety evaluation of Hässleholm Kulturhus, Sweden

Rapport/Report

9341

Av/By

Simon Espenrud
Joel Johansson
Peder Liljeroth
Leif Staffansson

Brandingenjörsprogrammet, Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering,
Lunds tekniska Högskola, 2008

Fire Safety Engineering Program, Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety,
Lund Institute of Technology, 2008

© Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2008

Abstract

This report is a fire safety evaluation of Hässleholm Kulturhus and focuses on the public safety within the building and not on the damage of the property. The building involves many different activities like dental care, cinemas, theatres, restaurants, the city library and a tourist office. The purpose was to evaluate the public safety in case of a fire and the aim was to find defects in the existing fire protection. In the initial stage risk identification was made to identify the worst case scenarios considering the public safety. To find out if the safety in case of a fire was good enough, comparisons were made between the time to evacuate and the time when critical conditions caused by a fire were reached. The evacuation was simulated in the computer program Simulex. To estimate the time to critical conditions, calculations on the hazard of a fire were made in the computer program CFast by using a design fire. The conclusion shows that Hässleholm Kulturhus is safe according to evacuation in case of fire, if the suggested improvements are fulfilled.

Nyckelord

Brandteknisk riskvärdering, brandscenario, kritiska förhållanden, utrymning, CFast, Simulex, Hässleholm Kulturhus

Keywords

Fire safety evaluation, fire scenario, critical conditions, evacuating, CFast, Simulex, Hässleholm Kulturhus

Följande rapport är framtagen i undervisning. 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 återoppar resultaten från rapporten i något sammanhang bär själv ansvaret.

Förord

Ett stort tack riktas till följande personer som givit oss hjälp och stöd under projektets gång.

Robert Jönsson, avdelningschef vid avdelning för brandteknik och riskhantering vid Lunds Tekniska högskola, för handledning och underhållning under projektets gång.

Kajsa Jönsson, säkerhets- och beredskapshandläggare vid räddningstjänsten i Hässleholm, för handledning och värdefulla kommentarer under projektets gång.

Anders Nählstedt, förvaltnings och säkerhetschef vid räddningstjänsten i Hässleholm, för hjälp vid studiebesöket.

Nils-Erik Persson, vaktmästare vid Hässleholm Kulturhus, för hjälp vid studiebesöket.

Daniel Nilsson, doktorand vid avdelning för brandteknik och riskhantering vid Lunds Tekniska högskola, för värdefulla kommentarer och diskussioner under projektets gång.

Patrick van Hees, professor vid avdelning för brandteknik och riskhantering vid Lunds Tekniska högskola, för hjälp och resonemang angående våra olika brandscenarier.

Lars Jensen, professor vid institutionen för installationsteknik vid Lunds Tekniska Högskola, för hjälp med tolkning av ventilationen i Hässleholm Kulturhus.

Simon, Joel, Peder och Leif
Lund 2008

Sammanfattning

Denna brandtekniska riskvärdering av Hässleholm Kulturhus är resultatet av ett projektarbete som ingick som en stor del i kursen Brandteknisk riskvärdering (VBR054) på Lunds Tekniska Högskola. Kursen läses normalt femte terminen av brandingenjörstudenterna. Syftet var att utvärdera personsäkerheten vid händelse av brand och därmed öka den ingenjörsmässiga förmågan att bygga och analysera modeller. Målet med projektarbetet var att fastställa om brister kunde finnas i det befintliga brandskyddet och i sådana fall föreslå lämpliga åtgärder.

Hässleholm Kulturhus började byggas år 1998 och invigdes i slutet av december 2000. Det ägs av Hässleholms kommun och innefattar en mängd olika verksamheter. I byggnaden finns exempelvis Hässleholms stadsbibliotek, turistbyrå, Folkvandvård, restaurang, utställningshallar, biografssalonger samt teatersalonger. Det finns även ett garage i källarplan med anslutning till ytterligare ett garage tillhörande en annan byggnad. Byggnaden består av fyra våningar uppdelade i två skilda delar, hus A och B, med en gemensam foajé öppen i alla fyra plan.

Projektet inleddes med en ritningsgranskning och ett platsbesök. Därefter genomfördes en riskidentifiering som syftade till att identifiera och redovisa de brandrisker som kan tänkas uppkomma med hänsyn till personsäkerheten. Tre troliga brandscenarier identifierades: *Brand i papperskorg i biografssalong*, *brand på scen i Röda salongen* samt *brand i mixerbord i Röda salongen*.

Varje scenario beskrevs med en dimensionerande effektutveckling eftersom denna information behövdes som indata i datorprogrammet CFAST. Efter att simuleringarna genomförts av programmet erhöles utdata såsom brandgaslagrets höjd, temperatur samt strålning mot personer. Dessa analyserades sedan vidare för att avgöra tiden till kritiska förhållanden. Vidare simulerades utrymningen i programmet Simulex. Därefter genomfördes en jämförelse mellan tiden till utrymning och tiden till kritiska förhållanden och slutsatser drogs.

Analyser av scenarierna visade att för brand i papperskorg i biografssalong uppstod kritiska förhållanden efter 50 sekunder med avseende på brandgaslagrets höjd. Vid simuleringar av utrymningen visade det sig att personer kommer att utsättas för brandgaser innan utrymning beräknades ske. Därför krävdes en vidare analys, som visade att personer inte kommer att utsättas för kritiska värden med avseende på toxicitet och temperatur. Däremot blev sikten kritisk. En närmre analys av siktförhållandena visade att utrymning kunde ske tillfredsställande trots kritisk nivå på sikten.

En brand i teaterscenens tygridå i Röda salongen undersöktes. Analysen visade att kritiska förhållanden uppstod på scenen efter 200 sekunder med avseende på brandgaslagrets höjd. Antaganden gjordes att utrymningslarmet aktiverades manuellt efter 1 minut, vilket även medförde att den röksektionerande ridån stängdes. Brandgasventilationen aktiverades efter 155 sekunder. Vid simuleringar av utrymningen av scenen visade det sig att den totala utrymningstiden beräknades till 145 sekunder, vilket resulterar i en fullgod utrymning ur personsäkerhets-synpunkt.

Tillsist undersöktes en brand i mixerbordet i Röda salongen. Analysen visade att kritiska förhållanden uppstod dels på balkongen vid 155 sekunder med avseende på brandgaslagrets höjd, dels under balkongen vid 230 sekunder med avseende på infallande strålning. Brandgasventilationen aktiverades efter 165 sekunder. Vid simuleringar av utrymningen beräknades utrymningen vara avklarad endast under balkongen innan kritiska förhållanden uppstod. Därför krävdes en vidare analys där sikt, temperatur och toxicitet undersöktes. Analysen

visade att personer inte kommer att utsättas för kritiska förhållanden med avseende på sikt, temperatur och toxicitet samt att brandgaslagret höjs över kritisk nivå när brandgasevakeringen startar. Fullgod utrymning bedömdes kunna ske.

Vissa brister i brandskyddet identifierades, vilka resulterade i åtgärdsförslag. För att brandskyddet skall fungera över tiden och Hässleholm Kulturhus skall anses som säker i händelse av brand måste vissa åtgärder göras och dessa redovisas nedan.

Dessa åtgärder *skall* vidtas för att Hässleholm Kulturhus skall anses som säker i händelse av brand:

- Brandgasventilationen skall kontrolleras för att säkerhetsställa funktion samt schemalagda kontroller och periodiskt underhåll skall utföras.
- Röksektionerande ridå skall kontrolleras för att säkerhetsställa funktion samt schemalagda kontroller och periodiskt underhåll skall utföras.
- En organisation för systematiskt brandskyddsarbete skall upprättas.

Utöver dessa föreslogs en rad andra åtgärder, exempelvis att samtliga utrymningsskyltar i biograf-salongerna och slussen skall vara väl synliga och belysta/genomlysta.

Innehållsförteckning

1	Inledning	11
1.1	Bakgrund	11
1.2	Syfte	11
1.3	Problemformulering	11
1.4	Metod	11
1.5	Avgränsningar	12
2	Objektsbeskrivning	13
2.1	Verksamhetsbeskrivning	13
2.2	Byggnadsbeskrivning	13
2.2.1	Källarplan, plan 0	15
2.2.2	Entréplan, plan 1	15
2.2.3	Plan 2	16
2.2.4	Plan 3	16
2.2.5	Plan 4	17
2.3	Ventilation	18
3	Befintligt brandskydd	19
3.1	Passiva system	19
3.1.1	Brandteknisk klass	19
3.1.2	Brandcellsindelning	19
3.2	Aktiva system	20
3.2.1	Automatiskt brandlarm	20
3.2.2	Sprinklersystem	21
3.2.3	Skydd mot brandgasspridning	21
3.2.4	Brandgasventilation	22
3.2.5	Övriga aktiva system	23
3.2.6	Manuella släckredskap	23
3.2.7	Räddningstjänst	23
4	Utrymningsvägar	24
4.1	Dimensioneringsmetoder	24
4.2	Detaljkrav och råd enligt BBR	24
4.3	Utrymning av publika lokaler	25
4.3.1	Garage	25
4.3.2	Bibliotek (sprinklat)	25
4.3.3	Restaurang	26

4.3.4	Utställningshall/turistinformation	26
4.3.5	Café (sprinklat)	26
4.3.6	Biografsalong 1	26
4.3.7	Biografsalong 2	27
4.3.8	Biografsalong 3	27
4.3.9	Biograffoajé	27
4.3.10	Röda salongen (scen sprinklad)	27
4.3.11	Blåa salongen (sprinklat).....	28
4.3.12	Vita salongen (sprinklat)	28
4.3.13	Teaterfoajé (sprinklat)	28
5	Teori.....	30
5.1	Modell av utrymningsförloppet.....	30
5.2	Simulex	30
5.3	Två-zonsmodellering	31
5.4	CFast	32
5.5	Detact-QS och Detact-T2	32
6	Kritiska förhållanden	34
6.1	Kritiska förhållanden vid utrymning	34
7	Riskidentifiering	35
7.1	Grovanalys	35
7.1.1	Val av brandscenarier	37
7.2	Beskrivning av brandscenarier	38
7.2.1	Biografsalong 1 – Brand i papperskorg	38
7.2.2	Röda salongen – Brand på scen	38
7.2.3	Röda salongen – Brand i mixerbord.....	39
8	Brandscenarier	40
8.1	Scenario 1 – Brand i papperskorg	40
8.1.1	Lokalbeskrivning	40
8.1.2	Brandförlopp	41
8.1.3	Aktivering av brand- och utrymningslarm	41
8.1.4	Tid till kritiska förhållanden	42
8.1.5	Tid till utrymning	42
8.1.6	Resultat.....	43
8.1.7	Känslighetsanalys.....	45
8.2	Scenario 2 – Brand på scen	46
8.2.1	Lokalbeskrivning	46

8.2.2	Brandförlopp	48
8.2.3	Aktivering av brand- och utrymningslarm	48
8.2.4	Tid till kritiska förhållanden	48
8.2.5	Tid till utrymning	49
8.2.6	Resultat.....	50
8.2.7	Känslighetsanalys.....	50
8.3	Scenario 3 – Brand i mixerbord	51
8.3.1	Lokalbeskrivning	52
8.3.2	Brandförlopp	52
8.3.3	Aktivering av brand – och utrymningslarm.....	52
8.3.4	Tid till kritiska förhållanden	52
8.3.5	Tid till utrymning	53
8.3.6	Resultat.....	54
8.3.7	Känslighetsanalys.....	55
9	Diskussion	57
9.1	Scenario 1 – Brand i papperskorg	57
9.2	Scenario 2 – Brand på scen	58
9.3	Scenario 3 – Brand i mixerbord	58
9.4	Övrigt brandtekniskt skydd	59
9.4.1	Allmänt	59
9.4.2	Plan 0.....	59
9.4.3	Plan 1.....	60
9.4.4	Plan 2.....	62
9.4.5	Plan 3.....	62
10	Åtgärder	63
10.1	Förslag till åtgärder	63
10.1.1	Biografsalong.....	63
10.1.2	Röda salongen	63
10.1.3	Åtgärdsförslag med anledning av platsbesök	64
10.2	Validering av åtgärder	64
10.2.1	Validering av åtgärder i biografsalong	64
10.2.2	Validering av åtgärder i Röda salongen	64
10.2.3	Validering av övriga åtgärder.....	66

11	Referenser	67
11.1	Litteratur	67
11.2	Internet	68
11.3	Muntliga källor	68
	Bilaga A – Beräkning av dimensionerande gångavstånd	69
	Bilaga B – Effektutvecklingskurvor	78
	Bilaga C – Beräkningar med DetactT2 och DetactQS	85
	Bilaga D – CFast simuleringar	88
	Bilaga E – Tid till utrymning	104
	Bilaga F – Handberäkningar	110
	Bilaga G – Känslighetsanalys	119

1 Inledning

Denna rapport syftar till att behandla personsäkerheten vid tänkbara brandscenarier i Hässleholm Kulturhus.

1.1 Bakgrund

Denna rapport utgör en stor del av kursen Brandteknisk riskvärdering på Lunds Tekniska Högskola och läses normalt femte terminen av brandingenjörsstudenter. Studenterna på kursen har tidigare avklarat kurser i bland annat Termodynamik, Brandkemi och Branddynamik.

Denna rapport riktar sig till studenter på brandingenjörsutbildningen vid Lunds Tekniska Högskola, räddningstjänsten i Hässleholms kommun samt verksamhetsansvariga för objektet.

Hässleholm Kulturhus började byggas år 1998 och invigdes i slutet av december 2000. Det ägs av Hässleholms kommun och innefattar en mängd olika verksamheter. I byggnaden finns exempelvis Hässleholms stadsbibliotek, turistbyrå, Folktandvård, restaurang, utställningshallar, biografssalonger samt teatersalonger. Förutom det finns även ett garage i källarplan med anslutning till ytterligare ett garage tillhörande en annan byggnad. Byggnaden består av fyra våningar uppdelade i två skilda delar, hus A och B, med en gemensam foajé öppen i alla fyra plan.

1.2 Syfte

Rapportens syfte är att bedöma om utrymning av lokalerna kan ske, ur ett brandtekniskt perspektiv, innan kritiska förhållanden uppstår. Detta görs genom att knyta ihop och använda de kunskaper som erhållits under denna kurs samt de kurser som studenten tidigare läst. Detta syftar till att ge studenten ökad insikt i hur dennes kunskap ska kunna nyttjas vid bedömning av personsäkerhet vid händelse av brand i ett byggnadsverk.

Syftet är också att öka den ingenjörsmässiga förmågan genom att lära studenten bygga och analysera modeller.

1.3 Problemformulering

Följande frågeställningar kommer att besvaras i denna rapport:

- Kan en säker utrymning av objektet ske innan kritiska förhållanden uppstår?
- Är det befintliga brandskyddet tillräckligt?
- Kan lämpliga åtgärder, för att förbättra brandskyddet, vidtas till rimliga ekonomiska kostnader?

1.4 Metod

Projektets inleddes med ritningsgranskning och ett studiebesök på Hässleholm Kulturhus tillsammans med handledaren från Brandteknik, Robert Jönsson, samt handledarna vid objektets lokala räddningstjänst, Kajsa Jönsson och Anders Nählstedt. Vid detta studiebesök togs ett flertal fotografier och ritningarna jämfördes mot verkligheten. Studiebesöket gav även studenterna en bättre överblick över lokalerna och hur verksamheten brukade fungera allmänt och rutinerna vid brandlarm. Eventuella brister i brandskyddet noterades för att sedan analyseras. Efter besöket valdes de brandscenarier ut, som var mest intressanta ur utrymningssäkerhetsperspektiv. Det bestämdes även vilka avgränsningar som skulle göras vid analysen.

1.5 Avgränsningar

Avgränsningarna har valts så att det är utrymning från de publika delarna, där det förväntas vistas mycket folk, som beaktas. Framför allt de utrymmen där människor med begränsad lokal-kännedom befinner sig och där en brand kan få stora konsekvenser för personsäkerheten. Folkandvården, kontorslokaler och andra mindre utrymmen har därför valts att inte studeras i denna rapport. Under projektets arbetsgång pågick en utställning i teaterns mindre salonger, vilken inte har valts att studeras i denna rapport. I stället studerades den normala verksamheten i dessa salonger. För att få en bild av hur den normala verksamheten ser ut, har antaganden gjorts utifrån intervjuer på plats.

2 Objektsbeskrivning

Objektet består av Hässleholm Kulturhus, innehållande lokaler för Hässleholms stadsbibliotek med tillhörande kontorslokaler, stadsteater med intilliggande föreningslokaler samt biografier med mera. Objektsbeskrivningen syftar till att ge en överblick över kulturhusets våningsplan med tillhörande lokaler. Kulturhuset är beläget i centrala delen av staden, med adressen Vattugatan 18/Järnvägsgatan 23. Byggnadens totalyta uppgår till 12 000 kvm. (*Fakta om kulturhusets lokaler*, www.hassleholm.se). Hässleholm Kulturhus ägs av Hässleholms kommun.

2.1 Verksamhetsbeskrivning

Kulturhuset innefattar en mängd olika verksamheter såsom underhållning, bibliotek, servering och folktandvård. I byggnaden finns Stadsbiblioteket med tillhörande kontorslokaler, en turistbyrå med anslutande utställningshall samt Folktandvård. Här finns också serveringar i form av en restaurang med plats för 130 personer och ett café. Det finns även tre teatersalonger, ”Röda salongen” med plats för 398 personer, ”Blåa salongen” med plats för 164 personer och ”Vita salongen” med plats för 80 personer. Därutöver finns tre biografialonger, ”Biografialong 1” med plats för 203 personer, ”Biografialong 2” med plats för 113 personer och ”Biografialong 3” med plats för 28 personer.

Förutom de ovan beskrivna verksamheterna finns ett garage i källarplan med plats för 66 fordon, med anslutning till ytterligare ett garage tillhörande en annan byggnad.

2.2 Byggnadsbeskrivning

Byggnaden består av fyra våningar uppdelade i två skilda delar, hus A och B, med en gemensam foajé öppen i alla fyra plan. För bild över foajén, se Figur 1. Dessutom finns ett gemensamt källarplan för hus A och B.

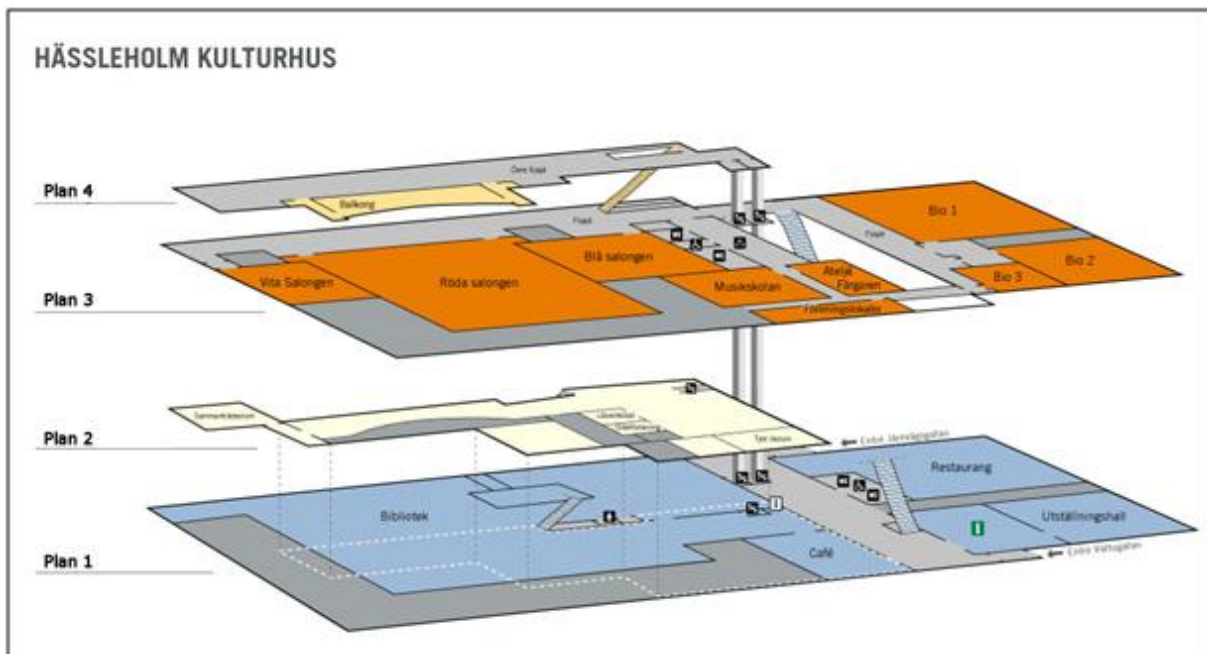
Hus A har två anslutande trapphus, D och E, vilka leder genom hela byggnaden. Trapphus D kan nå från alla våningsplan medan trapphus E däremot inte kan nå från hus A i markplan. Båda trapphusen har utgångar till det fria i markplan. I den öppna foajén finns trappa F, vilken leder från markplan upp till tredje våningen. Här finns dessutom två hissar med vilka man kan nå källarplan, plan ett och plan tre.

I hus B finns fyra trapphus, A, B, K och L. Därutöver finns ett antal hissar, en i anslutning till trapphus A, en i trapphus B och en fristående mellan bibliotekets två plan. Trapphus A och B kan nås via alla plan från källaren till plan tre. Trapphus K och L, som leder genom hela byggnaden, kan nås från plan tre och fyra och har utgång till det fria i markplan. Trapphus K kan dessutom nås från plan ett.

Stommen under mark och bjälklaget är av betong medan den bärande stommen även till viss del är av stål. Fasaden består av putsat tegel och taket består av uppstolpad trästomme täckt av plåt (*Brandskyddsdocumentation*, s. 5).



Figur 1. Den gemensamma foajén för hus A och B är öppen i fyra plan.



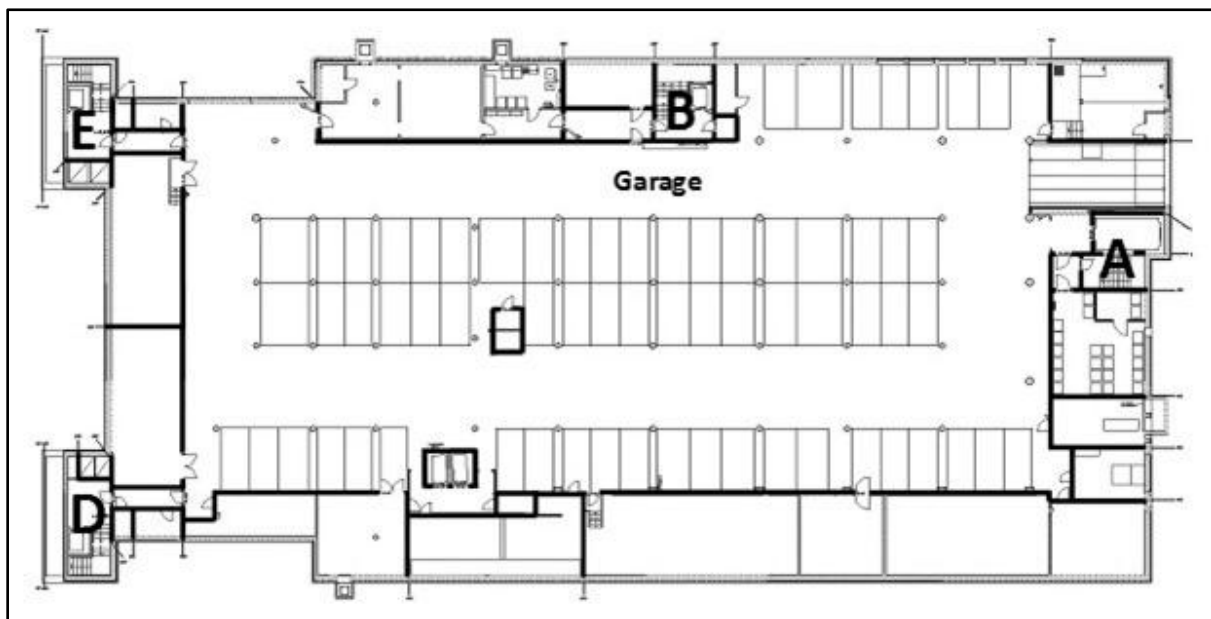
Figur 2. Planskiss över Hässleholm Kulturhus (Wagner Form, <http://www.wagnerform.se/referenser/bibliotek/hassleholmbig.html>).

För att få en bättre överblick av lokalerna görs en beskrivning av de olika planen i följande avsnitt.

2.2.1 Källarplan, plan 0

Källarplanet, som är gemensamt för hus A och B, ligger under marknivå och är till största delen utfört i betong. Källarplanet utgör ett garage för besökare och här finns även skilda teknikutrymmen. Nedfarten till källarplanet sker från Andra avenyn och ligger således i byggnadens södra del. Källarplanet är anslutet till ytterligare ett garage tillhörande en annan byggnad via en öppning i källarplanets nordostliga del där en branddörr går igen vid aktivering av brandlarm. Kulturhuset utgör den enda infarten till det anslutande garaget.

I källarplanet finns fyra trapphus, trapphus D och E i hus A och trapphus A och B i hus B, med tillhörande hissar samt ytterligare två hissar som leder upp till den gemensamma foajén. Dessutom finns ett antal teknikutrymmen, såsom fläktrum, sprinklercentral, hissmaskinrum, fjärrvärmecentral och diverse förråd.

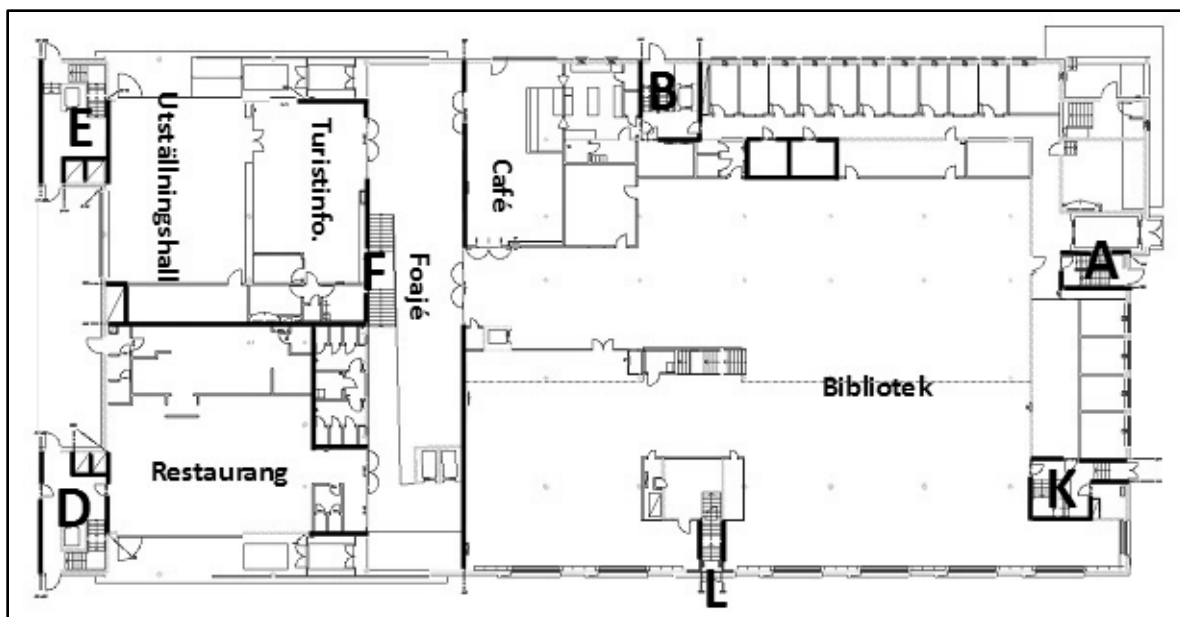


Figur 3. Ritning, plan noll. Svartmarkerade väggar utgör brandcellsgränser.

2.2.2 Entréplan, plan 1

I entréplan förbinds hus A och B av en gemensam foajé. Ingång till foajén sker via två entréer på vardera långsida av byggnaden. I hus A, som är byggnadens norra del, finns en restaurang med plats för 130 personer och en turistbyrå med en anslutande utställningshall.

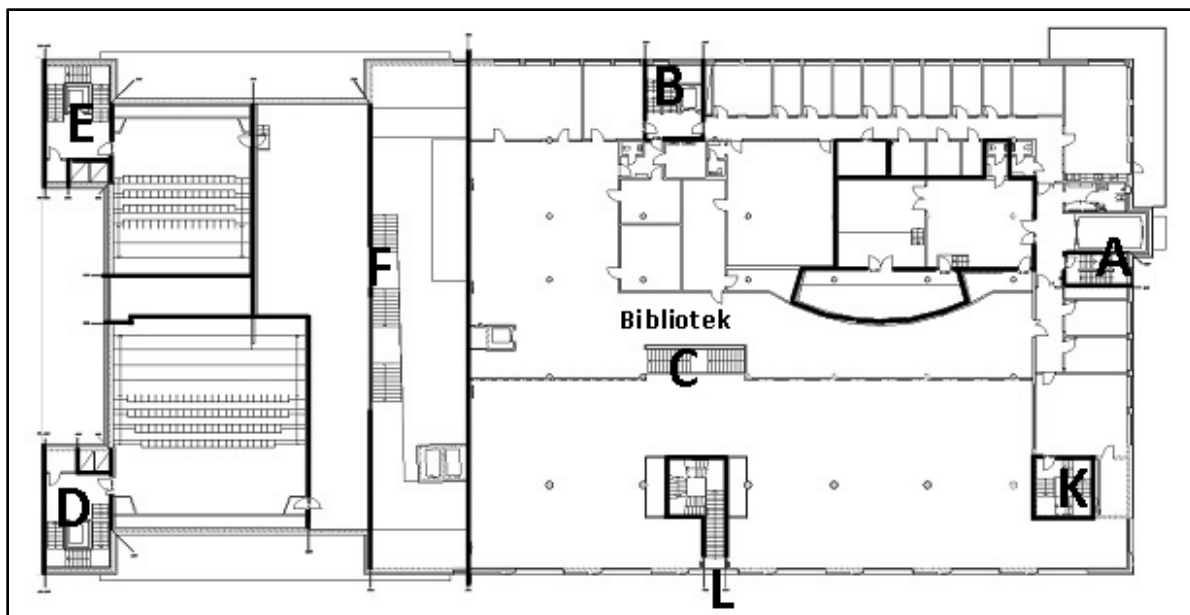
I hus B, som är byggnadens södra och största del, finns Stadsbiblioteket med tillhörande kontorslokaler samt ett café. Stadsbiblioteket har även ett entresolplan tillhörande plan två, som nås via trappa C och viss del av det publika biblioteket är därmed öppet i två våningar. Biblioteket har en barnavdelning med ett ljudisolerat rum, som fungerar som ett grupp- rum/sagorum.



Figur 4. Ritning, plan ett. Svartmarkerade väggar utgör brandcellsgränser.

2.2.3 Plan 2

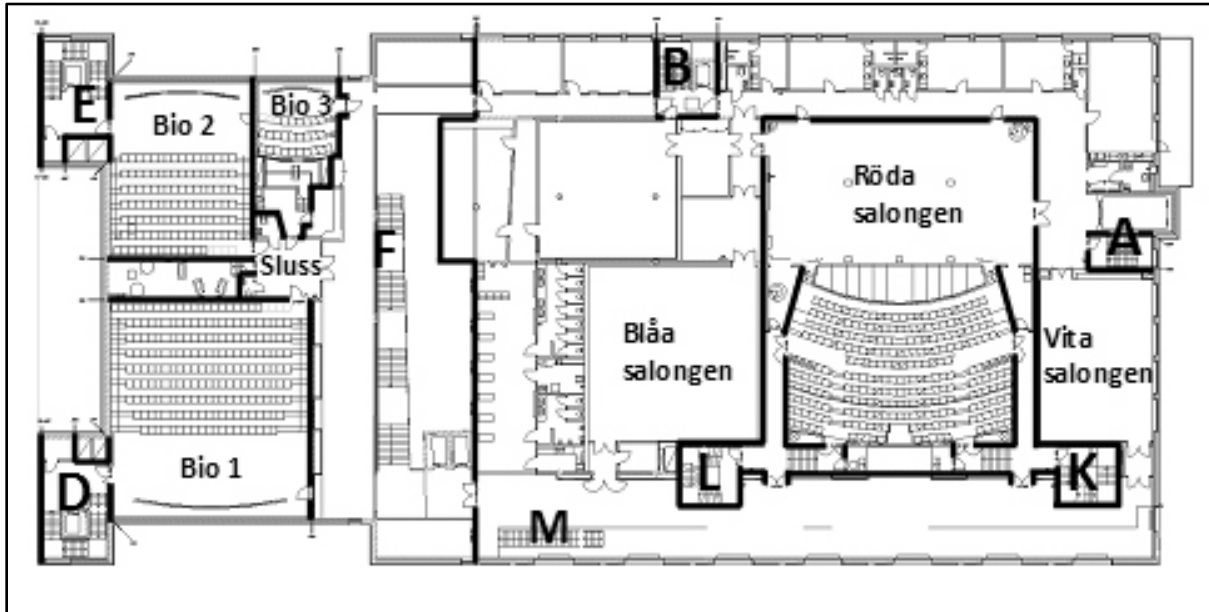
I hus A, på plan två, finns nedre delen av biografsalong 1 och 2 samt installationsutrymme till biografsalongerna. I hus B finns entresolplanet till biblioteket, rum för olika biblioteksverksamheter, kontor, sammanträdesrum, arkiv, orkesterdike till Röda salongen, diverse förråd till biblioteket och teatersalongen samt en utvändig balkong i byggnadens sydöstra hörn. Det finns ingen anslutning mellan hus A och B på plan två.



Figur 5. Ritning, plan två. Svartmarkerade väggar utgör brandcellsgränser.

2.2.4 Plan 3

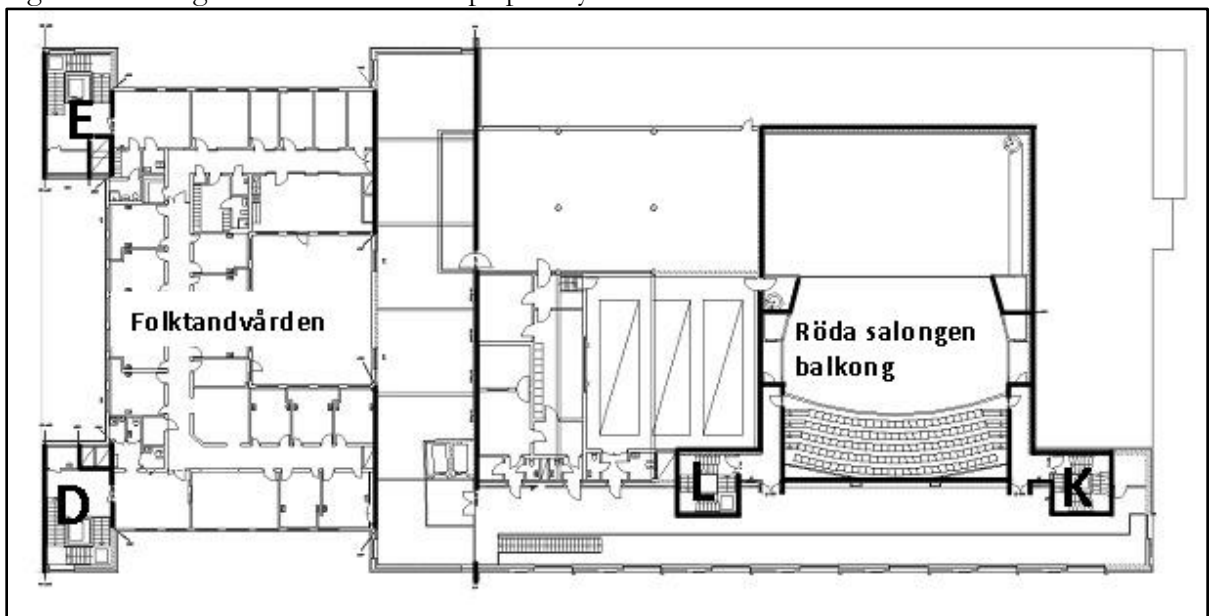
I hus A, på plan tre, finns tre stycken biografsalonger med tillhörande projektorum, förråd, kassa och biografens foajé. I hus B finns tre stycken teatersalonger, blå, röd och vit. Dessutom finns loger, förråd, artistfoajé, teaterfoajé, föreningslokaler, garderob samt ett rum för barnverksamhet. Hus A och B är anslutna till varandra via spång och trapphall till trappa F.



Figur 6. Ritning, plan tre. Svartmarkerade väggar utgör brandcellsgränser.

2.2.5 Plan 4

På plan fyra finns det ett flertal olika verksamheter. I hus A ligger folktandvården med tillhörande kontor. I hus B finns det en radiostudio med tillhörande redaktionsrum, kontrollrum till teater-salongerna, fläktrum, diverse förrådsrum samt ingång till den Röda salongens balkong. Det finns ingen anslutning mellan hus A och B på plan fyra.



Figur 7. Ritning, plan fyra. Svartmarkerade väggar utgör brandcellsgränser.

2.3 Ventilation

Ventilationen i kulturhuset är av typen mekanisk från- och tilluft med värmeväxlare (FTX-system). Tre fläktrum finns i källarplanet och ett fläktrum på våning fyra.

Fläktrum Hus A i källarplanet har ett tilluftsaggregat, TA01 och ett frånluftsaggregat, FA01, som betjänar biografssalongerna, restaurangen och Folkvandvården. TA01 och FA01 har en kapacitet på 9135 l/s vardera.

I *Fläktrum Garage* i källarplanet finns ett frånluftsaggregat, FA03, med en kapacitet på 7085 l/s och en frånluftsfläkt, FF06, med en kapacitet på 1780 l/s. FA03 betjänar frånluft i garaget och FF06 betjänar restaurangkökets imkanal och stekhäll. Båda systemen leder till ett ventilations-schakt vid trapphus D. Ventilationsschaktet leder vidare till taket för avluftning och är isolerad i brandklass EI60.

I källarplanet finns även *Fläktrum Bibliotek/Hus B*, som innehåller ett tilluftsaggregat, TA02, med en kapacitet på 7025 l/s och ett frånluftaggregat, FA02, med en kapacitet på 6735 l/s. Båda aggregaten betjänar lokaler i första och andra våningen i Hus B, såsom bibliotek, kontor och café. TA02 betjänar även tilluften till garaget.

På våning fyra finns ett fläktrum med ett tilluftsaggregat, TA41 och ett frånluftsaggregat, FA41. Kapaciteten är 16 125 l/s vardera. Aggregaten betjänar teatersalonger, loger och teaterfoajé.

3 Befintligt brandskydd

Nedan beskrivs det befintliga brandskyddet, uppdelat i passiva och aktiva system.

3.1 Passiva system

Till passiva system räknas byggnadstekniska åtgärder såsom brandcellsindelning och ytskikt. Dessa är till för att förhindra brandspridning mellan byggnadsdelar och brandceller.

3.1.1 Brandteknisk klass

Hässleholms kulturhus är uppfört i brandteknisks klass Br1, eftersom byggnaden har fler än tre våningsplan. (*Boverket 2005, BBR 5:21*).

3.1.2 Brandcellsindelning

Byggnaden är sektionerad mellan de olika våningsplanen i klass liknande de omgivande väggarna. Övrig sektionering mellan våningsplan är utförd i klass E30. För schematiska skisser över brandcellsgränser, se planritningar i avsnitt 2.2.

Utrymme	Plan	Klass
Hus A+B		
Utrymningsvägar	0-4	EI60
Garage	0	EI60
Teknikutrymmen	0	EI60
Ställverk	0	EI60
Reservkraft	0	EI60
Förråd	0	EI60
Soprum	0	EI60
Hissmaskinrummen	0	EI60
(Hissmaskinrum är ej sektionerat ventilationstekniskt mot garagebrandcell)		
Hus A		
Restaurang	1	EI60
Restaurangkök	1	EI60 + E30 från restaurang
Turistinfo med utställning	1	EI60
Biografsalongerna med underliggande installationsutrymmen	3	EI60 (respektive salong)
Projektorummen	3	EI60
Folktandvården	4	EI60
Hus B		
Bibliotek	1,2	E30
Stora teatersalongen	2,3,4	EI60
Teater scenhus	2,3,4	EI60
Teater övrigt	3,4	E30
Foajé (utrymningsväg)	1-4	EI60 mot hus A E30 mot hus B

3.2 Aktiva system

Ett aktivt system är ett brandskydd som endast aktiveras vid händelse av brand. Som exempel kan nämnas sprinklersystem, utrymningslarm och automatlarm till räddningstjänst. Denna typ av system har som huvudsaklig uppgift att upptäcka brand, möjliggöra utrymning samt att släcka eller begränsa en eventuell brand. Skydd mot brandgasspridning i ventilationssystemet såsom brandspjäll räknas också in som ett aktivt system.

3.2.1 Automatiskt brandlarm

Hela objektet övervakas av en interaktiv, fullt adresserad automatisk brandlarmsanläggning som är direktkopplad till räddningstjänsten. Vid utlöst sprinklerlarm, detektorutlösning eller manuellt aktiverad larmknapp larmas räddningstjänsten via brandlarmsanläggningen.

Hus A

Restaurang och turistinformation/utställningshall i entréplanet övervakas av rökdetektorer. Utlöst detektor eller larmknapp larmar räddningstjänsten samt stänger magnetuppställda dörrar. Vid två-detektorutlösning eller utlöst larmknapp startar akustiskt utrymningslarm i respektive del.

Biografdelen och gångvägar till utrymningsvägar på plan tre övervakas av rökdetektorer. Utlöst detektor eller larmknapp larmar räddningstjänsten. Vid två-detektorutlösning eller utlöst larmknapp stängs biograflokalernas PA-anläggning, filmprojektor stängs av, eventuell nedsläckt belysning tänds samt akustiskt utrymningslarm i samtliga biografsalonger startar.

Folktandvårdslokalerna och alla gångytor till utrymningsvägar på plan fyra övervakas av rökdetektorer. Utlöst detektor eller larmknapp larmar räddningstjänsten samt startat akustiskt utrymningslarm i folktandvårdens lokaler.

Hus B

Biblioteket i entréplan och plan två samt alla publika utrymmen såsom café etcetera och gångvägar till utrymningsvägar inom kontorsdelarna övervakas av rökdetektorer. Utlöst detektor eller larmknapp larmar räddningstjänsten, stänger magnetuppställda dörrar samt ger indikering i informationsdisk. Vid två-detektorutlösning eller utlöst larmknapp startar akustiskt utrymningslarm i biblioteksdelarna.

Teaterdel samt teaterfoajé på plan tre och fyra samt alla publika utrymmen och gångvägar till utrymningsvägar i bakutrymmen övervakas av rökdetektorer. Utlöst detektor eller larmknapp larmar räddningstjänsten. Utlöst larmknapp stänger av teaterlokalernas PA-anläggning, tänder eventuell nedsläckt belysning i teatersalarna, stänger magnetuppställda dörrar, startar akustiskt utrymningslarm i teaterdelarna samt stänger röksektionerande ridå mellan salong och scenhus. Två-detektorutlösning ger samma funktion som larmknappsutlösning men startar också brandgasevakuering. Utlöst detektor eller larmknapp i bakutrymmen larmar räddningstjänsten samt startar akustiskt utrymningslarm i ej publika delar.

Övriga lokaler

Foajén mellan hus A och hus B övervakas av rökdetektorer samt två linjerökdetektorer på två olika nivåer. Utlöst detektor larmar räddningstjänsten samt stänger magnetuppställda dörrar till intilliggande lokaler. Två-detektorutlösning startar akustiskt utrymningslarm samt öppnar brandgasluckor i tak.

Garaget samt gångar till utrymningsvägar övervakas av rökdetektorer. Utlöst detektor larmar räddningstjänsten. Två-detektorutlösning startar akustiskt utrymningslarm, stänger branddörr till angränsande garage samt öppnar garageport för brandgasventilation.

Övriga källarutrymmen med gångvägar till utrymningsvägar övervakas av rökdetektorer. Utlöst detektor larmar räddningstjänsten samt startar akustiskt utrymningslarm.

3.2.2 Sprinklersystem

I hus A finns inget sprinklersystem installerat.

Hus B är totalsprinklat med undantag för:

Utrymningsvägar
Teatersalong röd (ej scenen)
Hiss och hissmaskinrum
El-utrymmen
El-nisch
Garage/Tekniklokaler källarplan

Utföres i:

Sektionerade EI60
Sektionerade EI60
Förses med rökdetektorer/brandgasfläkt
Sektionerade EI60
Förses med rökdetektorer
Sektionerade EI60

Samtliga sprinklers är utförda med ett RTI-värde (Response Time Index) på max 50 ms^{1/2} och med en aktiveringstemperatur på 68-70°C (*Brandskyddsdocumentation*, s. 19).

3.2.3 Skydd mot brandgasspridning

I hus A betjänar två aggregat, TA01 och FA01, flera olika brandceller. I genomförningar mellan brandcellerna finns rökdetektorstyrda brandgasspjäll. I hus B betjänar två aggregat, TA02 och FA02, endast lokaler inom samma brandcell och inget krav på skydd mot brandgasspridning krävs. Aggregaten TA41 och FA41 betjänar olika brandceller och mellan brandcellerna finns rökdetektorstyrda brandgasspjäll.

Brand-/brandgasspjäll är monterade i brandcellsgräns med beteckningen EI. Spjällen har täthet motsvarande typ 4 (högsta kravet på brandgasspjäll) och brandklass lika som genombruten konstruktion. Spjäll stänger via signal från det allmänna brandlarmsystemet eller genom rökdetektion vid brandgasspjäll. Spjällen motioneras automatiskt var 48:e timme via ett övervakningssystem för att säkerställa funktionen.

Vid brand i hus A kvarstår TA/FA i drift och brandutsatt brandcell sektioneras av via brand-/brandgasspjäll. Generellt ska TA/FA i hus B kvarstå i drift vid brand i hus B. Dock finns det brandgasspjäll typ 4 monterade på utgående kanal från tilluftsaggregat. Vid indikerad rök stängs spjället och aggregaten stängs av. Spjällen motioneras automatiskt var 48:e timme för att säkerställa funktionen.

Dessutom finns det möjlighet att köra till- och frånluftsfläktar manuellt från brandförsvarstablå i entréplan enligt Figur 8.

Åtgärderna mot brandgasspridning som nämnts innan anses vara ett tillräckligt skydd för att förhindra spridning av brandgaser i objektet.



Figur 8. Manövrering för handkörning av till- och frånluftsfläktar vid brandförsvarstablån.

3.2.4 Brandgasventilation.

Brandgasventilation finns placerad i olika delar av byggnaden

Källarplan

Soprummet, teaterförråd, städcentral och skyddsrum har brandgasluckor ut i fasaden nere vid mark som öppnas manuellt utifrån. Garaget ventileras via garageporten som öppnas automatiskt vid utlöst brandlarm.

Fojé

Fojén brandgasventileras via två fönster placerade på väggarna högst upp i atriet. Fönstren öppnas automatiskt vid tvådetektorutlösning av linjerökdetektorerna i foajén alternativt via manuell öppning av räddningstjänsten från brandförsvarstablå (placerad i trapphus A, plan 1).

Bibliotek

Brandgaser ventileras via det allmänna ventilationssystemet. Möjlighet till manuell ventilerings finns via fönster i fasad.

Teatersalong (Röda salongen)

Brandgaserna ventileras via tio brandgasluckor, med en total area på cirka 14 m², på fasaden vid taknivå. Tilluft erhålls via två stycken uteluftsfläktar, TF-BR3 och TF-BR4, som förser salongen med friskluft vid golvnivå. Kapaciteten på fläktarna är 17,5 m³/s vardera. Luckorna öppnas och

fläktarna startas via signal från det allmänna brandlarmssystemet alternativt manuellt av räddningstjänsten i brandförvarstablån (*Brandskyddsdokumentation*, s. 21-22).

Scenhus (Röda salongen)

Scenen brandgasventileras via en brandgasfläkt, FF-BR5, placerad i fasaden vid taknivå. Tilluft erhålls via en uteluftsfläkt, TF-BR5, som förser scenen med friskluft vid golvnivå. Kapaciteten på fläktarna är 20 m³/s för FF-BR5 och 16 m³/s för TF-BR5. Fläktarna startas manuellt av räddningstjänsten via brandförvarstablån (*Brandskyddsdokumentation*, s. 21-22).

Trapphus A, B, D och E

Brandgasventilationen från trapphusen sker via luckor i respektive tak. Luckorna öppnas via rök-detektoraktivering i trapphusen alternativt manuellt via brandförvarstablån.

Trapphus K och L

Trapphusen övertrycksventileras via uteluftsfläkt på entréplan. Avluftning av trapphusen sker via självverkande övertryckshuvar på yttertaket vid en tryckskillnad på 50 Pa. Fläkten startas via det allmänna brandlarmssystemet alternativt manuellt via brandförvarstablån.

Hisschakt, transporthiss A

Hisschaktet brandgasventileras med hjälp av en brandgasfläkt längst upp i schaktet.

Övriga lokaler

Övriga lokaler ventileras via fönster i fasad där detta är möjligt.

3.2.5 Övriga aktiva system

I Röda salongen på plan tre finns röksektionerande ridå utförd i specialbehandlad väv mellan salongen och scenhuset. Denna är utförd i klass E30.

3.2.6 Manuella släckredskap

Vattenbrandposter finns placerade i hela fastigheten för heltäckande skydd. Brandposterna är utformade i formstyv lightslang, avstängningsventil och strålmunstycke samt skyltas med flaggskylt enligt AFS 1997:11 (*Brandskyddsdokumentation*, s. 20).

Koldioxid-handbrandsläckare används för att komplettera brandposterna och sprinklersystemet. De finns placerade vid elektriska installationer och liknande där vatten ej är lämpligt som släckmedel. Restaurangkök kompletteras med en fast automatisk skumsläckningsanläggning i kåpa (*Brandskyddsdokumentation*, s. 20).

3.2.7 Räddningstjänst

Räddningstjänstens insattid till objektet understiger tio minuter. Utrymning av byggnaden bör kunna ske tillfredsställande utan räddningstjänstens ingripande.

4 Utrymningsvägar

Boverkets Byggregler (BBR) ställer krav på utrymningsvägarnas utformning så att utrymning ska vara möjlig på ett säkert och tillfredsställande sätt. Kraven som ställs är bland annat hur många utrymningsvägar som behövs, hur de är utformade, att de inte är blockerade, avståndet till utrymningsväg, utrymningsskyltning samt belysning under utrymningen. Dimensionering av utrymningsvägar kan i huvudsak ske på två sätt, antingen genom förenklad dimensionering eller via analytisk dimensionering.

4.1 Dimensioneringsmetoder

Förenklad dimensionering innebär att byggnaden uppfyller de rekommendationer och krav som ställs i BBR på utrymning. Om de krav och rekommendationer som ställs i BBR inte anses som lämpliga för det aktuella objektet kan analytisk dimensionering användas.

Analytisk dimensionering innebär att genom beräkningar, provningar, försök eller logiskt resonemang, frånga de krav och rekommendationer som ställs i BBR. Detta kan anses lämpligt när objektets utformning inte gör det möjligt att följa BBR eller när kostnadseffektivisering av objektets brandskydd eftersträvas, utan att för den delen åsidosätta säkerheten (*Boverket 2006*, s. 13, 41).

4.2 Detaljkrav och råd enligt BBR

I avsnittet följer ett utdrag av detaljkrav och råd enligt Boverkets Byggregler (BBR).

Lokaler, utöver de som avses i BBR 5:313, där personer vistas mer än tillfälligt skall ha minst två av varandra oberoende utrymningsvägar. Om lokalen har fler än ett våningsplan, skall det finnas minst en utrymningsväg från varje plan (*Boverket 2005*, BBR 5:311).

Dörr direkt till en gata eller motsvarande får vara den enda utrymningsvägen från mindre, lätt överblickbara lokaler i markplanet där ett begränsat antal personer förväntas vistas. Detta antal bör ej överstiga 30 stycken (*Boverket 2005*, BBR 5:313).

Gångavståndet inom en brandcell till närmaste utrymningsväg skall inte vara längre än att brandcellen kan utrymmas innan kritiska förhållanden uppstår (*Boverket 2005*, BBR 5:331).

Gångavståndet till utrymningsväg bör ej överstiga 45 meter inom garage och 30 meter inom samlingslokaler. Finns sprinkler installerade i lokalen får gångavståndet ökas med en tredjedel av det rekommenderade (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 82). Gångavståndet inom utrymningsväg bör ej överstiga 30 meter till trappa eller till utgång (*Boverket 2005*, BBR 5:332).

Utrymningsvägar skall utformas med sådan rymlighet och framkomlighet att de kan betjäna det antal personer de är avsedda för. Bredden bör inte understiga 0,9 meter. Från brandceller som är avsedda för fler än 150 personer bör bredden inte understiga 1,2 meter (*Boverket 2005*, BBR 5:332).

Lokal eller lokaler i en brandcell där fler än 150 personer förväntas vistas utan god lokal-kännedom, betraktas som samlingslokal (*Boverket 2005*, BBR 5:241). Utrymningsvägarna från en samlingslokal dimensioneras efter antalet personer som förväntas vistas i lokalen. Den totala bredden på dörrarna till utrymningsvägarna bör vara minst en meter per 150 personer (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 84).

4.3 Utrymning av publika lokaler

I publika lokaler vistas personer som har begränsad lokalkännedom. Gångavståndet till utrymningsväg i dessa lokaler får inte överstiga 30 meter (40 meter vid sprinkler) och 45 meter för garage (60 meter vid sprinkler). (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 82). Mest ogynnsamma punkt och utrymningsvägar redovisas i Bilaga A. Följande lokaler har bedömts vara publika lokaler:

4.3.1 Garage

Utrymning sker genom fyra av varandra oberoende dörrar som leder ut till trapphus A, B, D respektive E. Dörren till trapphus A är 1,1 meter bred och dörrarna till trapphus B, D respektive E är 0,9 meter breda. Total bredd på utrymningsvägarna från garaget är således 3,8 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas samtidigt i garaget bedöms vara under 150 stycken, vilket inte medför krav på den totala dörrbredden. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 35 meter vilket är kortare än kravet på 45 meter. Dörrarna uppfyller kravet på minst 0,9 meters dörrbredd.

Boverkets rekommendationer angående säker utrymning uppfylls enligt ovan.

4.3.2 Bibliotek (sprinklat)

Utrymning på plan ett sker genom fyra dörrar som leder ut till foajén, trapphus A, B och K. Dörren till foajén är 1,7 meter bred och dörrarna till trapphus B, D och E är 0,9 meter breda. Total bredd på utrymningsvägarna är således 4,4 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas i biblioteket på plan ett beräknas vara 220 personer (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 85). Rekommenderad bredd på utrymningsvägen blir 1,5 meter ($220/150$) och kravet på den totala dörrbredden uppfylls. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 60 meter vilket är längre än kravet på 40 meter. Dörrarna uppfyller inte kravet på minst 1,2 meters bredd.

Utrymning på plan två sker genom två dörrar med vardera bredd på 0,9 meter, som leder till trapphus A och B, samt intern trappa ner till bibliotekets plan ett med bredd 2 meter. Total bredd på utrymningsvägarna blir 3,8 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas i biblioteket på plan två beräknas vara 70 personer (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 85), vilket inte medför krav på den totala dörrbredden. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 35 meter vilket är kortare än kravet på 40 meter. Dörrarna uppfyller kravet på minst 0,9 meters dörrbredd.

Boverkets rekommendationer angående säker utrymning uppfylls ej på grund av för långt gångavstånd och för smala dörrar på plan ett och analytiska metoder krävs.

4.3.3 Restaurang

Utrymning i restaurangen sker via dörrar med bredd 1,7 och 0,9 meter, vilka leder ut i foajén samt ut i trapphus D. Total bredd på utrymningsvägarna är 2,7 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas i restaurangen beräknas vara 130 stycken (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 85), vilket inte medför krav på den totala dörrbredden. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 27 meter vilket är kortare än kravet på 30 meter. En multipliceringsfaktor med två har använts på grund av sammanfallande gångväg (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 82). Dörrarna uppfyller kravet på minst 0,9 meters dörrbredd.

Boverkets rekommendationer angående säker utrymning uppfylls enligt ovan.

4.3.4 Utställningshall/turistinformation

Utrymning från utställningshallen och turistinformation sker via två dörrar med bredd 1,7 och 1,9 meter, vilka leder ut i foajén samt ut i det fria. Total bredd på utrymningsvägarna är 3,5 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas i utställningshallen och turistinformationen beräknas vara 160 stycken (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 85). Rekommenderad totalbredd på utrymningsvägarna blir 1.1 meter ($160/150$) och kravet på den totala dörrbredden uppfylls. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 55 meter vilket är längre än kravet på 30 meter. En multipliceringsfaktor med två har använts på grund av sammanfallande gångväg (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 82). Dörrarna uppfyller kravet på minst 0,9 meters dörrbredd.

Boverkets rekommendationer angående säker utrymning uppfylls ej på grund av för långt gångavstånd och analytiska metoder krävs.

4.3.5 Café (sprinklat)

Utrymning från cafét sker via två dörrar med bredd 1,7 och 0,9 meter, vilka leder ut i foajén och trapphus B. Total bredd på utrymningsvägarna är 2,6 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas i utställningshallen och turistinformationen beräknas vara 95 stycken (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 85), vilket inte medför krav på den totala dörrbredden. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 34 meter vilket är längre än kravet på 40 meter. Dörrarna uppfyller kravet på minst 0,9 meters dörrbredd.

Boverkets rekommendationer angående säker utrymning uppfylls enligt ovan.

4.3.6 Biografsalong 1

Utrymning i biografsalong 1 sker via två dörrar med bredd 1,3 meter, där en leder ut till biografslussen och en till trapphus D. Total bredd på utrymningsvägarna är 2,6 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas i biografen är 203 stycken, vilket är lika med antalet sittplatser. Rekommenderad bredd på utrymningsvägarna blir 1,4 meter ($203/150$) och kravet på den totala dörrbredden uppfylls. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 20 meter med hänsyn tagen till att gångavståndet blir 0,5 meter längre på grund av den höjdskillnad på 2,9 meter, som finns i biografsalong ett. Detta avstånd är kortare än kravet på 30 meter. En multipliceringsfaktor med två har använts på grund av sammanfallande gångväg (*Brandskydds-handboken 2005*, s. 82). Dörrarna uppfyller kravet på minst 1,2 meters dörrbredd.

Boverkets rekommendationer angående säker utrymning uppfylls enligt ovan.

4.3.7 Biografsalong 2

Utrymning i biografsalong 2 sker via två dörrar med bredd 1,0 meter, där en leder ut till biografslussen och en till trapphus E. Total bredd på utrymningsvägarna är 2,0 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas i biografen är 113 stycken, vilket är lika med antalet sittplatser. Detta medför inte krav på den totala dörrbredden. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 18 meter med hänsyn tagen till att gångavståndet blir 0,3 meter längre på grund av den höjdskillnad på 1,95 meter, som finns i biografsalong två. Detta avstånd är kortare än kravet på 30 meter. En multipliceringsfaktor med två har använts på grund av sammanfallande gångväg (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 82). Dörrarna uppfyller kravet på minst 0,9 meters dörrbredd.

Boverkets rekommendationer angående säker utrymning uppfylls enligt ovan.

4.3.8 Biografsalong 3

Utrymning i biografsalong 3 sker via en dörr med bredd 0,9 meter, som leder direkt till biograffoajén. Total bredd på utrymningsvägarna är 1 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas i biografen är 28 stycken, vilket är antalet sittplatser. Detta medför inte krav på den totala dörrbredden. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 19 meter, vilket är kortare än kravet på 30 meter. En multipliceringsfaktor med två har använts på grund av sammanfallande gångväg (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 82). Dörrarna uppfyller kravet på minst 0,9 meters dörrbredd.

Boverkets rekommendationer angående säker utrymning uppfylls enligt ovan.

4.3.9 Biograffoajé

Utrymning från biograffoajén sker dels via en trappa ned till plan ett med bredd 1,9 meter, samt via en gångbro med en dörr in till hus B med bredd 1,2 meter. Total bredd på utrymningsvägarna är således 3,1 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas i biograffoajén är 344 stycken om alla biograferna ska vara fullsatta. Rekommenderad bredd på utrymningsvägarna blir 2,3 meter ($344/150$) och kravet på den totala dörrbredden uppfylls. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 41 meter, vilket är längre än kravet på 30 meter. En multipliceringsfaktor med två har använts på grund av sammanfallande gångväg (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 82). Dörrarna uppfyller kravet på minst 1,2 meters dörrbredd.

Boverkets rekommendationer angående säker utrymning uppfylls ej på grund av för långt gångavstånd och analytiska metoder krävs.

4.3.10 Röda salongen (scen sprinklad)

Utrymning från Röda salongen sker via fyra dörrar med bredd 1,4 meter där två leder till trapphus K och två till trapphus L. Total bredd på utrymningsvägarna är således 5,6 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas i Röda salongen är 268 stycken, vilket är lika med antalet sittplatser. Rekommenderad bredd på utrymningsvägarna blir 1,8 meter ($268/150$) och kravet på den totala dörrbredden uppfylls. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 12 meter, vilket är kortare än kravet på 30 meter. Dörrarna uppfyller kravet på minst 1,2 meters dörrbredd.

Utrymning från Röda salongens scen sker via fyra stycken dörrar med vardera bredd på 1,9, 1,9, 0,9 och 0,9 meter, där två leder till trapphus A och två till trapphus B. Total bredd på utrymningsvägarna är 5,6 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas på Röda salongens scen uppskattas vara 50 stycken, vilket inte medför krav på den totala dörrbredden. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 19 meter, vilket är kortare än kravet på

40 meter. En multipliceringsfaktor med två har använts på grund av sammanfallande gångväg (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 82). Dörrarna uppfyller kravet på minst 0,9 meters dörrbredd.

Utrymning från Röda salongens balkong sker via två stycken dörrar med bredd 0,9 meter som leder till trapphus K och L. Total bredd på utrymningsvägarna är 1,8 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas i Röda salongens balkong är 130 stycken, vilket inte medför krav på den totala dörrbredden. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 13 meter vilket är kortare än kravet på 30 meter. Dörrarna uppfyller kravet på minst 0,9 meters dörrbredd.

Boverkets rekommendationer angående säker utrymning uppfylls enligt ovan.

4.3.11 Blåa salongen (sprinklat)

Utrymning från Blåa salongen sker via två stycken dörrar med vardera bredd på 1,7 meter respektive 1,2 meter, där en leder till teaterfoajén och en till trapphus B via en gång. Total bredd på utrymningsvägarna är således 2,9 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas i Blåa salongen är 200 stycken (164 stycken i publiken och 36 på scen). Rekommenderad bredd på utrymningsvägarna blir 1,3 meter (200/150) och kravet på den totala dörrbredden uppfylls. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 27 meter, vilket är kortare än kravet på 40 meter. Dörrarna uppfyller kravet på minst 1,2 meters dörrbredd.

Boverkets rekommendationer angående säker utrymning uppfylls enligt ovan.

4.3.12 Vita salongen (sprinklat)

Utrymning från Vita salongen sker via två stycken dörrar med vardera bredd på 1,7 meter respektive 0,9 meter, där en leder till teaterfoajén och till trapphus B via en gång. Total bredd på utrymningsvägarna är således 2,6 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas i vita salongen beräknas vara 140 stycken (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 85), vilket inte medför krav på den totala dörrbredden. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 19 meter vilket är kortare än kravet på 40 meter. En multipliceringsfaktor med två har använts på grund av sammanfallande gångväg (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 82). Dörrarna uppfyller kravet på minst 0,9 meters dörrbredd.

Boverkets rekommendationer angående säker utrymning uppfylls enligt ovan.

4.3.13 Teaterfoajé (sprinklat)

Utrymning från teaterfoajén sker via två stycken dörrar med vardera bredd på 1,3 meter till antingen trapphus K eller L eller via trappa F med minsta bredd 1,9 meter ner till plan ett. Total bredd på utrymningsvägarna är således 4,5 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas i teaterfoajén är 598 stycken, baserat på antal personer i de tre salongerna. Rekommenderad bredd på utrymningsvägarna blir 4,0 meter (598/150) och kravet på den totala dörrbredden uppfylls. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 20 meter, vilket är kortare än kravet på 40 meter. En multipliceringsfaktor med två har använts på grund av sammanfallande gångväg (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 82). Dörrarna uppfyller kravet på minst 1,2 meters dörrbredd.

Utrymning från teaterfoajén på plan fyra sker via två stycken dörrar med vardera bredd på 1,3 meter till antingen trapphus K eller L samt trappa ner till teaterfoajén på plan tre med en bredd på 0,9 meter. Total bredd på utrymningsvägarna är 3,5 meter. Antalet personer som kan förväntas vistas i teaterfoajén är 140 stycken baserat på antal sittande i Röda salongens balkong samt personal. Detta medför inte krav på den totala dörrbredden. Dimensionerande gångavstånd till utrymningsväg är cirka 30 meter, vilket är kortare än kravet på 40 meter. En multipliceringsfaktor

med två har använts på grund av sammanfallande gångväg i överblickbar lokal (*Brandskydds-handboken 2005*, s. 82). Dörrarna uppfyller kravet på minst 0,9 meters dörrbredd.

Boverkets rekommendationer angående säker utrymning uppfylls enligt ovan.

5 Teori

Kapitlet syftar till att beskriva teorin bakom olika modeller och datorprogram som användes vid riskvärderingen.

5.1 Modell av utrymningsförloppet

Vid analytisk dimensionering behövs en modell över utrymningsförloppet för att uppskatta utrymningstiden. Utrymningstiden jämförs därefter med den tid som finns tillgänglig, vilket oftast är den tid det tar innan kritiska förhållanden uppstår.

Utrymningstiden beskrivs enligt Brandskyddshandboken (2005, s. 221) med tre delkomponenter, *varseblivningstid*, *besluts- och reaktionstid* samt *förflyttningstid*. Summan av dessa delkomponenter utgör den totala utrymningstiden.

Det bör även påpekas att det råder svårigheter i att bestämma besluts- och reaktionstiden, vilket har medfört att mycket av senare tids forskning därför varit inriktad på att bestämma just denna. De övriga två komponenterna är mer väldefinierade. (Brandskyddshandboken 2005, s. 221). Varseblivningstiden är den tid det tar innan personen upptäcker att något onormalt inträffat. Varseblivningstiden är således beroende av om personen ser branden eller inte, vilket medför att tiden till aktivering av brandlarmet kan användas som varseblivningstid i de fall personerna inte är medvetna om branden. I övriga fall får omständigheterna avgöra varseblivningstiden.

Enligt Brandskyddshandboken (2005, s. 222) är besluts- och reaktionstiden den tid som går åt för att personen ska förstå att det brinner, lyssna på utrymningslarm, hjälpa andra att utrymma, förbereda sig, försöka bekämpa branden med mera. Det finns således många faktorer som påverkar beslutsfattandet och denna tid är, som tidigare nämnts, svår att uppskatta. Förslag på beslut- och reaktionstider ges i Brandskyddshandboken (2005, s. 222).

Förflyttningstiden är den tid det tar att förflytta sig ut ur lokalen. För att uppskatta denna tid kan handberäkningsmodeller användas, men också datorsimuleringsprogram såsom Simulex, STEPS och buildingExodus.

5.2 Simulex

I denna rapport har datorprogrammet Simulex använts för att beräkna utrymningstiden. Simulex är ett datorprogram som simulerar utrymning av geometriskt komplicerade byggnader med många personer i. Det är ett partikelbaserat program som kan hantera flera utgångar.

I programmet behövs en byggnad och personerna i denna beskrivas. Byggnadens geometri läses in i programmet som CAD-ritningar och programmet kan läsa in flera plan. Utgångar måste definieras och trappor sammanlänkas mellan de olika våningsplanen. Slutligen måste personerna placeras ut, vilket antingen görs gruppvis eller som enskilda individer. Programmet tillåter även att definiera olika besluts- och reaktionstider för individerna.

Simulex modellerar personers förflyttning i en byggnad. Det är baserat på verkliga beteenden hos människor genom att använda data från videoanalyser. Programmet använder sig av olika ”distance maps”, vilka kan varieras beroende på utrymningsstrategi. Varje person kan tilldelas en sådan distanskarta för att hitta närmaste vägen till utgång utifrån personens position. Varje person kan dessutom beskrivas med faktorer som kan tänkas påverka förflyttningstiden såsom

gångshastighet. Programmet tillåter därtill att definiera populationer, vilka kan beskrivas utifrån olika profiler.

Eftersom Simulex är en partikelmodell begränsas inte personers förflyttning av varken nätverk eller rutnät som i exempelvis STEPS. Personerna är istället försedda med koordinater som beskriver deras position. Det ger i sin tur möjlighet att beräkna avståndet mellan personerna med stor noggrannhet, vilken är en viktig parameter eftersom denna används för att reducera gånghastigheten. I partikelmodeller kan dessutom individerna röra sig förhållandevis fritt. Det innebär emellertid att personer kan kollidera, vilket är en nackdel med programmet. Om personer kommer till en trång passage finns det risk att de blockerar varandras förflyttning (Nilsson 2007).

5.3 Två-zonsmodellering

Två-zonsmodellen bygger på att det bildas ett övre lager med varma brandgaser och ett undre kallt lager utan brandgaser. Dessa två lager anses vara homogena och delas av med en distinkt gräns. Vid stora volymer och långa korridorer, skiljer sig förhållandena avsevärt åt beroende på om man tittar nära branden eller långt ifrån (Brandskyddsbandboken 2005, s. 198-199). I verkliga brandförlopp blir inte temperaturen eller fördelningen av brandgaserna helt homogen i det övre lagret och gränserna mellan de båda lagren blir därför inte lika distinkt som modellen gör gällande (Jones et al 2005, s. 8). För att brandgaserna ska stiga uppåt krävs en temperaturskillnad mot omgivningen på minst 10°C (Holmstedt & Nilsson 2008, s. 2).

Modellen bygger på lösning av kontinuitetsekvationerna för energin och massans bevarande i både övre och undre lagret. Följande variabler behövs för att lösning ska kunna ske.

- Geometrin på det aktuella rummet
- Brandeffekt
- Aktuella tryck och temperaturförhållande i omgivningen
- Konstruktionsmaterial
- Eventuell ventilation och öppningar

I modellen får ingen förbränning ske i det övre lagret. I verkligheten kan dock viss förbränning ske i det övre lagret.

Följande kriterier på rummets geometrier och brandens effektutveckling måste uppfyllas för att modellen ska vara giltig:

Tabell 1. Kriterier på rummet för användning av två-zonsmodell (ISO/WD 13390 "Subsystem 1: Initiation and development of fires and fire effluents" 1995, s. 59).

	<i>Godkänt</i>	<i>Gränsfall</i>	<i>Ej godkänt</i>
$(L/B)_{max}$	$L/B < 3$	$3 < L/B < 5$	$L/B > 5$
$(L/H)_{max}$	$L/H < 3$	$3 < L/H < 6$	$L/H > 6$
\dot{Q}	$\dot{Q} \geq 5 \cdot A \cdot \sqrt{H}$	-	-

L = Rummets längd [meter]

B = Rummets bredd [meter]

H = Rummets höjd [meter]

A = Representativ area (L x H) [m²]

\dot{Q} = Brandens effektutveckling [kW]

5.4 CFast

CFast (Consolidated Fire and Smoke Transport model) är ett program framtaget av NIST (National Institute of Standards and Technology) för att simulera brandgasfyllning av olika geometrier. Programmet använder sig av två-zonsmodellering samt beräkning av kontinuitets-ekvationerna vid simuleringarna. Geometrierna definieras av x-, y- och z-koordinater och byggs upp som lådor där öppningar kan definieras. Golvets, takets och väggarnas egenskaper kan definieras med hänsyn till deras termiska egenskaper samt tjocklek. Simuleringarna i CFast ger en grafisk bild av brandgasspridning i realtid samt utdata på exempelvis ändringen av brandgaslagrets höjd.

Programmet räknar med att brandgaserna sprids momentant, det vill säga programmet tar ingen hänsyn till att det tar tid att transportera brandgaserna från branden ut längs taket.

Enligt hjälpsnittet i CFast kan upp till 30 rum simuleras samtidigt men tillförlitligheten på resultaten blir sämre ju längre ifrån brandrummet analysen sker.

Programmet använder sig av McCaffreys plymmodell vilken är en svag plymmodell som inte tar med brandens area i beräkningarna. En svag plymmodell är endast giltig långt ifrån flaman och vid bränder som ger relativt låg effektutveckling och relativt låga temperaturer i brandgaserna (Karlsson & Quintiere 2000). CFast tenderar att överskatta brandgaslagrets tjocklek (Reneke et al. 2001, s. 43).

5.5 Detact-QS och Detact-T2

Detact står för DETector ACTuation, där QS står för Quasi Steady och T2 för Time squared. Dessa två program används för att kalkylera tiden till aktivering för värmedetektorer och sprinkler. Programmen kan även användas för att beräkna aktiveringen av rökdetektorer. Rökdetektorer reagerar dock inte på temperaturen, men empiriska undersökningar har visat att temperaturen har stigit med cirka 13°C när detektorn aktiveras (Holmstedt & Nilsson 2008, s. 73). Som indata i Detact-QS behövs effektkurvorna specificeras medan Detact-T2 behöver tillväxthastigheten α för effektutvecklingen. Detact-T2 antar att branden tillväxer enligt $\dot{Q} = \alpha t^2$ där \dot{Q} = effekten [W], α = tillväxthastighetskonstant [W/s²] och t = tiden [s].

Detact-QS antar att värmekroppen är placerad i en relativt stor area och att det endast är takstrålen som värmer kroppen, inte ett varmt övre brandgaslager. Dessutom försummas förluster på grund av värmeledning. Indata som krävs är höjden till taket ovanför branden, det radiella avståndet från branden till detektorn, aktiveringstemperaturen, RTI samt effektutvecklingen (*Fire Modeling Programs*, www.bfrl.nist.gov).

Det är viktigt att poängtera att modellen antar att detektorn är placerad på ett platt, horisontellt och jämt tak samt att känselkroppen är placerad vid den maximala temperaturen och hastigheten hos takstrålen. Detact-QS tar ingen hänsyn till transporttiden av de varma gaserna från bränslet till detektor. Korrelationerna som programmet använder var framtagna av Alpert (*Evaluation of the Computer Fire Model DETACT-QS*, www.fire.nist.gov).

Detact-T2 antar också att värmekroppen bara värms upp av takstrålen och tar inte hänsyn till ett eventuellt varmt övre brandgaslager. Dessutom försummas förluster på grund av värmeledning. De indata som krävs i Detact-T2 är förutom RTI, takhöjd, aktiveringstemperatur även tillväxthastigheten samt avståndet mellan detektorerna eller sprinklerna. Skillnaden är att Detact-T2 själv beräknar det radiella avståndet (*Fire Modeling Programs*, www.bfrl.nist.gov).

6 Kritiska förhållanden

I avsnitt 5:3 i Boverkets byggregler (BBR) ställs kravet på att byggnaden ”*skall utformas så att tillfredsställande utrymning kan ske vid brand.*” Detta betyder att utrymning ur byggnad skall kunna ske under acceptabla förhållanden. När dessa förhållanden blir oacceptabla kallas detta för kritiska förhållanden.

6.1 Kritiska förhållanden vid utrymning

Enligt BBR 5:361 får förhållandena i byggnaden inte bli sådana att gränsvärdena för kritiska förhållanden överskrider under den tid som utrymning sker. Detta skall beaktas vid utrymningsdimensionering. Kritiska förhållanden definieras nedan:

Temperatur	Temperaturen i luften som den utrymmande personen vistas i, får inte överstiga 80°C.
Brandgaslagrets höjd	Brandgaslagrets höjd bör som lägst ligga på $1,6 + 0,1 \cdot H$ meter från den nivå där människor vistas, där H är rumshöjden. Detta för att personer inte ska besväras vid utrymning.
Strålning	Den maximala infallande strålningen får inte överstiga 2,5 kW/m ² vid långvarig exponering (över 10 minuter) och 10 kW/m ² vid kortvarig.
Sikt	I en lokal som kan anses som okänd för den utrymmande personen, bör siktbarheten vara minst 10 meter (1 obscura) för att utrymning ska kunna fortgå.
Toxicitet	Personer under utrymning bör ej utsättas för giftiga gaser eller låg syrehalt. Det anses räcka att beakta mängden CO, CO ₂ och O ₂ . Följande volymandel anger gränsvärden när utrymning kan ske säkert:
	CO <2000 ppm
	CO ₂ <5 %
	O ₂ >15 %

7 Riskidentifiering

En riskidentifiering syftar till att identifiera och redovisa de risker som kan uppkomma med hänsyn till personsäkerheten. För att få en bild över riskerna gjordes en grovanalys utifrån konsekvenserna i händelse av brand, det vill säga att människor inte hinner ut innan kritiska förhållanden uppstår. I grovanalysen redovisas förflyttningstider från de publika lokalerna och utgör således ett underlag för en prioritering av de lokaler som skall undersökas vidare i rapporten. Förflyttningstiderna simulerades med hjälp av datorprogrammet Simulex. Efter grovanalysen identifierades risker i de utvalda lokalerna och utifrån detta valdes troliga brandscenarier.

7.1 Grovanalys

Grovanalysen sammanfattar riskerna i en verksamhet och ger en kvalitativ bedömning av vilka brandscenarier som utgör det största hotet mot personsäkerheten. Som tidigare nämnts är de publika lokalerna de mest intressanta eftersom persontätheten kan vara hög samt att lokal-kännedomen förväntas vara begränsad.

För att bedöma riskerna har stor vikt lagts vid konsekvensen av en eventuell brand. Detta har gjorts genom att simulera förflyttningstider för utrymning av de olika publika lokalerna. Antalet personer i respektive lokal har hämtats från avsnitt 4.3 En förhållandevis lång förflyttningstid skulle, oavsett sannolikheten för att en brand ska inträffa, vara intressant ur personsäkerhetssynpunkt. I de fall förflyttningstiden har varit kort har mindre vikt lagts vid sannolikheten, eftersom konsekvenserna då inte skulle bli särskilt höga och därmed inte utgöra någon stor risk för personsäkerheten. För att lättare kunna jämföra de olika scenarierna, har samma sorts individer satts in i de olika lokalerna vid simuleringarna. Ingen hänsyn har tagits till reaktionstiden utan enbart till förflyttningstiden.

Då olika brandscenarier kan tänkas uppstå beroende på var branden är lokaliserad har även simuleringar gjorts då en av utrymningsvägarna varit blockerad. Att mer än en utrymningsväg blir blockerad anses osannolikt. I Blåa salongen finns möjlighet att ställa in en publikläktare vid en föreställning och när denna används måste personer gå neråt/framåt från läktaren för att komma till utgången. Därför undersöktes förflyttningstider med och utan läktaren. I Tabell 2 redovisas förflyttningstiderna vid olika blockerade utrymningsvägar.

Tabell 2. Förflyttningstider vid olika blockerade utrymningsvägar.

Lokal (antal personer)	Blockerad utrymnings- väg	Förflyttningstid[<i>min:s</i>]
<i>Garage (150 st)</i>	Ingen	01:00
	Trappa A	01:40
	Trappa B	01:20
	Trappa D	01:00
	Trappa E	01:10
<i>Bibliotek (290 st)</i>	Ingen	02:00
	Trappa A	02:00
	Foajé	02:30
	Trappa A, våning 2	01:50
	Trappa B, våning 2	02:00
<i>Utställningshall och turist- information (160 st)</i>	Ingen	01:00
	Direkt till gata	01:10
	Foajé	01:20
<i>Café (85 st)</i>	Ingen	00:40
	Trappa B	00:40
	Foajé	01:30
<i>Restaurang (130 st)</i>	Ingen	00:40
	Trappa D	00:50
	Foajé	01:20
<i>Blåa salongen med läktare (200 st)</i>	Ingen	02:10
	Trappa B	03:00
	Teaterfoajé	02:40
<i>Blåa salongen utan läktare (200 st)</i>	Ingen	02:20
	Trappa B	03:00
	Teaterfoajé	02:50
<i>Vita salongen (140 st)</i>	Ingen	00:50
	Trappa A	00:55
	Foajé	01:50
<i>Röda salongen (398 st)</i>	Ingen	03:50
<i>Teaterfoajé (738 st)</i>	Ingen	2:00
	Trappa F	2:50
	Trappa L	2:20
	Trappa K	3:10
<i>Biografsalonger (344 st)</i>	Ingen	03:50
<i>Biograffoajé (344 st)</i>	Ingen	2:00
	Trappa F	3:20
	Spång	2:50

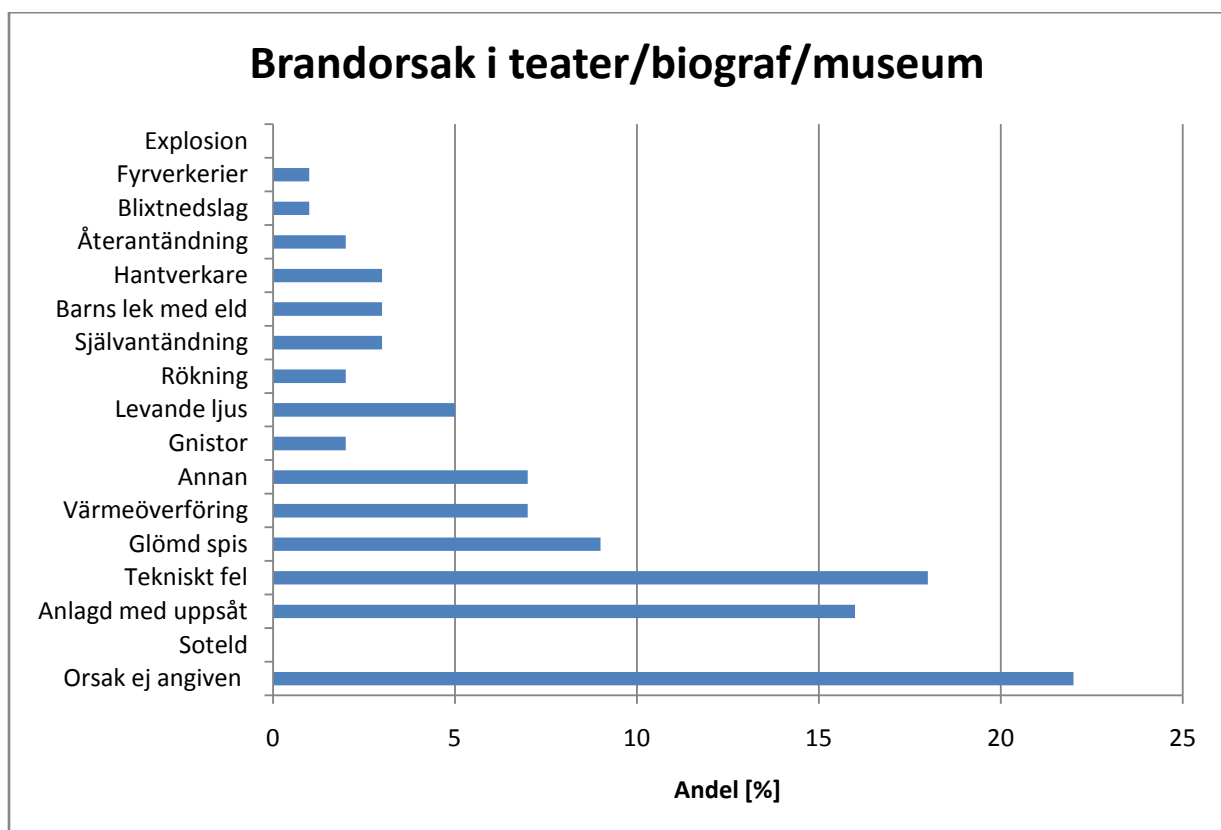
Som framgår av tabellen är biografsalongerna samt Röda salongen de lokaler som tar längst tid att utrymma. Därför har inga simuleringar av blockerade nödutgångar i dessa lokaler behövt undersökas. För Blåa salongen påverkade inte läktaren förflyttningstiderna nämnvärt. Vid användning av läktaren uppstod mindre köbildning vid dörrarna och detta medförde en något kortare

förflyttningstid. Biografsalongerna 1 och 2 är intressanta att undersöka vidare eftersom det vistas många personer där och att utrymningslarmen startar i båda salongerna samtidigt vilket medför att ett stort antal personer utrymmer via slussen till foajén. Detta kan få köbildning som följd. Vid utrymning av Röda salongen kan samma köbildningsproblematik uppstå. Därför kommer dessa lokaler att undersökas vidare.

7.1.1 Val av brandscenarier

För att bestämma dimensionerande brandscenarier i biografsalongerna och Röda salongen studerades statistik över brandorsaker av Hansson (2007, s. 58). Denna bygger på en sammanställning av räddningstjänsternas insatsstatistik från januari 1998 till december 2004.

Figur 9 visar brandorsakerna i teater, biograf och museum. Som synes i figuren är de troligaste brandorsakerna, förutom där orsaken ej är angiven, tekniskt fel och anlagd brand med uppsåt. Utifrån detta diskuterades vilka förutsättningar som fanns i biografsalongerna och Röda salongen för att dessa brandorsaker skulle kunna inträffa. I biografsalongerna finns stora papperskorgar där en anlagd brand kan tänkas uppstå. Däremot finns teknikutrustningen för biografsalongerna i egna brandceller och därför ses risken för brand orsakad av tekniskt fel i biografsalongerna som liten.



Figur 9. Brandorsaker i teater/biograf/museum i andel procent. Bygger på statistik sammanställd av Hansson (2007, s. 58).

I Röda salongen finns ett stort mixerbord placerat längst bak i salongen. Dessutom används lampor och annan teknisk utrustning vid scenen under en föreställning. Baserat på statistiken som visas i Figur 9 ses dessa som troliga brandorsaker. I Röda salongen finns inga papperskorgar eller andra föremål där en anlagd brand kan tänkas uppstå. Teaterstolarna utgör endast en liten risk för anlagd brand då dessa antas vara av tändskyddande beklädnad och därmed svåra att antända med en mindre antändningskälla såsom en tändare.

Med hänsyn till detta resonemang antas troliga scenarier i dessa lokaler vara:

- Brand i papperskorg i biografsalong
- Brand på scen i Röda salongen
- Brand i mixerbord i Röda salongen

Eftersom biografsalong 1 och 2 har liknande utformning men salong 1 har fler sittplatser, blir ett scenario i den salongen även representativt för salong 2.

7.2 Beskrivning av brandscenarier

För att få en bättre bild av de valda brandscenarierna beskrivs de mer utförligt i följande avsnitt.

7.2.1 Biografsalong 1 – Brand i papperskorg

Brand under en filmvisning där en cigarettfimp, tändare eller liknande antänder en papperskorg är ett troligt scenario. Eftersom det under visningen är nedsläckt i lokalen borde brandgaser bli svåra att upptäcka. Att det dessutom är hög volym och publiken förmodligen är insatt i filmen borde medföra ytterligare komplikationer.

Ett stort antal människor i salongen kan förväntas upptäcka branden tidigt men däremot blir utrymningen besvärligare. Få människor ger en snabbare utrymning men det är inte säkert att branden upptäcks lika tidigt. Eftersom det finns rökdetektorer installerade borde de ge goda förutsättningar för en tidig detektion. Vid en tvådetektorsutlösning stängs filmprojektor och PA-anläggning av samt att nedsläckt belysning tänds. Dessutom startar akustiskt utrymningslarm i alla biografsalongerna, vilket kan innebära problem med köbildning i den gemensamma slussen för biografsalong 1 och 2.

Brand i papperskorg utgör Brandscenario 1.

7.2.2 Röda salongen – Brand på scen

Den största risken för brand på scen är under föreställning när pyroteknik, lampor eller annan elektrisk utrustning används. Beroende på föreställning ändras scenens rekvisita och möblemang, vilket gör det svårt att bestämma vad som brinner på scenen. Därför har en brand i tygridån fått utgöra ett scenario. I Röda salongen finns en röksektionerande ridå mellan scenhuset och stora salongen, brandgasluckor på fasaden i taknivå samt sprinkler vid scenen, vilka borde begränsa branden och minska konsekvenserna. Trots dessa brandtekniska åtgärder är det intressant att undersöka scenariot vidare för att se hur effektivt brandskyddet är och vad som händer om vissa av dessa åtgärder inte fungerar.

Brand på scen utgör Brandscenario 2.

7.2.3 Röda salongen – Brand i mixerbord

Brand i mixerbordet kan inträffa på grund av ett elfel eller överhettning. Röda salongen övervakas av rökdetektorer. Vid tvådetektorutlösning skärmar röksektionerande ridå av scenen från salongen och brandgasventilationen i salongen startar. PA-anläggningen stängs av, eventuell nedsläckt belysning tänds samt det akustiska utrymningslarmet startas i alla teatersalongerna. Detta scenario kan medföra att kritiska förhållanden uppstår i lokalen och är intressant att studera för att se huruvida en säker utrymning kan ske.

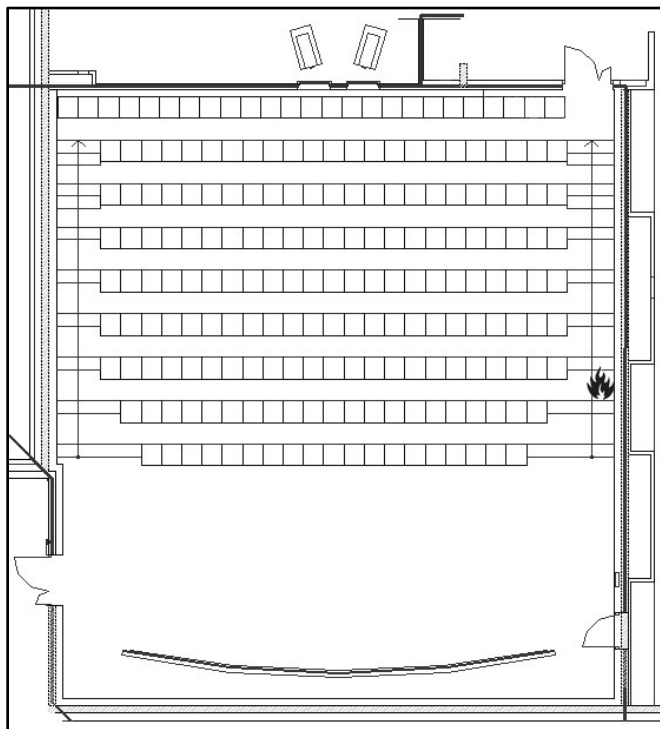
Brand i mixerbord utgör Brandscenario 3.

8 Brandscenarier

Kapitlet syftar till att undersöka förutsättningarna för personsäkerheten vid respektive brandscenario. Till varje scenario redovisas dimensionerande brandförlopp, tid till kritiska förhållanden, aktivering av brand- och utrymningslarm och tid till utrymning. Dessutom ges en omfattande lokalbeskrivning.

8.1 Scenario 1 – Brand i papperskorg

I detta scenario antas en anlagd brand starta i en papperskorg längs sidan av biografsalong 1 vid rad tre, se Figur 10.



Figur 10. Brandens placering i scenario ett.

8.1.1 Lokalbeskrivning

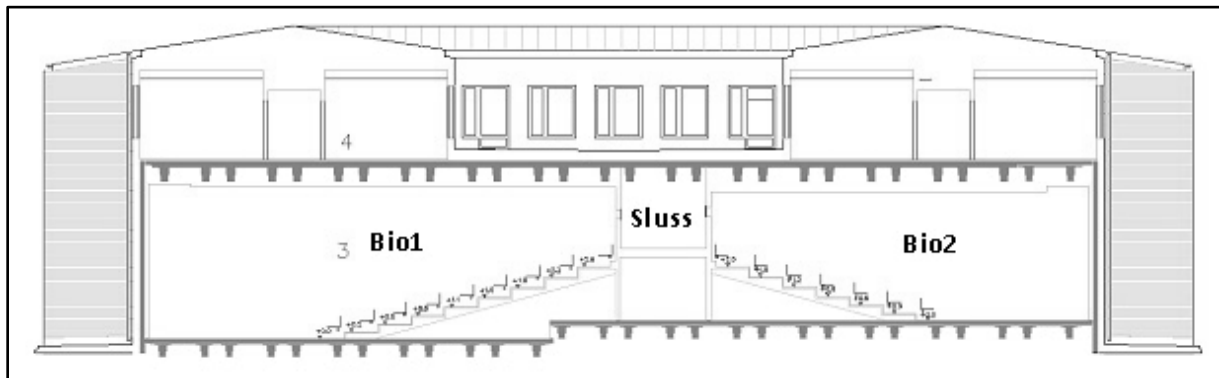
Biografsalong 1 mäter $16,8 \times 15,2 \times 5,5 \text{ m}^3$ (Längd x Bredd x Höjd) (2,9 meter till tak längst upp i salongen). Höjdskillnaden mellan första och sista raden i salongen är 2,6 meter. I biografsalong 1 finns två utgångar diagonalt placerade i var sin enda av lokalen. Den övre fungerar som huvudingång/utgång och leder ut till slussen. Den nedre fungerar som nödutgång och leder ut till trapphus D. Båda dörrarna mäter $1,3 \times 2,1 \text{ m}^2$ (Bredd x Höjd). Översta raden har två löstagbara säten vid huvudingången som kan tas bort för att göra lokalen tillgänglig för rullstolsburna. När dessa säten är på plats inskränker de 0,35 meter på utgången. Antalet sittplatser är 203 stycken, vilka är fördelade på nio rader. Väggarna består av gips med bakomliggande betong. Golvet är klätt med en flamskyddad heltäckningsmatta.

Biografsalong 2 mäter $13,9 \times 10,8 \times 4,65 \text{ m}^3$ (2,7 meter till tak längst upp i salongen). Höjdskillnaden mellan första och sista raden i salongen är 1,95 meter. I biografsalong 2 finns två utgångar diagonalt placerade i var sin enda av lokalen. Den övre fungerar som huvudingång/utgång och leder ut till slussen. Den nedre fungerar som nödutgång och leder ut till trapphus E. Båda dörrarna mäter $1,0 \times 2,1 \text{ m}^2$. Antalet sittplatser är 113 stycken, vilka är

fördelade på sju rader. Väggarna består av gips med bakomliggande betong. Golvet är klätt med en flamskyddad heltäckningsmatta.

Slussen mäter 4,6 x 5 x 2,66 m². I slussen finns en dörr ut till biograffoajén som mäter 2 x 2,1 m² samt dörrarna till respektive salong. Väggarna består av gips med bakomliggande betong samt flamskyddad heltäckningsmatta på golvet.

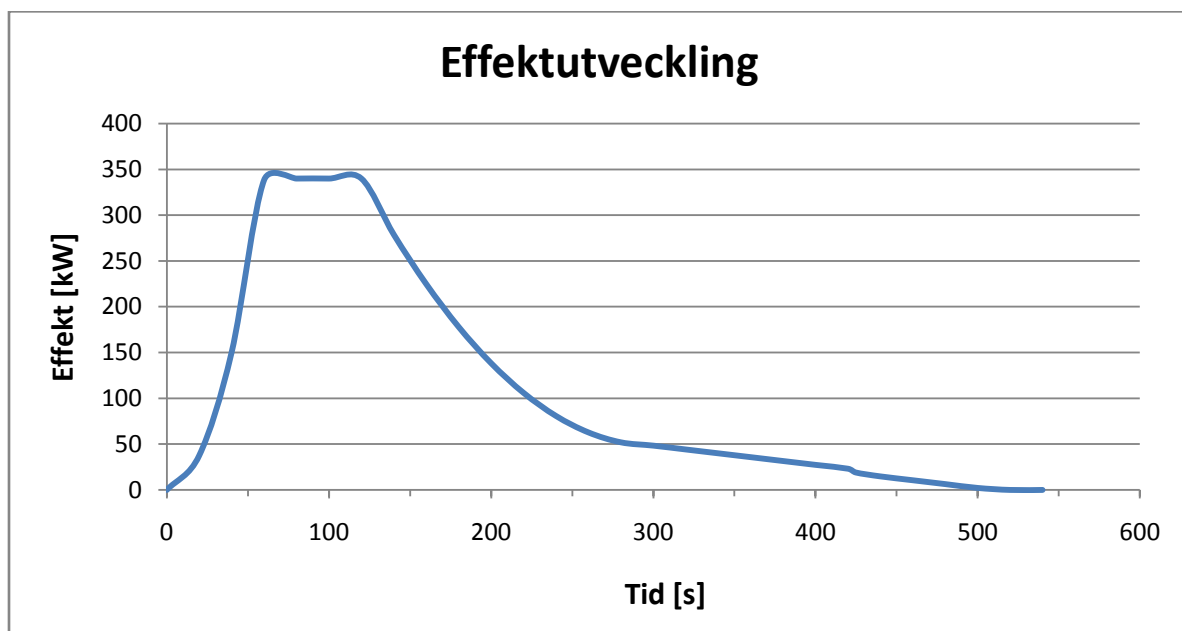
Sektionsritning över biografsalongerna samt slussen visas i Figur 11.



Figur 11. Sektionsritning över biografsalong 1 och 2.

8.1.2 Brandförlopp

Branden anläggs i en fylld papperskorg. En fylld papperskorg antas representeras av försök Y3.4/21 (Särdqvist 1993). Effektutvecklingskurvan ser ut enligt Figur 12. För beräkningar och resonemang för framtagandet av effektutvecklingskurvan, se Bilaga B.



Figur 12. Effektutveckling, scenario ett.

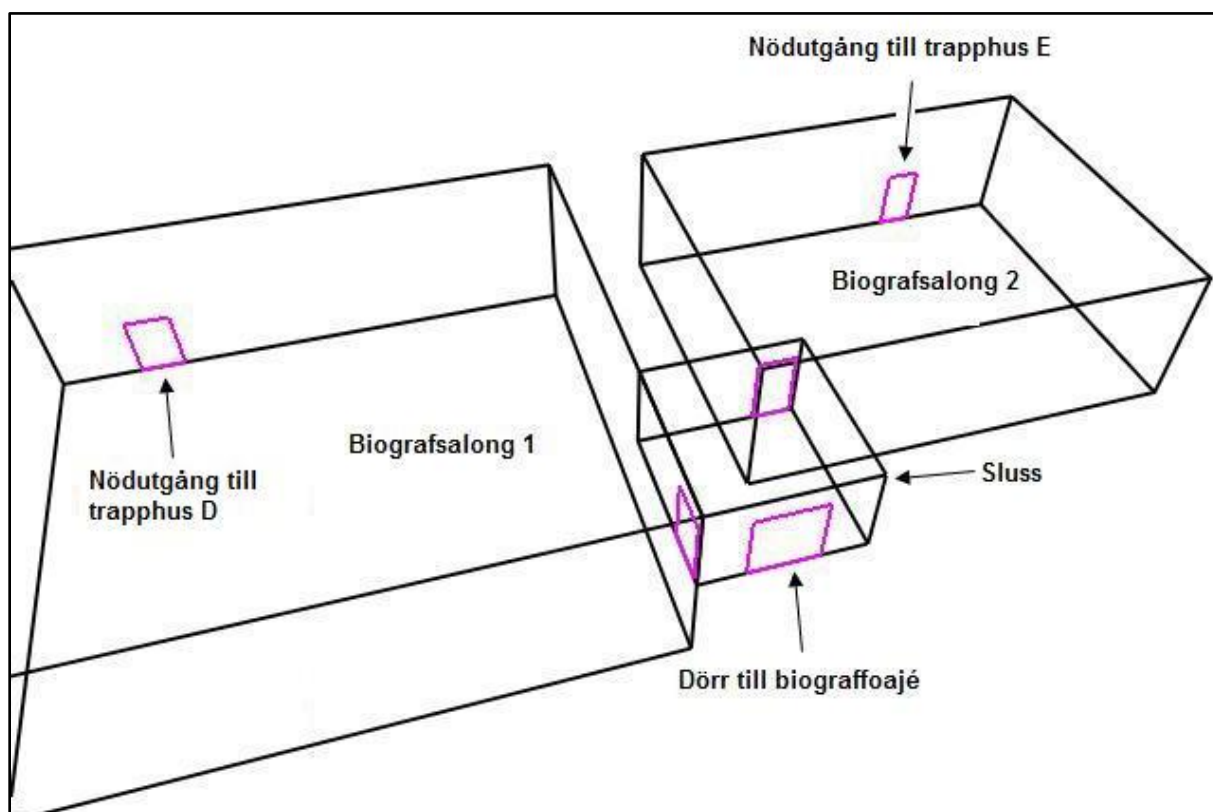
8.1.3 Aktivering av brand- och utrymningslarm

Biografsalong 1 övervakas av rökdetektorer. Tid till aktivering blir mellan 40 till 70 sekunder beroende på vilket beräkningsprogram som användes. Tiden till aktivering antas till en minut, då

antingen rökdetektorerna har aktiverat eller larmknapp har aktiverats manuellt. För beräkningar av aktiveringstider, se Bilaga C.

8.1.4 Tid till kritiska förhållanden

Som tidigare nämnts innebär kritiska förhållanden att utrymningen inte längre kan ske under acceptabla förhållanden enligt BBR. För att kunna göra en bedömning av förhållandena behövs bland annat temperaturen i undre lagret, strålningen och brandgaslagrets höjd studeras. Tiden till kritiska förhållanden i scenario ett redovisas i Tabell 3. Tiderna är hämtad från simuleringar i datorprogrammet CFast, se Bilaga D. Vid simuleringar i CFast ritades en enklare bild upp över biografsalong 1 samt den angränsande slussen. Figur 13 visar hur biografsalongen med tillhörande sluss ritades upp i CFast samt vilka beteckningar som använts.



Figur 13. Schematisk bild över biografsalongerna.

Tabell 3. Tid till kritiska förhållanden, scenario ett.

Utrymme	Brandgaslagrets höjd [s]	Temperatur i undre lager [s]	Strålning mot personer [s]
Biografsalong 1, längst ner	-	-	-
Biografsalong 1, vid övre utgång	50	-	-
Biografsalong 2, längst ner	-	-	-
Biografsalong 2, vid övre utgång	200	-	-
Sluss	75	-	-

8.1.5 Tid till utrymning

I simuleringarna har varseblivningstiden för biografsalong 1 antagits till 40 sekunder. Detta baseras på att efter denna tid har branden i papperskorgen utvecklats så mycket brandgaser att personerna i biografsalongen börjar känna av dem samt att flammor syns tydligt. Besluts- och

reaktionstiden antas till 20 sekunder eftersom det kommer bli en viss undran och förvirring innan personerna börjar utrymma.

I biografialong 2 blir varseblivningstiden 60 sekunder eftersom brand- och utrymningslarmet aktiverar vid denna tid. Besluts- och reaktionstiden sätts till 60 sekunder. Detta eftersom personerna i biografialong 2 inte vet var det brinner samt om de ska utrymma eller inte. (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 222).

För resonemang och framtagande av utrymningstider, se Bilaga E. Utrymningstider för scenario ett redovisas i Tabell 4.

Tabell 4. Tid till utrymning, scenario ett.

<i>Utrymme</i>	<i>Varseblivningstid [s]</i>	<i>Besluts- och reaktionstid [s]</i>	<i>Förflyttningstid [s]</i>	<i>Total utrymningstid [s]</i>
<i>Biografialong 1</i>	40	20	105	165
<i>Biografialong 2</i>	60	60	110	230
<i>Sluss</i>	-	-	-	235

8.1.6 Resultat

Genom att jämföra utrymningstiderna mot tiderna till kritiska förhållanden kan slutsatser dras om utrymningen kan ske tillfredsställande utan att vidare analys krävs. En sammanställning av resultaten för utrymningstid och tid till kritiska förhållanden i scenario ett visas i Tabell 5.

Tabell 5. Resultat, scenario ett.

<i>Utrymme</i>	<i>Total utrymningstid [s]</i>	<i>Tid till kritiska förhållanden [s]</i>
<i>Biografialong 1</i>	165	50
<i>Biografialong 2</i>	230	200
<i>Sluss</i>	235	75

Kritiska förhållanden inträffar längst upp vid utgången i biografialong 1 efter 50 sekunder. Eftersom personerna inne i salongen inte börjar utrymma förrän efter 60 sekunder (enligt antaganden innan) kommer den övre utgången samt översta raden att ha kritiska förhållanden direkt när utrymningen börjar, se Bilaga D, Tabell D.2. Kritiska förhållanden i slussen inträffar efter 75 sekunder, vilket medför att personerna från biografialong 2 inte kan utrymma genom slussen utan att utsättas för kritiska förhållanden, eftersom deras utrymning inte startar förrän efter 120 sekunder. Kritiska förhållanden i de undre lagren inträffar vare sig i biografialong 1, 2 eller i slussen.

Vidare analys

För att kontrollera om personerna kan vistas i brandgaserna undersöks ifall det uppstår kritiska förhållanden med avseende på temperatur, toxicitet samt sikt i biografialongerna och i slussen. För definition av kritiska förhållanden, se kapitel 6.

Genom att undersöka hur bra sikten är, vilken nivå toxiciteten befinner sig på samt vilken temperatur som personerna kan utsättas för vid vistelse i brandgaserna och jämföra dessa med kritiska värden, kan slutsatser dras om utrymning kan ske trots att kritiska förhållanden med avseende på brandgaslagrets höjd har uppstått.

Tid till kritiska värden för toxicitet, sikt och temperatur i brandgaserna redovisas i tabellen nedan.

Tabell 6. Tid till kritiska förhållanden i brandgaserna och total utrymningstid, scenario ett.

<i>Utrymme</i>	<i>Temperatur [s]</i>	<i>Sikt < 10 m [s]</i>	<i>O₂ [s]</i>	<i>CO₂ [s]</i>	<i>CO [s]</i>	<i>Total utrymnings-tid [s]</i>
<i>Biografsalong 1</i>	-	80	-	-	-	165
<i>Biografsalong 2</i>	-	530	-	-	-	230
<i>Sluss</i>	-	120	-	-	-	235

Varken syre-, koldioxid- eller kolmonoxidkoncentrationen passerar de kritiska värdena. Personerna kommer inte att utsättas för kritisk temperatur varken i biografsalong 1, 2 eller i slussen under utrymningsförloppet enligt Tabell 6. Däremot kommer sikten i biografsalong 1 att bli kritisk efter 80 sekunder och i slussen efter 120 sekunder. Således kommer personer att befinna sig i brandgaserna när kritiskt värde på sikten inträffar och utrymning kan inte ske tillfredsställande från biografsalong 1 eller 2 genom slussen enligt BBR. För resonemang och framtagandet av tid till kritiska förhållanden, se Bilaga D.

Eftersom det endast är sikten som kommer påverka om utrymningen anses kunna ske tillfredsställande eller inte undersöks denna närmare. Slussen mäter 4,6 x 5 m². Dörrarnas placering från biograferna är sådana att avståndet mellan biografdörrarna och foajéutgången inte överstiger 5 meter (för planritning över biograferna, se avsnitt 2.2.4, Figur 6). Detta medför att sikten inte behöver vara längre än 5 meter i slussen eftersom det då fortfarande är lätt att identifiera var utrymningsskylden samt dörren ut till foajén finns.

Besökarna i biografsalong 1 sitter i fasta stolsrader vid föreställningarna. Vid utgång från salongen kommer personerna att gå längs raderna ut till någon av de två sluttande gångarna längs sidorna. Detta gör biografsalong 1 lättnavigerad eftersom personerna styrs ut mot utgångarna med hjälp av raderna. Besökarna kommer in till biografsalong 1 genom dörren från slussen som är placerad längst upp i salongen. Nödutgången finns längst ner i biografsalong 1 och har genomlyst utrymningsskyld. Denna kommer aldrig att skymmas av brandgaserna under tiden som en eventuell utrymning sker. Eftersom utgångarna är kända eller väl synliga tillsammans med att lokalen är överblickbar och lättnavigerad medför att siktkravet anses kunna sänkas till 5 meter. Ovanstående resonemang anses vara representativt även för biografsalong 2.

På grund av ovanstående resonemang angående sikten sätts den acceptabla sikten till 5 meter (2 obscura). En jämförelse mellan tid till kritiska förhållanden med avseende på 5 meters acceptabel sikt och totala utrymningstiden visas i Tabell 7.

Tabell 7. Tid till kritiska förhållanden med avseende på 5 meters acceptabel sikt och total utrymningstid.

<i>Utrymme</i>	<i>Sikt < 5 m [s]</i>	<i>Total utrymningstid [s]</i>
<i>Biografsalong 1</i>	-	165
<i>Biografsalong 2</i>	-	230
<i>Sluss</i>	-	235

Som synes kommer aldrig sikten att bli sämre än 5 meter och utrymningen kan ske tillfredsställande.

Verifiering av simulering genom handberäkningar

Simuleringarna i CFast har verifierats med hjälp av handberäkningsmodeller. Brandgaslagrets höjd efter 60 sekunder är 4,4 meter från golvet längst ner i biografssalong 1. Handberäkningsmodellen ger en höjd upp till brandgaslagret på 4,6 meter vid branden placerad fritt stående och på 4,9 meter när branden är placerad intill väggen. Dessa värden anses stämma bra överens med CFast då programmet tenderar att överskatta brandgaslagrets tjocklek enligt avsnitt 5.3.

Sikten i biografssalong 1 har beräknats efter 60 sekunder till 0,58 obscura. Enligt CFast är sikten efter 60 sekunder 0,75 obscura. Skillnaden mellan handberäkningsmodellen och CFast anses ligga inom felmarginalen och bedöms ge liknande resultat med avseende på siktförhållandena.

Simuleringarna i CFast anses vara tillförlitliga då de överensstämmer bra med handberäkningsmodellerna. För exakta beräkningar och resonemang se Bilaga F.

8.1.7 Känslighetsanalys

Avsikten med en känslighetsanalys är att undersöka vilka variabler och parametrar som kan påverka slutresultatet och hur stora skillnaderna blir. För scenario ett har följande parametrar ansetts påverka resultatet och undersöks därför vidare. För exakta tider till kritiska förhållanden och diskussion om rimliga högsta och lägsta värden, se Bilaga G.

Brandens placering

Genom att placera branden längst upp vid dörren i biografssalong 1 antas denna dörr vara blockerad och därmed stängd. Tiden till kritisk höjd och acceptabel sikt kommer att vara densamma som för den antagna branden i scenario ett. Vid placering längst ner minskar tiden till kritisk höjd i salongerna och slussen. Tiden till kritisk sikt ökar något i biografssalong 1 och i slussen. I biografssalong 2 blir det ej kritisk sikt längre.

Tillgängliga öppningar

Dörren ut till slussen från biografssalong 2 stängs. Detta påverkar inte tiderna till kritiska förhållanden nämnvärt i biografssalong 1 eller i slussen.

Maximal effektutveckling

Vid en högre effektutveckling blir skillnaden att kritisk höjd längst ner i biografssalong 1 och 2 inträffar. Kritisk temperatur inträffar i salongerna och slussen men det är bara i biografssalong 1 och i slussen som det blir kritisk temperatur under utrymningsförloppet. De andra tiderna till kritiska förhållanden påverkas inte nämnvärt eftersom samma tillväxthastighet har använts. Vid en lägre effektutveckling uppstår kritisk höjd i biografssalong 1, 2 och i slussen. Däremot var temperaturstegringen i brandgaserna i samtliga delar så pass låg att två-zons skiktning av brandgaserna inte bedöms kunna ske. I samtliga fall inträffade aldrig kritisk sikt.

Tillväxthastighet

Tillväxthastigheten i scenario ett är $0,094 \text{ kW/s}^2$ vilket ligger mellan *fast* och *ultra fast*. Om tillväxthastigheten ändras till *ultra fast* ($0,19 \text{ kW/s}^2$) kommer tiderna till dess att kritiska förhållanden uppstår att minska något i samtliga delar av biografen men nivån för acceptabel sikt understigs ej. Ansätts däremot en tillväxthastighet *medium* ($0,012 \text{ kW/s}^2$) kommer tiderna till kritiska förhållanden att öka i biografsalongerna och slussen.

Aktiveringstid av rökdetektorer

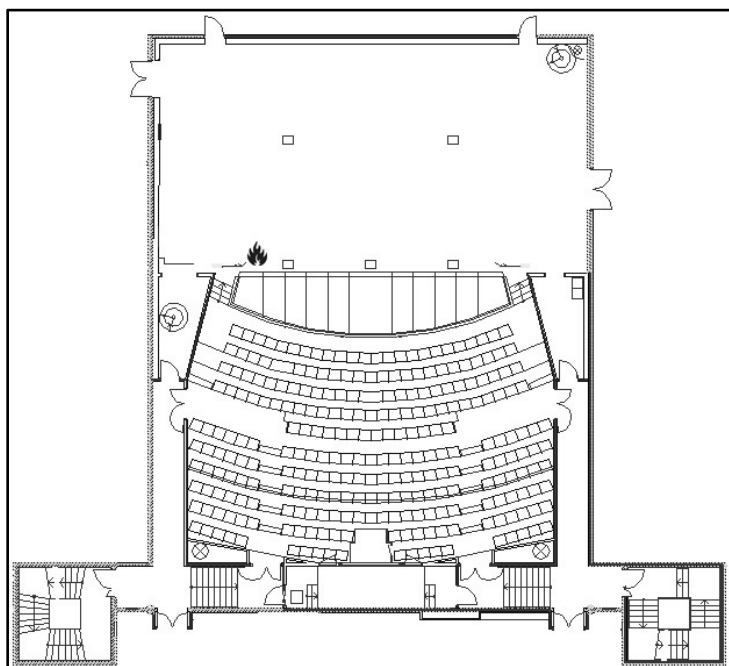
Tiden till dess att rökdetektorerna aktiveras kommer både att öka och att minska beroende på vilken variabel som ändras. Tiden till aktivering blir inte kortare än den antagna manuella aktiveringstiden förutom i fallet då tillväxthastigheten ändras till *ultra fast*.

Sammanfattning känslighetsanalys

Vid ändring av ovanstående variabler noterades att det aldrig inträffar kritiska förhållanden i det undre lagret, att toxiciteten aldrig passerar den kritiska nivån samt att strålningen mot person inte når upp till kritiskt värde under utrymningsförloppet vid någon variabelvariation.

8.2 Scenario 2 – Brand på scen

I scenario två undersöks en brand på scenen i Röda salongen, alltså teatersalongen. Scenariot bygger på att teaterscenens tygridå börjar brinna. För brandens placering i scenario två, se Figur 14.



Figur 14. Brandens placering i scenario två.

8.2.1 Lokalbeskrivning

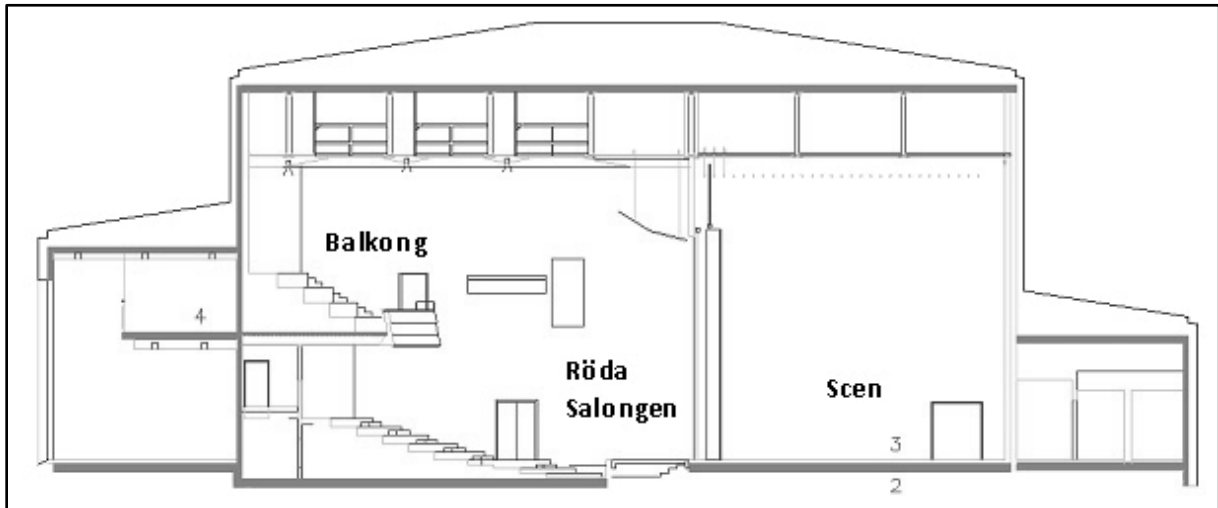
I teatersalongen finns från scenen fyra nödutgångar, vilka leder till två separata trapphus, A och B. Själva salongen utrymmer till två oberoende trapphus, K och L, via långsmala passager i främre delen av salongen samt via mindre passager i bakre delen av salongen. Dörrarna till passagera är vardera (Bredd x Höjd) $1,4 \times 2,1 \text{ m}^2$ och dörrarna till trapphusen är vardera $1,3 \times 2,1 \text{ m}^2$. Till dessa trapphus utrymmer också balkongen på plan fyra. Även balkongen utrymmer

via passager där dörrarna ut till dessa passager från balkongen är vardera $0,9 \times 2,1 \text{ m}^2$. Balkongen har 130 sittplatser och salongen 268 sittplatser.

Nämnas bör också de dörrar som leder ut till foajén, vilka är $1,45 \times 2,1 \text{ m}^2$ på plan tre och $1,35 \times 2,1 \text{ m}^2$ på plan fyra. Dessa kommer förmodligen att användas eftersom de utgör de normala ingångarna och personer i en okänd miljö väljer vanligen att gå ut samma väg som de kom in genom. (Frantzich 2001, s. 33)

Röda salongen på plan tre mäter cirka (Bredd x Längd x Höjd) $17,7 \times 13,8 \times 10,5 \text{ m}^3$. Takhöjden längst bak i salongen är 2,6 meter. Balkongen mäter $17,7 \times 5,5 \times 5,9 \text{ m}^3$. Takhöjden längst bak på balkongen är 3,8 meter.

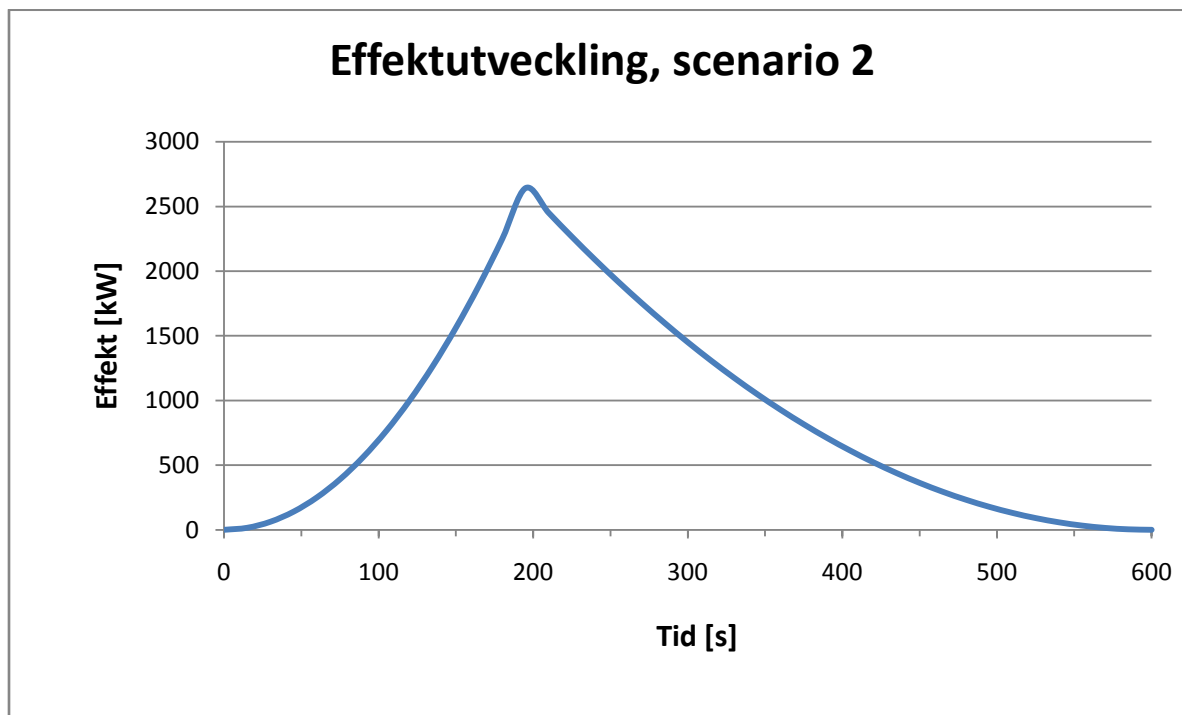
Scenen mäter cirka $11,1 \times 20,7 \times 10,5 \text{ m}^3$. Öppningen ut mot salongen är cirka 8 meter hög och 15 meter bred. Scenen är även försedd med sprinkler. För sektionsritning över Röda salongen, se Figur 15.



Figur 15. Sektionsritning, Röda salongen.

8.2.2 Brandförlopp

I scenario två undersöks brand på scen, där pyroteknik eller överhettad elektrisk utrustning antänder ridån. Beroende på föreställning ändras scenens rekvisita och möbleman, vilket gör det svårt att bestämma scenens brandbelastning. Av denna anledning har endast en brand i tygridån undersökts. För att beskriva brandförloppet har en effektutvecklingskurva tagits fram. För framtagandet av effektutvecklingen, se Bilaga B.



Figur 16. Effektutveckling, scenario två.

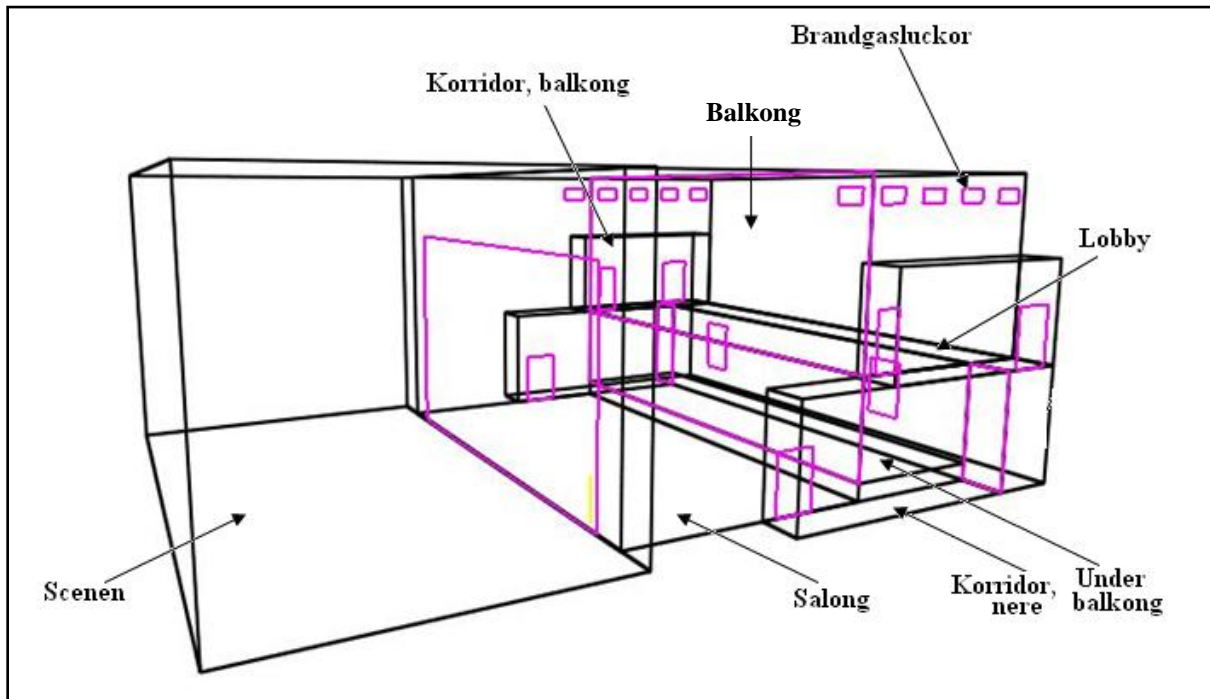
8.2.3 Aktivering av brand- och utrymningslarm

Röda salongen övervakas av rökdetektorer och scenhuset är dessutom försett med sprinkler. Brand- och utrymningslarmet aktiveras av rökdetektorerna efter cirka 2 minuter och 30 sekunder. Det är dock troligt att branden upptäcks tidigare av personer i salongen. Därför antas att personal detekterar branden och aktiverar utrymningslarmet manuellt vid en minut. Då stängs även den röksektionerande ridån, medan brandgasventilation aktiveras vid tvådetektorutlösning efter 2 minuter och 30 sekunder. Sprinkleraktiveringen uppgår till cirka 3 minuter och 40 sekunder. För beräkningar av aktiveringstider, se Bilaga C.

8.2.4 Tid till kritiska förhållanden

Som tidigare nämnts innebär kritiska förhållanden att utrymningen inte längre kan ske under acceptabla förhållanden enligt BBR. För att kunna göra en bedömning av förhållandena behövs bland annat temperaturen i undre lagret, strålningen och brandgaslagrets höjd studeras. Sprinkleraktiveringen på scenen sker efter cirka 3 minuter och 40 sekunder, se Bilaga C. Vid denna tid befinner sig branden i avsvlningsfasen vilket leder till att ingen hänsyn tas till sprinkleraktiveringen då den endast är till för att begränsa branden. Eftersom branden redan befinner sig i avsvlningsfasen anses det vara konservativt att låta branden avsvlna enligt effektutvecklingskurvan utan sprinkleraktivering. Tiden till kritiska förhållanden i scenario två redovisas i Tabell 8. Tiderna är hämtad från simuleringar i datorprogrammet CFast, se Bilaga D. Vid simuleringar i CFast ritades en enklare bild upp över Röda salongen. Figur 17 visar hur teatersalongen ritades upp i CFast samt vilka beteckningar som använts. ”Under balkong” är den beteckning som använts för det utrymme som befinner sig under balkongen, som alltså tillhör

själva salongen. Lobbyn är delen bakom teatersalongen där kontrollrummet finns samt där två passager ut från salongen är lokaliserade.



Figur 17 Schematisk bild över Röda salongen och angränsande rum.

Tabell 8. Tid till kritiska förhållanden, scenario två.

Utrymme	Brandgaslagrets höjd [s]	Temperatur i undre lager [s]	Strålning [s]
Under balkong	-	-	-
Salong	-	-	-
Lobby	-	-	-
Korridor, nere	-	-	-
Korridor, balkong	-	-	-
Balkong	-	-	-
Scenen	200	-	-

8.2.5 Tid till utrymning

Eftersom det endast uppstår kritiska förhållanden på scenen i scenario två, behövs endast tid till utrymning på scenen beaktas. Varseblivningstiden har antagits till en minut baserat på att utrymningslarmet startas manuellt av personal. Besluts- och reaktionstiden innan personer från scenen börjar utrymma antas vara en minut (*Brandskyddsbandboken 2005*, s. 222). För framtaganden av utrymningstider på scenen, se Bilaga E där även utrymningstiden för övriga utrymnen i Röda salongen har beräknats. Resultatet för utrymningstiden på scenen redovisas i Tabell 9.

Tabell 9. Tid till utrymning för scenario två.

Utrymme	Varseblivningstid [s]	Beslut- och reaktionstid [s]	Förflyttningstid [s]	Total utrymningstid [s]
Scenen	60	60	25	145

8.2.6 Resultat

Genom att jämföra utrymningstiderna mot tiderna till kritiska förhållanden kan slutsatser dras om utrymningen kan ske tillfredsställande utan att vidare analys krävs. En sammanställning av resultaten för utrymningstid och tid till kritiska förhållanden i scenario två visas i Tabell 10.

Tabell 10. Resultat för scenario två.

Utrymme	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]
Under balkong	200	-
Salong	205	-
Lobby	270 – 300*	-
Korridor, nere	230 – 285*	-
Korridor, balkong	210 – 225*	-
Balkong	200	-
Scenen	145	200

* Beroende på val av utrymningsväg, se Bilaga E.

Som synes i tabellen uppstår endast kritiska förhållanden på scenen, efter 200 sekunder. Då tiden till utrymning på scenen beräknades till 145 sekunder är det god marginal innan kritiska förhållanden uppstår och ingen vidare analys krävs.

Verifiering av resultat genom handberäkning

Simuleringarna i CFast har verifierats med hjälp av handberäkningsmodeller. Brandgaslagrets höjd efter 40 sekunder är 8,6 meter från golvet uppe på scenen. Handberäkningsmodellen ger en höjd upp till brandgaslagret på 9,3 meter. Dessa värden anses stämma bra överens med CFast då programmet tenderar att överskatta brandgaslagrets tjocklek enligt avsnitt 5.3.

Simuleringarna i CFast anses vara tillförlitliga då de överensstämmer bra med handberäkningsmodellerna. För exakta beräkningar och resonemang se Bilaga F.

8.2.7 Känslighetsanalys

Avsikten med en känslighetsanalys är att undersöka vilka variabler och parametrar som kan påverka slutresultatet och hur stora skillnaderna blir. För scenario två har följande parametrar ansetts kunna påverka resultatet och undersöks därför vidare. För exakta tider till kritiska förhållanden och diskussion om rimliga högsta och lägsta värden, se Bilaga G.

Tillväxthastighet

Om tillväxthastigheten varierades mellan *medium* (0,012 kW/s²) och *ultra fast* (0,19 kW/s²), istället för det framräknade värdet 0,069 kW/s², skedde ingen ändring av resultatet med avseende på utrymningssäkerheten.

Maximal effektutveckling

Om den maximala effektutvecklingen ändrades till 3,5 MW skedde ingen ändring av resultatet med avseende på utrymningssäkerheten. Däremot innebar en ändring till 1,5 MW att brandgasventilationen inte aktiverade och därmed uppstod kritiska förhållanden på balkongen innan utrymningen från balkongen var avklarad.

Avstånd mellan detektorer

Om avståndet mellan rökdetektorer varierades mellan 5 och 15 meter, istället för det uppskattade värdet 10 meter, påverkades tiden till aktiveringen av brandgasventilationen. Däremot skedde ingen ändring av resultatet med avseende på utrymningssäkerheten.

Aktiva system

Om den röksektionerande ridån inte stängs uppstod kritiska förhållanden både på balkongen och i korridoren uppe på balkongen innan utrymningen var avklarad.

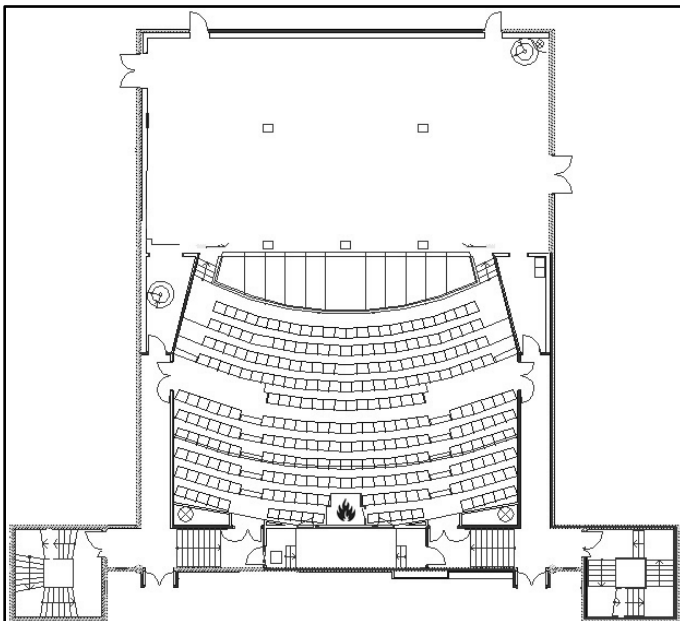
Om brandgasventilationen inte aktiverades uppstod kritiska förhållanden på balkongen, i korridoren på balkongen och på scenen. Dock var det endast på balkongen och i korridoren på balkongen som kritiska förhållanden uppstod innan utrymningen var avklarad.

Sammanfattning känslighetsanalys

I känslighetsanalysen visades att de variabler som har störst betydelse för utrymningssäkerheten är huruvida brandgasventilationen eller den röksektionerande ridån aktiveras eller inte. Eftersom den röksektionerande ridån har antagits aktiveras manuellt är detta en viktig variabel att undersöka vidare, se avsnitt 9.2. Brandgasventilationen aktiveras däremot endast av tvådetektoraktivering, vilket medför att aktiveringen av brandgasventilationen är av stor betydelse och måste därmed undersökas vidare i avsnitt 9.2.

8.3 Scenario 3 – Brand i mixerbord

I scenario tre undersöks en brand i mixerbordet i Röda salongen, vilket kan ses som ett intressant scenario eftersom det ger upphov till en brand i salongen. Mixerbordet är beläget längst upp i salongen bakom all publik, se Figur 18. Från mixerbordet kan brandspridning ske till angränsande föremål.



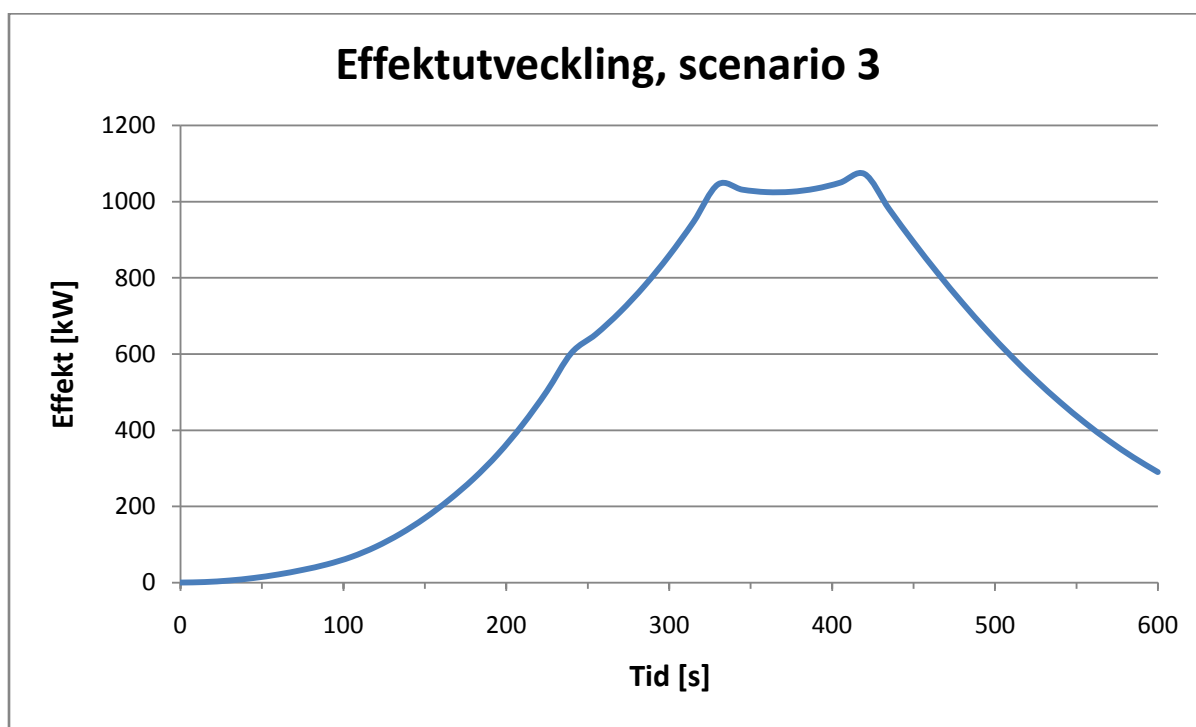
Figur 18. Brandens placering i scenario tre.

8.3.1 Lokalbeskrivning

Eftersom både brand i mixerbord liksom brand på scen inträffar i Röda Salongen, hänvisas lokalbeskrivningen till scenario två.

8.3.2 Brandförlopp

Det valda brandscenariot bygger på att mixerbordet antänder, vilket betyder som tidigare nämnts att branden startar längst bak i teatersalongen. Branden i mixerbordet antänder en teaterstol på vardera sidan för att slutligen antända ytterligare två teaterstolar. För att beskriva brandförloppet har en effektutvecklingskurva tagits fram, se Figur 19. För framtagandet av effektutvecklingskurvan, se Bilaga B.



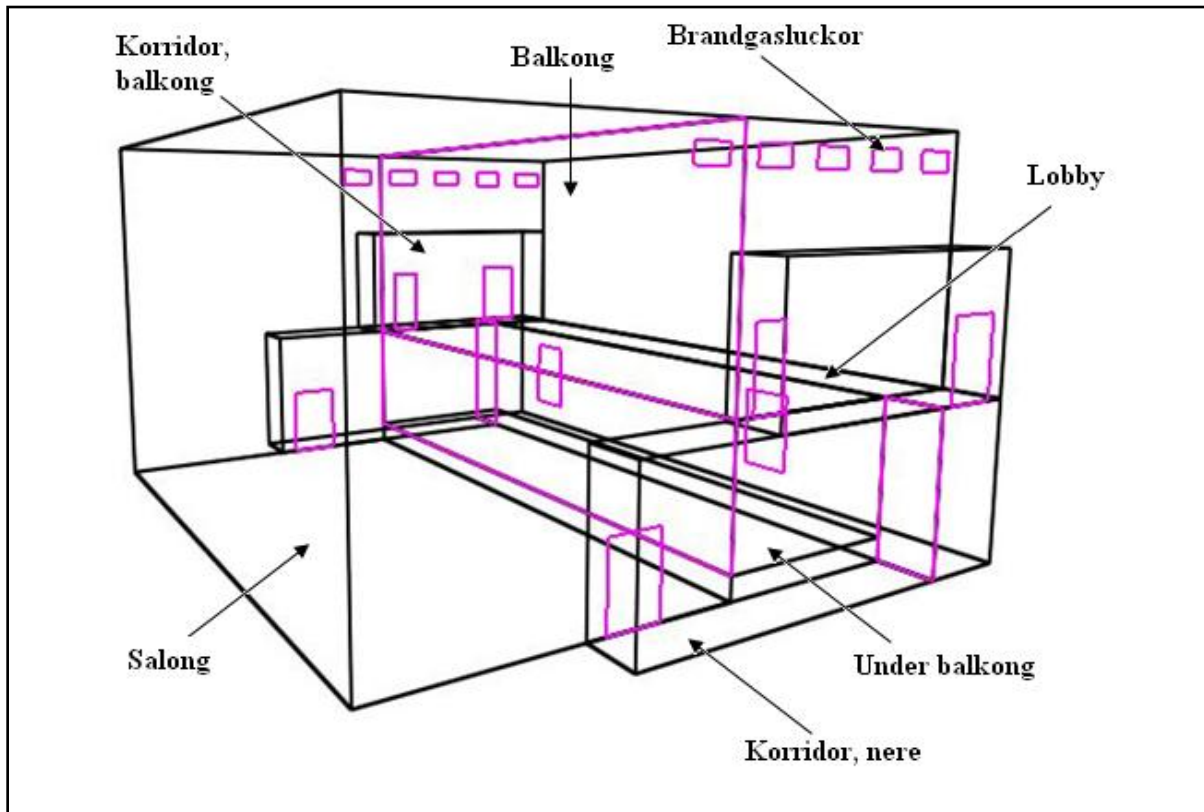
Figur 19. Effektutveckling för scenario tre.

8.3.3 Aktivering av brand – och utrymningslarm

Eftersom det enbart är scenen och inte salongen som är försedd med sprinkler är det tiden till det att rökdetektorerna aktiverar som är av betydelse. Aktiveringstiden uppgår till cirka 2 minuter och 50 sekunder. Det är dock troligt att branden upptäcks tidigare av personer i salongen. Därför antas att personal detekterar branden och aktiverar utrymningslarmet manuellt vid en minut. För beräkningar och resonemang se Bilaga C.

8.3.4 Tid till kritiska förhållanden

Som tidigare nämnts innebär kritiska förhållanden att utrymningen inte längre kan ske under acceptabla förhållanden enligt BBR. För att kunna göra en bedömning av förhållandena behövs bland annat temperaturen i undre lagret, strålningen och brandgaslagrets höjd studeras. Tiden till kritiska förhållanden i scenario tre redovisas i Tabell 11. Tiderna är hämtad från simuleringar i datorprogrammet CFast, se Bilaga D. Vid simuleringar i CFast ritades en enklare bild över Röda salongen upp, se Figur 20.



Figur 20. Schematisk bild över Röda salongen och angränsande rum.

Tabell 11. Tid till kritiska förhållanden, scenario tre.

Utrymme	Brandgaslagrets höjd [s]	Temperatur i undre lager [s]	Strålning [s]
Under balkong	-	-	230
Salong	-	-	-
Lobby	-	-	-
Korridor, nere	-	-	-
Korridor, balkong	-	-	-
Balkong	155	-	-
Scenen	-	-	-

8.3.5 Tid till utrymning

I Röda salongen får totalt 398 personer vistas, 268 personer i teatersalongen och 130 personer på balkongen. Varseblivningstiden har antagits till en minut baserat på att utrymningslarmet startas manuellt av personal. Besluts- och reaktionstiden innan personer börjar utrymma från salongen antas vara en minut (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 222).

För att beräkna utrymningstider i Röda salongen har två olika simuleringar gjorts i Simulex. I den första simuleringen, Simulering 1, utrymmer personerna i salongen och på balkongen genom trapphus L och K. Fördelningen har skett genom att de till vänster använder trapphus L och de till höger använder trapphus K. Denna simulering har bland annat gjorts för att upptäcka om köbildningar i trapphusen kan påverka utrymningen i salongen eller på balkongen. Denna simulering motsvarar även den tänkta utrymningsstrategin för Röda salongen.

I den andra simuleringen, Simulering 2, har antagandet gjorts att 80 procent av besökarna väljer den vanliga utgången genom foajén och endast 20 procent använder den tänkta utrymningsvägen genom trapphus L och K. Detta eftersom personer ofta använder kända utgångar som utrymningsväg vid en utrymningssituation (Frantzich 2001, s. 33).

För resonemang och framtagande av utrymningstider, se Bilaga E. Utrymningstider för scenario tre redovisas i Tabell 12.

Tabell 12. Tid till utrymning för Röda salongen.

Simulering 1				
<i>Utrymme</i>	<i>Varseblivningstid [s]</i>	<i>Beslut- och reaktionstid [s]</i>	<i>Förflyttningstid [s]</i>	<i>Total utrymningstid [s]</i>
<i>Under balkong</i>	60	60	80	200
<i>Salong</i>	60	60	85	205
<i>Lobby</i>	60	60	180	300
<i>Korridor, nere</i>	60	60	165	285
<i>Korridor, balkong</i>	60	60	105	225
<i>Balkong</i>	60	60	80	200
Simulering 2				
<i>Utrymme</i>	<i>Varseblivningstid [s]</i>	<i>Beslut- och reaktionstid [s]</i>	<i>Förflyttningstid [s]</i>	<i>Total utrymningstid [s]</i>
<i>Under balkong</i>	60	60	75	195
<i>Salong</i>	60	60	85	205
<i>Lobby</i>	60	60	150	270
<i>Korridor, nere</i>	60	60	110	230
<i>Korridor, balkong</i>	60	60	90	210
<i>Balkong</i>	60	60	80	200

8.3.6 Resultat

Genom att jämföra utrymningstiderna mot tiderna till kritiska förhållanden kan slutsatser dras om utrymningen kan ske tillfredsställande utan att vidare analys krävs. En sammanställning av resultaten för utrymningstid och tid till kritiska förhållanden i scenario tre visas i Tabell 13.

Tabell 13. Resultat för scenario tre.

<i>Utrymme</i>	<i>Total utrymningstid [s]</i>	<i>Tid till kritiska förhållanden [s]</i>
<i>Under balkong</i>	200	230
<i>Salong</i>	205	-
<i>Lobby</i>	270 – 300*	-
<i>Korridor, nere</i>	230 – 285*	-
<i>Korridor, balkong</i>	210 – 225*	-
<i>Balkong</i>	200	155

* Beroende på val av utrymningsväg, se Bilaga E.

Som synes i tabellen uppstår kritiska förhållanden på balkongen innan utrymning beräknades vara avklarad. Därför krävs en vidare analys av resultatet.

Vidare analys

Eftersom brandgaslagrets höjd når ner till kritisk nivå på balkongen innan utrymning från balkongen har skett, måste en vidare analys av scenariot göras. Därför undersöktes sikt, temperatur och toxicitet i det övre och undre lagret, se Bilaga D.

Tabell 14. Tid till kritiska förhållanden i brandgaserna och total utrymningstid, scenario tre.

Utrymme	Temperatur [s]	Sikt < 10 m [s]	O ₂ [s]	CO ₂ [s]	CO [s]	Total utrymningstid [s]
Balkong	-	165	-	-	-	200

Analysen visade att det endast uppstår kritiska förhållanden med avseende på sikten i övre lagret. Detta inträffar vid tiden 165 sekunder.

Brandgaslagrets höjd är då på en kritisk nivå. Eftersom brandgasventilationen startar vid 165 sekunder höjs brandgaslagret snabbt, vid 180 sekunder är brandgaslagrets höjd över kritisk nivå. Därmed kommer sikten att förbättras. Eftersom personer inte kommer att utsättas för varken kritiska halter av kolmonoxid, koldioxid, syrgas eller en kritisk temperatur, bedöms att en säker utrymning kan ske. Dessutom överskattar CFast brandgaslagrets tjocklek enligt avsnitt 5.4.

Verifiering av resultat genom handberäkning

Simuleringarna i CFast har verifierats med hjälp av handberäkningsmodeller. Brandgaslagret stabiliserar sig på cirka 8,7 meter i salongen. Handberäkningsmodellen ger en höjd upp till brandgaslagret som ligger mellan 7,8 och 9,7 meter. Dessa värden anses stämma bra överens med CFast då programmet tenderar att överskatta brandgaslagrets tjocklek enligt avsnitt 5.3.

Simuleringarna i CFast anses vara tillförlitliga då de överensstämmer bra med handberäkningsmodellerna. För exakta beräkningar och resonemang se Bilaga F.

8.3.7 Känslighetsanalys

Avsikten med en känslighetsanalys är att undersöka vilka variabler och parametrar som kan påverka slutresultatet och hur stora skillnaderna blir. För scenario tre har följande parametrar ansetts kunna påverka resultatet och undersöks därför vidare. För exakta tider till kritiska förhållanden och diskussion om rimliga högsta och lägsta värden, se Bilaga G.

Tillväxthastighet

Om tillväxthastigheten ändrades till *slow* (0,003 kW/s²), istället för det framräknade 0,010 kW/s², aktiverades brandgasventilationen i ett senare skede. Detta innebar att det som tidigare uppstod kritiska förhållanden på balkongen, men även i korridoren på balkongen. Om tillväxthastigheten ändrades till *fast* (0,047 kW/s²) aktiverades brandgasventilationen i ett tidigare skede och det uppstod inga kritiska förhållanden med avseende på brandgaslagrets höjd. Däremot uppstod kritiska förhållanden, innan utrymningen beräknades vara avklarad, med avseende på strålningen under balkongen.

Maximal effektutveckling

Om den maximala effektutvecklingen ökades till 3 MW, istället för det beräknade 1,1 MW, skedde ingen ändring av resultatet med avseende på utrymnings säkerheten. Om den maximala effektutvecklingen minskades till 340 kW, ändrades tiden till aktivering av brandgasventilationen. Detta medförde att det som tidigare uppstod kritiska förhållanden på balkongen med avseende på brandgaslagrets höjd, samt att det även i korridoren på balkongen. Däremot gav den lägre effektutvecklingen att det inte uppstod kritiska förhållanden under balkongen med avseende på strålningen.

Avstånd mellan detektorer

Om avståndet mellan rökdetektorer varierades mellan 5 och 15 meter, istället för det uppskattade värdet 10 meter, påverkades tiden till aktiveringen av brandgasventilationen. Vid simuleringarna kunde det påvisas att tiden till aktivering av brandgasventilationen har stor betydelse för resultaten.

Då avståndet mellan rökdetektorerna ändrades till 15 meter uppstod kritiska förhållanden med avseende på brandgaslagrets höjd på balkongen och i korridoren uppe på balkongen, innan utrymningen var avklarad. Då avståndet mellan detektorerna ändrades till 5 meter uppstod inga kritiska förhållanden i något utrymme i teatersalongen.

Aktiva system

Om brandgasventilationen inte fungerade uppstod kritiska förhållanden i samtliga utrymmen. Dock var det endast på balkongen och i korridoren på balkongen som utrymningen inte var avklarad då kritiska förhållanden inträffade. Vid fungerande brandgasventilation uppstod endast kritiska förhållanden på balkongen.

Sammanfattning känslighetsanalys

I känslighetsanalysen visades att alla variabler påverkade resultaten med avseende på utrymnings säkerheten. Detta eftersom alla variablerna i sin tur påverkar tiden till detektoraktivering och därmed aktiveringen av brandgasventilationen. Utförs en vidare analys av toxicitet, temperatur i brandgaslagret och sikt för de olika variablerna förutom tillväxthastigheten *fast*, liknande den som gjordes för scenario tre, kan det som tidigare påvisas att en säker utrymning kan ske. När branden tillväxer med tillväxthastigheten *fast* uppstår kritiska förhållanden med avseende på strålning under balkongen och därför undersöks denna variabel vidare i avsnitt 9.3.

En annan variabel som kan förhindra att en säker utrymning kan ske är om brandgasventilationen inte aktiverar och därför undersöks denna variabel vidare i avsnitt 9.3.

9 Diskussion

Diskussionen syftar till att utvärdera och diskutera möjligheten till utrymning vid brand i Hässleholm Kulturhus, med avseende på resultaten från de olika scenarierna samt med avseende på det brandtekniska skyddet i övrigt.

9.1 Scenario 1 – Brand i papperskorg

Vid framtagning av effektutvecklingskurvan har det antagits att det inte sker någon flamspridning till omgivande objekt. Detta eftersom att avståndet till närliggande biografstolar anses vara relativt långt samt att biografstolarna har tändsdyddande beklädnad.

Resultaten visar att utrymning från biografsalongerna genom slussen kan ske tillfredsställande trots att personerna utsätts för kritisk höjd till brandgaslagret. Detta eftersom sikten i brandgaserna anses vara tillräcklig under hela utrymningsförloppet samt att varken temperaturen eller toxiciteten hamnar på kritiska värden i brandgaserna. Vid utrymningssimuleringen av biografsalongerna bildades det köer till dörrarna vilka ringlade sig en bit in på stolsraderna. Dessa var de enda egentliga flaskhalsarna som observerades. Vid simuleringarna visade det sig att nästan ingen köbildning inträffade i slussen när både biografsalong ett och två utrymde samtidigt. Detta visar att dörren ut till biograffojén är tillräckligt bred.

Då kritiska förhållanden med avseende på brandgaslagrets höjd har inträffat innan personerna börjar utrymma i biografsalong ett är det troligt att anta att de översta raderna börjar utrymma något tidigare än den antagna beslut- och reaktionstiden. Detta anses dock inte påverka resultatet nämnvärt då personer ändå kommer att utsättas för kritiska förhållanden med avseende på brandgaslagrets höjd och sikt innan utrymningen är klar. På grund av detta kan antagandet gällande beslut- och reaktionstiden kan anses som konservativt.

När de ingående variablerna (tillväxthastighet, brandens placering, tillgängliga öppningar och den maximala effektutvecklingen) ändras visar det sig att personerna i biografsalong ett och två fortfarande kommer att utsättas för kritiska förhållanden med avseende på brandgaslagrets höjd vid utrymning genom slussen. De kritiska förhållanden med avseende på toxiciteten i brandgaserna påverkas inte när de olika variablerna varieras och kommer fortfarande inte att inträffa inom utrymningstiden. Däremot utsätts personerna för kritisk temperatur och värde under den acceptabla sikt nivån när effektutvecklingen ökas till 3 MW.

Att en papperskorg av den storleken som finns i biografsalongerna skulle kunna utveckla 3 MW vid en brand anses vara extremt osannolikt. Därför undersöks hur en anlagd brand i en biografstol skulle kunna påverka utrymningen. Biografstolarna anses vara likvärdiga med försök Y5.2/52 i Initial Fires (Särdqvist 1993). Denna stol har en tillväxthastighet som motsvarar *slow* och en maxeffekt på cirka 300 kW. Som nämnts innan är resultatet i scenario ett känsligt för en ökad maximal effektutveckling med tillväxthastighet *fast*. En ökad effektutveckling skulle kunna uppstå om branden sprider sig bland stolarna. I Tabell G.11 i Bilaga G undersöktes hur en 3 MW brand med tillväxthastighet *medium* påverkade tiderna till kritiska förhållanden. Det visade sig att kritiska förhållanden med avseende på temperaturen samt den acceptabla sikten inte inträffade under utrymningsförloppet. Att det skulle uppstå en brand som utvecklar 3 MW och som tillväxer med en hastighet över *medium* bland biografstolarna anses som mycket osannolikt. Därav anses resultaten vara rimliga och utrymning från biograferna anses kunna ske acceptabelt.

9.2 Scenario 2 – Brand på scen

I scenario två undersöktes en brand i tygridån på Röda salongens scen. Som resultaten visar uppstår kritiska förhållanden endast på scenen, vilket inträffar vid 200 sekunder. Eftersom scenen avskiljs genom en röksektionerande ridå och att det finns brandgasventilation i teatersalongen, uppstår inga kritiska förhållanden i något utrymme i övrigt. Tiden för utrymning av scenen uppgick enligt beräkningarna till 145 sekunder och detta ger en god marginal innan kritiska förhållanden uppstår.

Med anledning av att scenens möblemang och rekvisita ändras beroende på föreställning, är det svårt att bestämma en dimensionerande brand. De antaganden som gjorts bygger därför på fasta inredningar. Därför valdes att studera en brand i tygridån. I framtagandet av effektutvecklingen behövdes ett försök Y7/15 i Initial Fires (Särdqvist 1993) skalas upp för att motsvara tygridåns storlek. Brandens tillväxthastighet ansågs däremot vara densamma som försökets. Känslighetsanalysen visade emellertid att en ändring av tillväxthastigheten inte påverkade resultatet med avseende på utrymningssäkerheten. Ökas den maximala effektutvecklingen till 3,5 MW skedde ingen ändring av resultatet med avseende på utrymningssäkerheten. På grund av detta anses en vidare brandspridning till angränsande rekvisita på scenen vara försumbar då utrymningssäkerheten inte kommer att påverkas. Om den maximala effektutvecklingen istället minskades till 1,5 MW, är det tveksamt om brandgasventilationen aktiveras. Antas brandgasventilationen inte aktivera uppstår kritiska förhållanden uppe på balkongen vid 200 sekunder, vilket är samma tid som utrymningen beräknats vara avslutad. Utrymningen anses ändå vara fullgod eftersom de antaganden som gjorts innefattar en del säkerhetsmarginaler. Dessutom överskattar CFast brandgaslagrets storlek.

Vid simuleringen i CFast har den röksektionerande ridån antagits stängas momentant efter manuell aktivering via larmknapp efter 60 sekunder. Detta antagande anses vara konservativt för de personer som befinner sig på scenen men mindre konservativt för de i salongen. Det är dock troligt att den röksektionerande ridån kommer att stängas med en hastighet som är snabbare än den hastighet som brandgaslagret sjunker med. Detta eftersom brandgaslagret befinner sig på samma höjd som den röksektionerande ridån när denna aktiveras.

Känslighetsanalysen visar att störst betydelse för utrymningssäkerheten har aktiveringen av röksektionerande ridå och brandgasventilation. Om den röksektionerande ridån inte stänger uppstår kritiska förhållanden på balkongen och i korridoren på balkongen innan utrymning beräknats ske. Det är därmed viktigt att den fungerar och att den verkligen aktiveras manuellt vid en brand eftersom beräkningar visar att det uppstår kritiska förhållanden innan detektorerna aktiveras. Om brandgasventilationen inte aktiveras uppstår kritiska förhållanden på balkongen och i korridoren på balkongen innan utrymning beräknats ske. Därmed är det viktigt att brandgasventilationen aktiveras.

9.3 Scenario 3 – Brand i mixerbord

I scenario tre undersöktes en brand i teatersalongen, där mixerbordet antändes och brandspridning skedde till angränsande teaterstolar. Ingen ytterligare brandspridning från de två närmsta teaterstolarna har tagits hänsyn till. Eftersom det visade sig att utrymningen var avklarad innan antändning i dessa antogs kunnat ske samt att känslighetsanalysen visade att en högre effektutveckling inte påverkade utrymningssäkerheten, anses denna avgränsning vara acceptabel. Som resultaten visar uppstår kritiska förhållanden under balkongen vid 230 sekunder samt på balkongen vid 155 sekunder. Eftersom det finns brandgasventilation i teatersalongen uppstår inga kritiska förhållanden i något utrymme i övrigt. Det är däremot endast på balkongen som utrymningen inte beräknats vara avklarad innan de kritiska förhållandena uppstår. Utrymningen

beräknades till 200 sekunder. Därför gjordes en vidare analys av scenariot där sikt, temperatur och toxicitet i brandgaslagret undersöktes. Analysen visade att personer varken kommer att utsättas för kritiska halter av kolmonoxid, koldioxid, syrgas eller en kritisk temperatur. När brandgasventilationen startar höjs brandgaslagrets höjd över kritisk nivå, vilket medför fullgoda möjligheter till utrymning.

Känslighetsanalysen visade att störst betydelse för utrymnings säkerheten har aktiveringen av brandgasventilationen. I en vidare analys där temperatur, sikt och toxicitet undersöktes påvisades att en ändring av olika variabler inte förhindrade att en säker utrymning kunde ske. Påpekas bör att vid en tillväxthastighet *fast* uppgick strålningsintensiteten under balkongen till kritiskt värde, innan beräknad utrymning var avklarad. Det är dock mer sannolikt att en brand i teatersalongen inte tillväxer med denna hastighet. Detta eftersom branden i scenariot baserats på verkliga försök samt att teaterstolarna troligen är flamskyddsbehandlade, vilket försvårar brandspridning.

Om brandgasventilationen däremot inte aktiveras försämras förhållandena för utrymning. Det är därför den enskilt viktigaste variabeln att ta hänsyn till. En tidig aktivering av brandgasventilationen och att den verkligen fungerar är avgörande för personsäkerheten ur utrymnings synpunkt. För att kunna fylla sin funktion krävs ett kontinuerligt och planerat underhåll av denna.

Vid utrymningssimuleringarna i Simulex noterades två flaskhalsar vid utrymning av Röda salongen. Dessa uppkom vid de nedre korridorerna som leder ut till foajén, där korridorerna till lobbyn samt dörrarna till trapphusen korsas. Flaskhalsarna uppkom oberoende av vilken väg personerna antogs ta. Att personer från balkongen utrymde via samma trapphus som personer i salongen påverkade inte utrymningen från salongen nämnvärt.

9.4 Övrigt brandtekniskt skydd

Avsnittet tar upp brister i brandskyddet som upptäcktes vid platsbesöket samt andra brister som har upptäckts under arbetets gång.

9.4.1 Allmänt

- Sprinkleranläggningen är inte testad sedan byggnation (*Persson, Nils-Erik* 2008-09-18). Detta kan leda till att sprinklersystemet inte fungerar som det är tänkt vid brand.

9.4.2 Plan 0

- Dörr till trapphus B går inte helt igen. Detta innebär att brandgasspridning till trapphus B kan ske då brandcellsindelningen inte fungerar. Spänning av dörrstängare är en lämplig åtgärd.
- Bortre dörr till trapphus E stängs inte som den ska då låshuset i dörren eller slutblecket i karmen är felmonterat, vilket innebär att tryckfallet (fjäderbelastad, snedskuren låskolv som manövreras med dörrhandtaget när låset är öppet) inte låser i slutblecket. Detta kan leda till brandgasspridning i trapphus E då brandcellsindelningen inte fungerar.
- Brandgasventilation i skyddsrum är helt igensatt av bokhyllor. Detta innebär ingen risk för personsäkerheten i fredstid, då skyddsrummet endast används som förråd och brandgasventilationen endast är till för att man lättare ska kunna sanera ut brandgaser och öppnas av räddningstjänst utifrån.

- Ventilationskanalen mellan garaget och hissmaskinrummet (F1, F2), som ligger i en EI-60 vägg, är helt öppen och ej försedd med brandgasspjäll. Se Figur 21. Detta medför att brandgaser kan sprida sig över brandcellsgränsen och därmed försätta brandcellen ur spel.



Figur 21. Ventilationskanal i brandcellsgräns som är helt öppen och ej försedd med brandgasspjäll.

9.4.3 Plan 1

- I bibliotekets nedre del uppfylls inte Boverkets rekommendationer angående säker utrymning, då gångavståndet är för långt och tre av dörrarna är för smala. Vid vidare analys kan det konstateras att lokalen har högt till tak och är stora med avseende till area samt att utrymning sker relativt snabbt även när någon utgång är blockerad. Detta innebär att personer kommer att hinna utrymma innan kritiska förhållanden har uppstått. Avsteg från Boverkets rekommendationer är därför acceptabelt.
- Utställningshallen uppfyller inte heller Boverkets rekommendationer angående säker utrymning med avseende på gångavståndet som är för långt. Detta längsta gångavstånd återfinns i ett förråd i utställningshallen där endast personal antas vistas. Vid en vidare analys kan det konstateras att utrymningstiden för utställningshallen och turistbyrån är relativt kort, även då någon av utgångarna är blockerad samt att takhöjden i utställningshallen är hög. Detta innebär att personer kommer att hinna utrymma innan kritiska förhållanden har uppstått. Avsteg från Boverkets rekommendationer är därför acceptabelt.
- Hyllor i biblioteket täcker många av nödutgångsskyltarna så att de inte går att se. Lämplig åtgärd kan vara att hänga de från taket liksom i Figur 22.



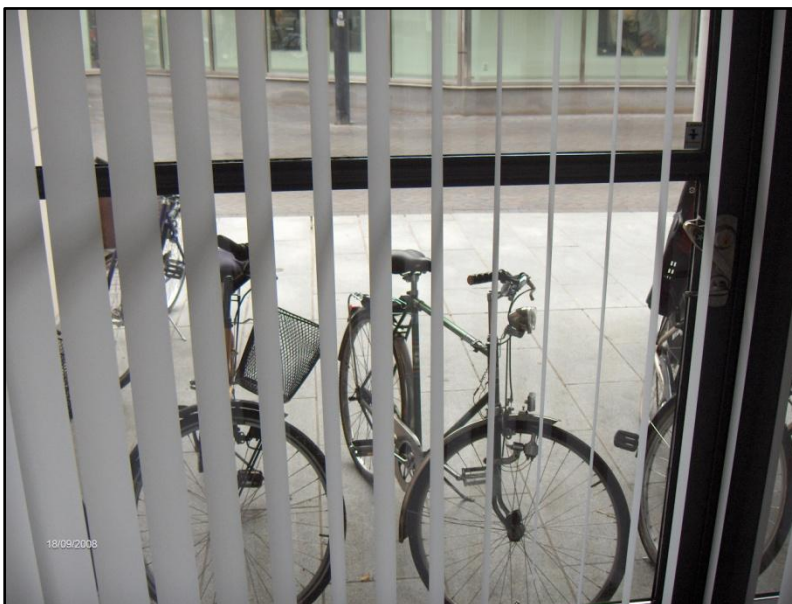
Figur 22. Exempel på utrymningsskylt som hänger från taket.

- Utrymningsskylt från barnbiblioteket lyste ej.
- Dålig hörbarhet av utrymningslarmet i sagorummet enligt personal. Personalen har som rutin att alltid utrymma sagorummet innan de själva utrymmer. Men då en brist i personalrutiner lätt kan uppstå, till exempel när en sommarvikare tas in, är detta ej ett fullgott skydd.
- Utrymningsskyltningen vid den östra entrén (Vattugatan) består endast av en skylt som sitter högt ovanför entrén, vilket gör att man lätt kan missa den. Denna skylt ser man inte alls ifrån trappan.
- Utrymningsskyltningen ovanför nödutgången i utställningshallen är väldigt högt placerad, vilket gör att den lätt hamnar utanför blickfånget, se Figur 23. Nödutgångsdörren är skyddad av ett draperi som hänger ner framför dörren, vilket gör att den är svår att se.



Figur 23. Utrymningsskyltens placering i utställningshallen.

- Utanför nödutgången från utställningshallen är det populärt att ställa cyklar vilka blockerar utrymningsvägen, se Figur 24.



Figur 24. Parkerade cyklar som blockerar utrymningsvägen från utställningshallen.

- Dörr från caféet till trapphus B var uppställd, något som skedde ofta enligt personal. Lämplig åtgärd är att förse dörren med magnetkontakt.



Figur 25. Uppställd dörr i brandcellsgräns mellan caféets kök och trapphus B.

- I caféets kök var utrymningsskylten mellan köket och trapphuset ej synlig vid en eventuell utrymning.
- I restaurangens kök var utrymningsplanen felplacerad och ritningen stämde inte överens med lokalen.

9.4.4 Plan 2

- Utrymningsskylt vid konferensrummet i biblioteket lyste ej.
- Dörr i utrymningsväg mot trapphus A från biblioteket öppnas med vred. Lämplig åtgärd är att montera panikregel.

9.4.5 Plan 3

- Biograffoajén uppfyller inte Boverkets rekommendationer angående säker utrymning, då gångavståndet i lokalen är för långt. Det kan konstateras att biograffoajén har högt till tak och är stor med avseende till area samt att utrymning sker relativt snabbt även när någon utgång är blockerad. Detta innebär att personer kommer att hinna utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. Avsteg från Boverkets rekommendationer är därför acceptabelt.
- I biografsalong 1 finns två platser, högst upp i salongen, som är avsedda för rullstolsburna personer. När dessa platser inte upptas av rullstolsburna personer, kan ett mobilt säte med två platser monteras in. Detta säte inskränker dock på entrédörrens dörrbredd med cirka 30cm. Entrédörrens öppning blir därmed mindre än 1,2m vilket den inte får vara (BBR 5:332).
- Utrymningsskylt vid entrén i biografsalong 1 lyste ej.
- Brandpostens lucka i biografslussen öppnas åt höger, ut mot lokalen. Denna dörr hamnar därmed i vägen för slangdragningen. Borde öppnas till vänster för att underlätta slangdragning.
- Tryckknapp för upplåsning av utrymningsväg vid ”spången” var dåligt skyltad

10 Åtgärder

Kapitlet redovisar förslag till åtgärder med utgångspunkt från resultat och diskussion samt redovisar validering av åtgärder.

10.1 Förslag till åtgärder

Åtgärderna är indelade efter vad som *skall* åtgärdas och vad som *bör* åtgärdas. *Skall* är åtgärder som krävs för att uppnå tillräcklig personsäkerhet vid brand och *bör* är en rekommendation av åtgärder för att ytterligare förbättra brandskyddet.

Dessa åtgärder är extra viktiga ur personsäkerhetssynpunkt och därför *skall* dessa åtgärder vidtas för att Hässleholm Kulturhus skall anses som säker i händelse av brand:

- Brandgasventilationen skall kontrolleras för att säkerhetsställa funktion samt schemalagda kontroller och periodiskt underhåll skall utföras.
- Röksektionerande ridå skall kontrolleras för att säkerhetsställa funktion samt schemalagda kontroller och periodiskt underhåll skall utföras.
- En organisation för systematiskt brandskyddsarbete skall upprättas.

Nedan redovisas förslag till åtgärder indelade i biografsalong, Röda salongen och åtgärder med anledning av platsbesök.

10.1.1 Biografsalong

Följande åtgärder *skall* vidtas:

- Samtliga utrymningsskyltar i biografsalongerna och slussen skall vara väl synliga och belysta/genomlysta.

Följande åtgärder *bör* vidtas:

- Samtliga papperskorgar i alla tre biografsalongerna bör tömmas inför varje ny föreställning.

10.1.2 Röda salongen

Följande åtgärder *skall* vidtas:

- Brandgasventilationen skall kontrolleras för att säkerhetsställa funktion samt schemalagda kontroller och periodiskt underhåll skall utföras.
- Röksektionerande ridå skall kontrolleras för att säkerhetsställa funktion samt schemalagda kontroller och periodiskt underhåll skall utföras.

Följande åtgärder *bör* vidtas:

- Brandgasventilationen i teatersalongen bör även aktiveras vid manuellt aktiverat brand- och utrymningslarm i teaterdelen.
- Personalrutiner i händelse av brand bör ses över samt regelbunden utbildning och övning av personal bör finnas.

10.1.3 Åtgärdsförslag med anledning av platsbesök

Följande åtgärder *skall* vidtas:

- Sprinklersystemet skall testas för att säkerställa funktion samt schemalagda kontroller och periodiskt underhåll skall utföras.
- En organisation för systematiskt brandskyddsarbete skall upprättas.
- Samtliga utrymningsskyltar i byggnaden skall vara belysta eller genomlysta.
- Samtliga branddörrars funktion skall säkerställas.
- Ventilation till hissmaskinrum F1 och F2 skall förses med brandspjäll.
- Utrymningsdörr till det fria från utställningshallen skall vara synlig och får ej skymmas av gardin.

Följande åtgärder *bör* vidtas:

- Utrymningsskyltarnas placering bör ses över.
- En tydlig skylt vid öppningsknapp till nödutgång på ”spången” bör finnas.
- Utrymningsplanen i restaurangen bör uppdateras så att den överensstämmer med lokal och placering.
- Dörren från caféet till trapphus B bör förses med magnetuppställning för att förhindra att dörren spärras upp permanent och sätter branddörren ur funktion.
- Dörren till trapphus A på andra våningen i biblioteket bör förses med panikregel.
- Utrymningslarm bör placeras i sagorummet i biblioteket.
- Dörren till brandpost i biografslussen bör öppnas åt andra hållet.
- En skylt med texten ”Utrymningsväg – får ej blockeras” bör monteras utanför utrymningsväg från utställningshallen.
- Dörren i utställningshallen bör bytas till en ej glasad dörr och gardinen bör utformas så att den ej täcker dörren.

10.2 Validering av åtgärder

Avsnittet validerar åtgärder som föreslagits i avsnitt 10.1.

10.2.1 Validering av åtgärder i biografsalong

Genom att se till att utrymningsskyltarna i samtliga biografier och sluss är väl synliga och belysta/genomlysta kommer det inte bli några tveksamheter om var utrymningsvägarna finns. Dessutom är ovanstående krav fastställt i BBR 5:351.

Enligt Figur 9 i avsnitt 7.1.1 är 16 procent av de uppkomna bränderna i samlingslokaler anlagda med uppsåt. I statistisk från Flynn (2007, s.3) startar 34 procent av alla bränder i samlingslokaler i pappers- och skräpbehållare. Genom att samtliga papperskorgar är tömda i biografsalongerna vid början av varje föreställning minskar risken för anläggning av bränder i biografen.

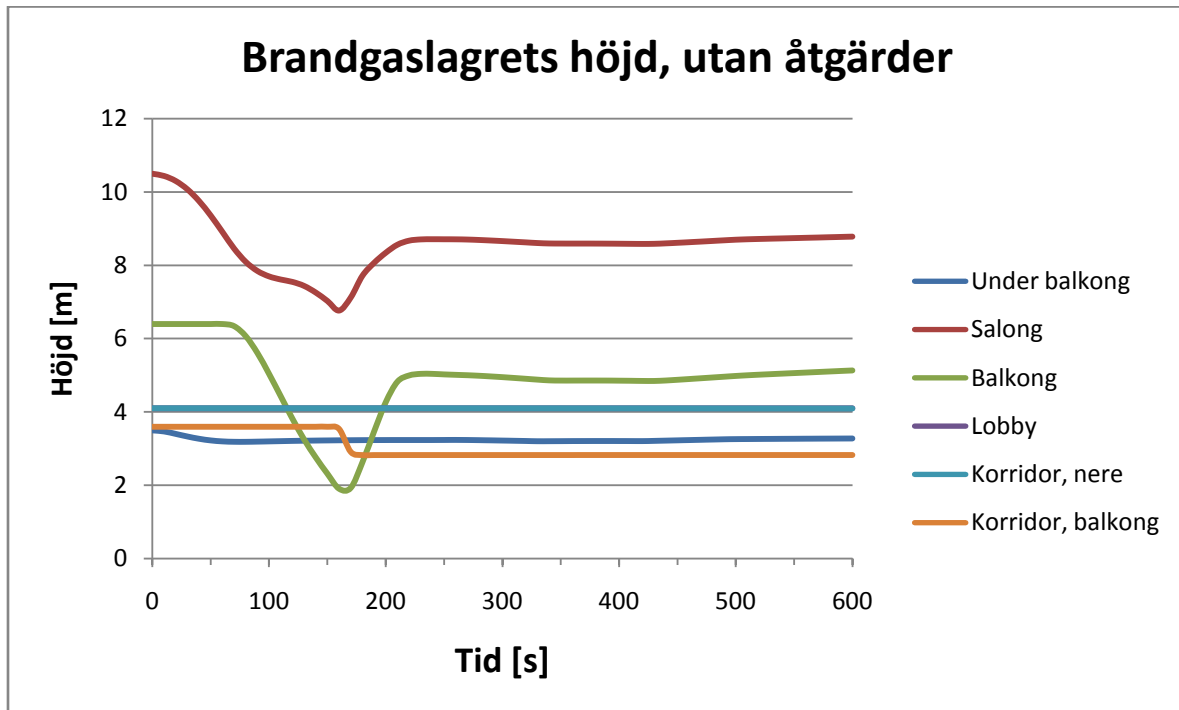
10.2.2 Validering av åtgärder i Röda salongen

Aktiva system, såsom brandgasventilation och röksektionerande ridå, kräver ett kontinuerligt och planerat underhåll för att alltid kunna fylla sin funktion. Lämplig åtgärd kan vara att den röksektionerande ridån alltid är stängd när det inte är föreställning. På så sätt fås en kontinuerlig funktionskontroll av ridån innan varje aktivitet i Röda salongen.

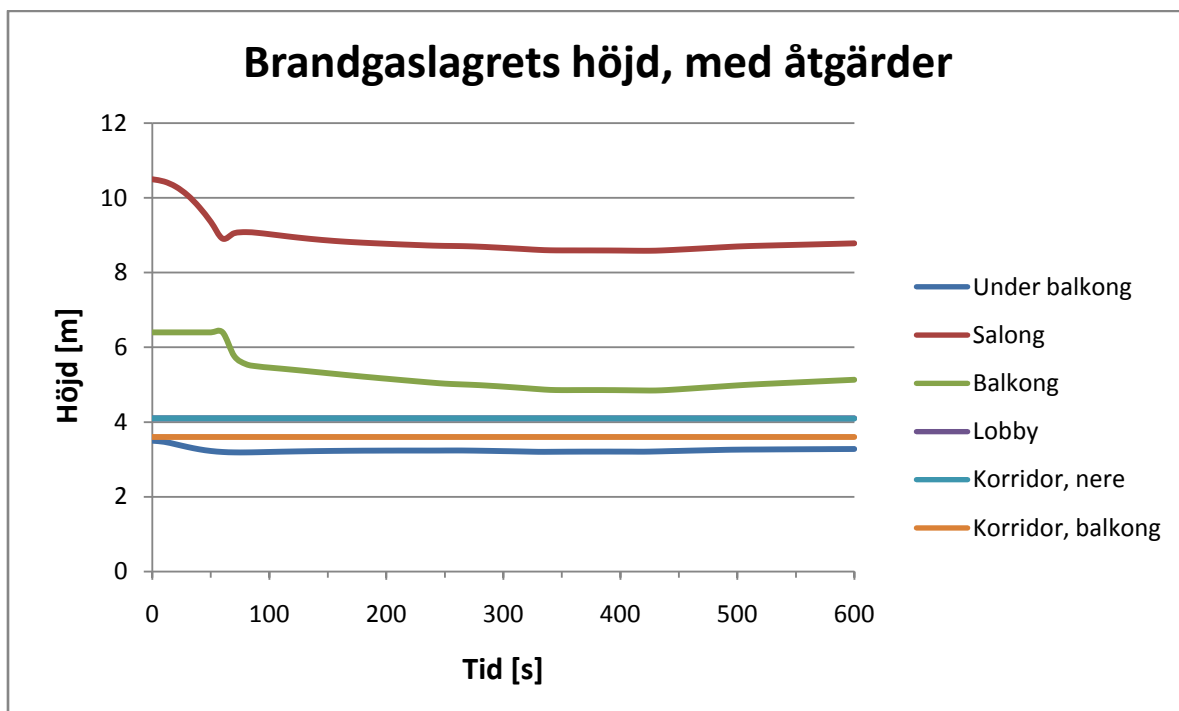
I Brandskyddshandboken (2005, s. 56) står det beskrivet ”För att brandskyddet skall fungera över tiden måste ett väl fungerande kontroll- och underhållsarbete finnas.” Även i Räddningsverkets allmänna råd om systematiskt brandskyddsarbete, SRVFS 2004:3 står det att ”För varje byggnad eller anläggning bör det

finnas en dokumentation av brandskyddet som är tillräckligt omfattande för att säkerställa att skäliga brandskyddsåtgärder vidtas och hålls funktionsdugliga”. Precis som resultaten i rapporten visar krävs ur personsäkerhetssynpunkt att dessa aktiva system fungerar.

Om brandgasventilationen aktiveras manuellt vid 60 sekunder uppstår inga kritiska förhållanden med avseende på brandgaslagrets höjd. Detta påvisades genom en simulering av scenario tre, brand i mixerbord, i CFast där brandgasventilationen aktiverade efter 60 sekunder. Figur 26 och Figur 27 visar höjden till brandgaslagret *med* och *utan* åtgärder.



Figur 26. Brandgaslagrets höjd, scenario tre, *utan* åtgärder.



Figur 27. Brandgaslagrets höjd, scenario tre, *med* åtgärder.

I Brandskyddshandboken (2005, s. 56) föreskrivs att *"/.../ personalen har tillräcklig utbildning i brandskydd och att personalens ansvar görs tydligt*". Resultaten i rapporten visar betydelsen av personalens agerande vid händelse av brand och därför måste deras rutiner vid händelse av brand vara tydliga.

10.2.3 Validering av övriga åtgärder

Enligt Lagen (SFS 2003:778) om skydd mot olyckor (2 kap. 2 §) skall ägare eller nyttjanderättshavare till byggnader eller andra anläggningar vidta de åtgärder som behövs för att förebygga brand och för att hindra eller begränsa skador till följd av brand. För att uppfylla dessa krav bör ett systematiskt brandskyddsarbete bedrivas i alla typer av byggnader och anläggningar (SRVFS 2004:3). Eftersom det i Hässleholm Kulturhus finns många olika verksamheter skall en organisation kring systematiskt brandskyddsarbete upprättas. Detta för att lättare få en uppfattning av nivån på brandskyddet som helhet i kulturhuset.

För att säkerställa sprinklersystemets och branddörrars funktion krävs ett kontinuerligt och planerat underhåll, se validering av åtgärder för aktiva system i Röda salongen.

Utrymningsskyltar skall vara belysta eller genomlysta, se validering av åtgärder i biografsalong.

Därutöver bör utrymningsskyltarnas placering ses över. I Brandskyddshandboken (2005, s. 88) finns beskrivet att *"Skyltarna skall placeras i lokalen så att det tydligt framgår var utrymningsvägarna är placerade. Som vägledning för skyltarnas placering gäller att de skall vara synliga från alla platser i lokalen"*.

Med hänsyn till vad som står skrivet i Arbetsmiljöverket (AFS 2000:42, 91 §), *"I byggnader skall, i den omfattning som behövs och på lämpligt belägna platser, finnas anslag med utrymningsplan"*, bör utrymningsplanen i restaurangen uppdateras.

Det är viktigt att utrymningsvägar inte blir blockerade. I Brandskyddshandboken (2005, s. 87) står det att *"Om det finns risk för att en utrymningsväg kan bli blockerad på byggnadens utsida av t ex varor eller cyklar, skall en skylt monteras på dörrens utsida med texten 'Utrymningsväg – får inte blockeras' "*.

11 Referenser

11.1 Litteratur

- AFS 2000:42. *Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter om arbetsplatsens utformning samt allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna*. Arbetsmiljöverket, Solna.
- Boverket (2005), BBR, *Regelsamling för byggande*, BFS 1993:57 med ändringar till och med 2005:17, Boverket, Karlskrona.
- Boverket (2006), *Utrymningsdimensionering*, Boverket, Karlskrona.
- Brandskyddsdokumentation (2001-06-05), handläggare Rolf Larsson, arbetsnummer 8125, CLC Installationskonsult AB.
- Brandskyddsbandboken* (2005). Rapport 3134. Brandteknik, Lunds universitet, Lund.
- Bwalya, Alex C. (2005). *Design Fires for Commercial Premises – Result of phase I*. Internal report 868, National Research Council Canada.
- Drysdale, Dougal (2002). *An Introduction to Fire Dynamics – 2nd ed.* John Wiley & Sons Ltd, Baffins Lane, Chichester, West Sussex, England
- Flynn, Jennifer (2007). *Structure fires in public assembly properties excluding eating and drinking establishment and religious and funeral properties*. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, USA.
- Frantzich, Håkan (2001). *Tid för utrymning vid brand*. Räddningsverket, Karlstad.
- Frantzich, Håkan & Nilsson, Daniel (2007). *Vägval vid utrymning – utrymningsförsök med gröna blinkande lampor vid nödutgångar*. Rapport 3141, Brandteknik, Lunds universitet, Lund.
- Hansson, Kristian (2007). *Utvärdering av metoder för val av dimensionerande brandscenario*. Rapport 5220, Brandteknik, Lunds universitet, Lund.
- Holmstedt, Göran & Nilsson, Daniel (2008). *Kompendium i Aktiva system – Detektion*. Rapport 7030, Brandteknik, Lunds universitet, Lund.
- Hultquist, Hans (2000). *Simulating visibility in HAZARD I/CFAST*. Rapport 7010, Brandteknik, Lunds universitet, Lund.
- ISO/WD 13390 (1995). *Subsystem 1: Initiation and development of fires and fire effluents*. International Organization for Standardization.
- Jones Walter W, Peacock Richard D, Formey Glenn P & Reneke Paul A (2005). *CFAST-Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (version 6) User's Guide*. NIST (National Institute of Standards and Technology), Washington, USA.
- Karlsson, Björn & Quintiere, James G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Nilsson, Daniel (2007). *Datorsimulering av utrymning vid brand – inventering av tre angreppssätt*. Rapport 3142, Brandteknik, Lunds universitet, Lund.

Reinicke, Boel (2007). *Utrymning från biograf – resultat från fullskaleförsök*. Rapport 5218, Brandteknik, Lunds universitet, Lund.

Reneke Paul A, Jones Walter W, Peatross Michelle J, Beyler Craig L & Richards Rob (2001). *A comparison of CFAST Predictions to USCG real-scale fire tests*, Journal of Fire Protection Engineering, Vol.11, No 1,43-68., Society of Fire Protection Engineers, USA

SFS 2003:778. *Lag om skydd mot olyckor*. Försvarsdepartementet, Stockholm.

SRVFS 2004:3. *Statens räddningsverks allmänna råd och kommentarer om systematiskt brandskyddsarbete*. Statens Räddningsverk, Karlstad.

Särdqvist, Stefan (1993). *Initial Fires. RHR, Smoke Production and CO Generation from Single Items and Room Fire Tests*. Rapport 3070, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, editorial staff DiNenno, Philip J. et al. (2002). 3rd ed. National Fire Protection Association, Quincy, Massachussets, USA.

11.2 Internet

Fakta om kulturhusets lokaler, Hässleholms kommun, <http://www.hassleholm.se/2198>, [Hämtad 2008-09-22]

Evacuation, IES (Integrated Environmental Solutions Ltd), http://www.iesve.com/content/default.asp?page=s30_2, [Hämtad 2008-11-18]

Fire Modeling Programs, NIST (National Institute of Standards and Technology), <http://www.bfrl.nist.gov/866/fmabbs.html>, [Hämtad 2008-11-18]

Evaluation of the Computer Fire Model DETACT-QS, NIST (National Institute of Standards and Technology), <http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/fire02/PDF/f02053.pdf>, [Hämtad 2008-11-18]

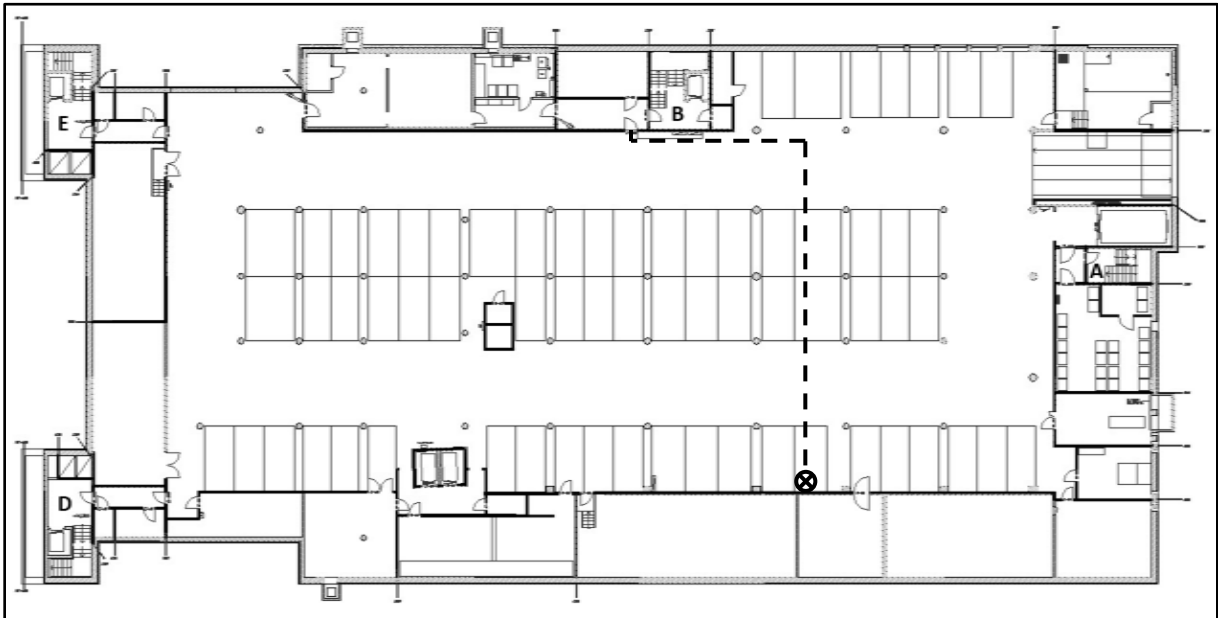
11.3 Muntliga källor

Nilsson, Daniel. Doktorand, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2008-11-07.

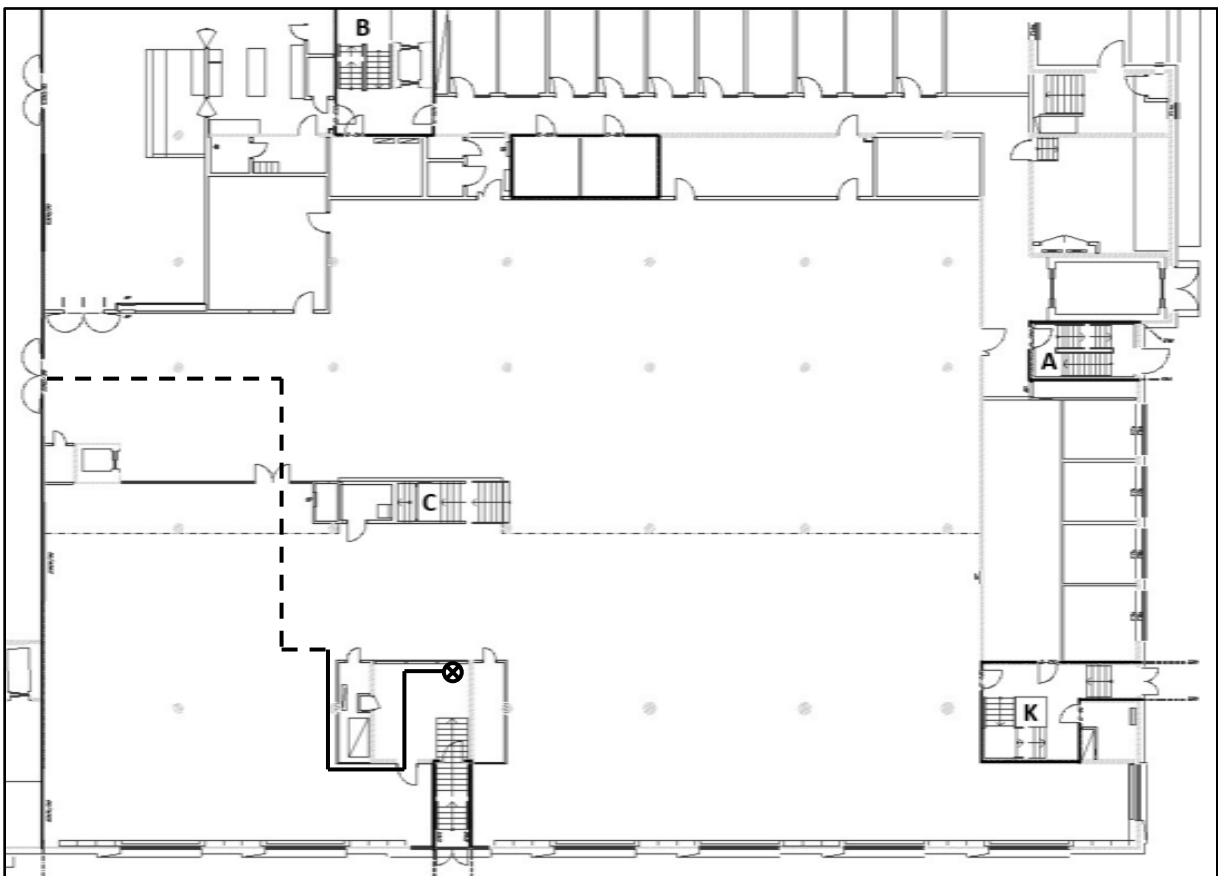
Persson, Nils-Erik. Vaktmästare, Hässleholm Kulturhus, 2008-09-18.

Bilaga A – Beräkning av dimensionerande gångavstånd

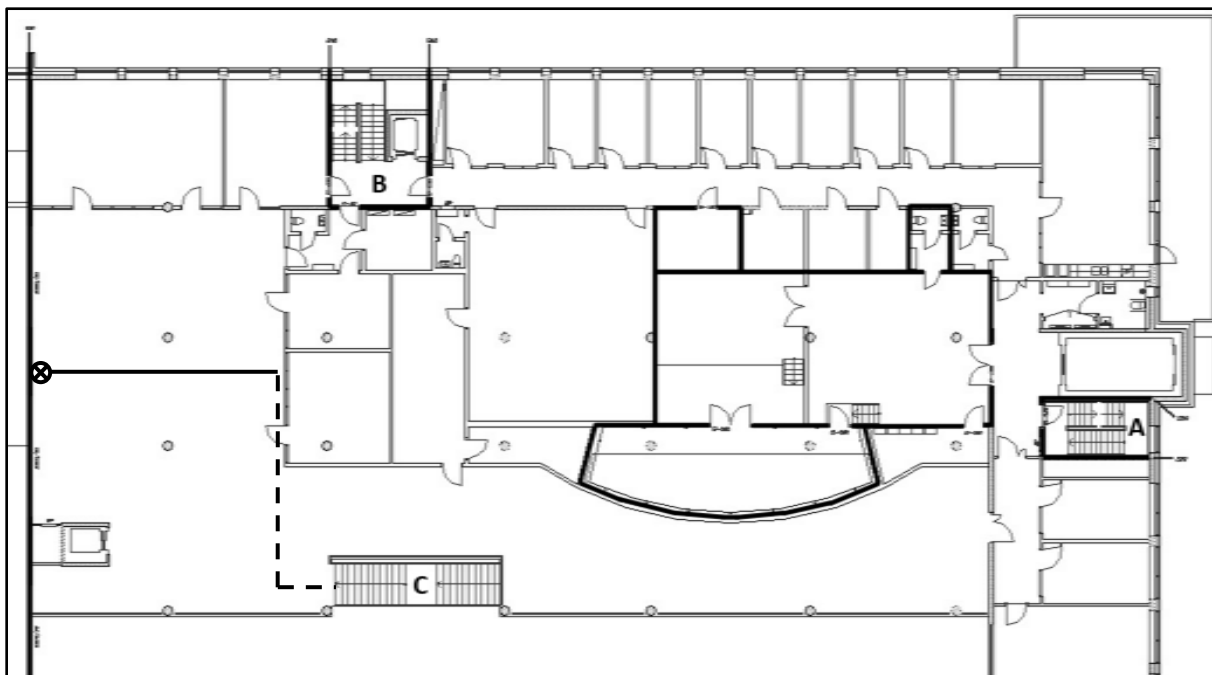
Bilagan redovisar mest ogynnsamma punkt och utrymningsväg i de olika lokalerna. Heldragen linje visar sammanfallande gångsträcka och streckade linjer visar ej sammanfallande gångsträcka.



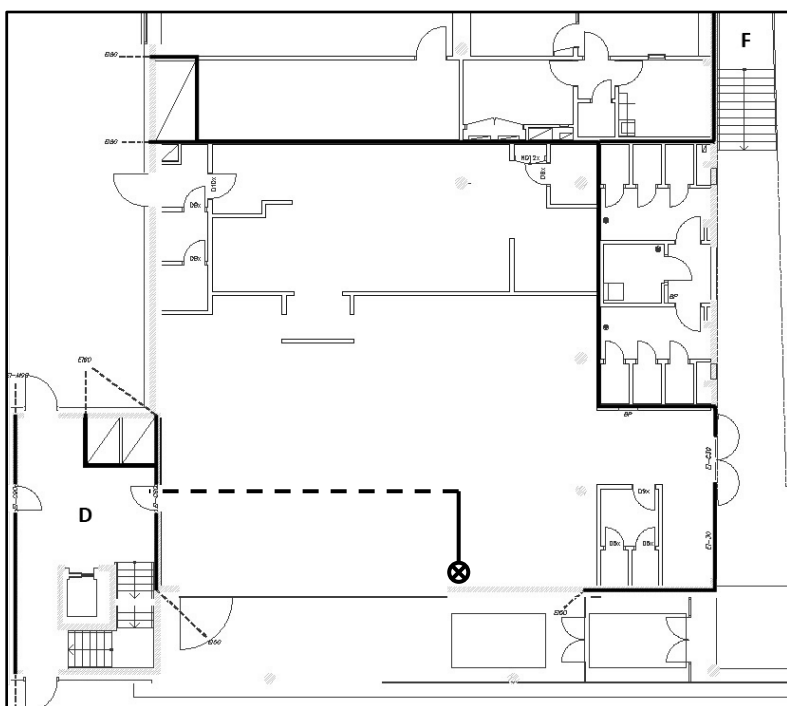
Figur A.1. Schematisk bild över dimensionerande gångavstånd, garaget.



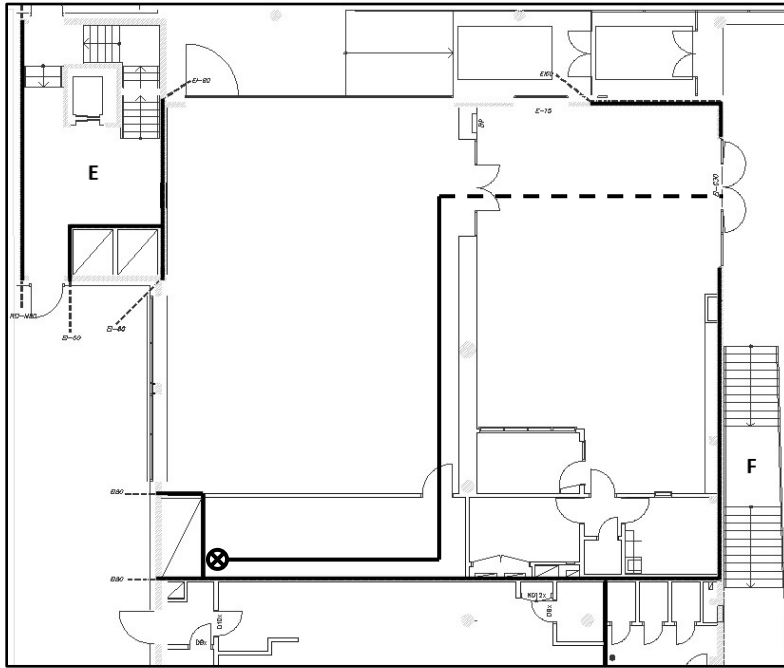
Figur A.2. Schematisk bild över dimensionerande gångavstånd, biblioteket plan ett.



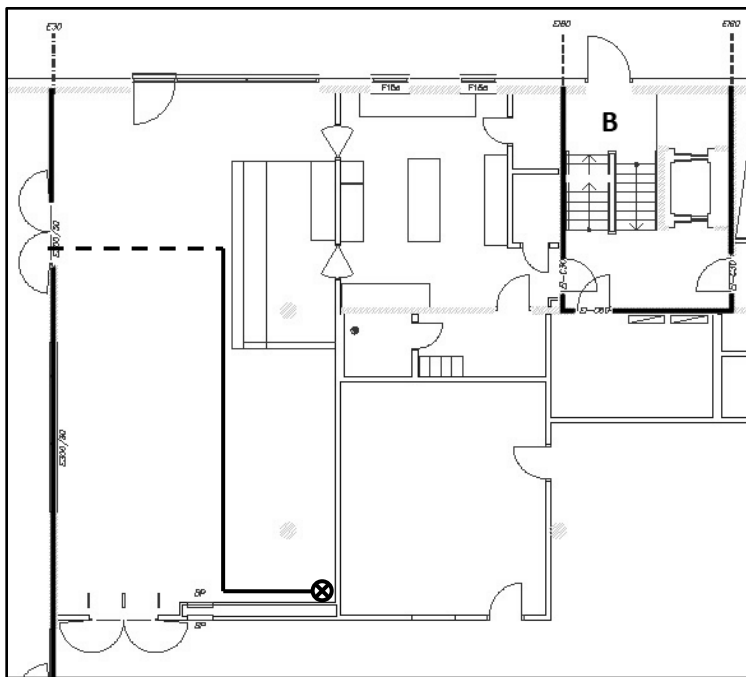
Figur A.3. Schematisk bild över dimensionerande gångavstånd, bibliotek plan två.



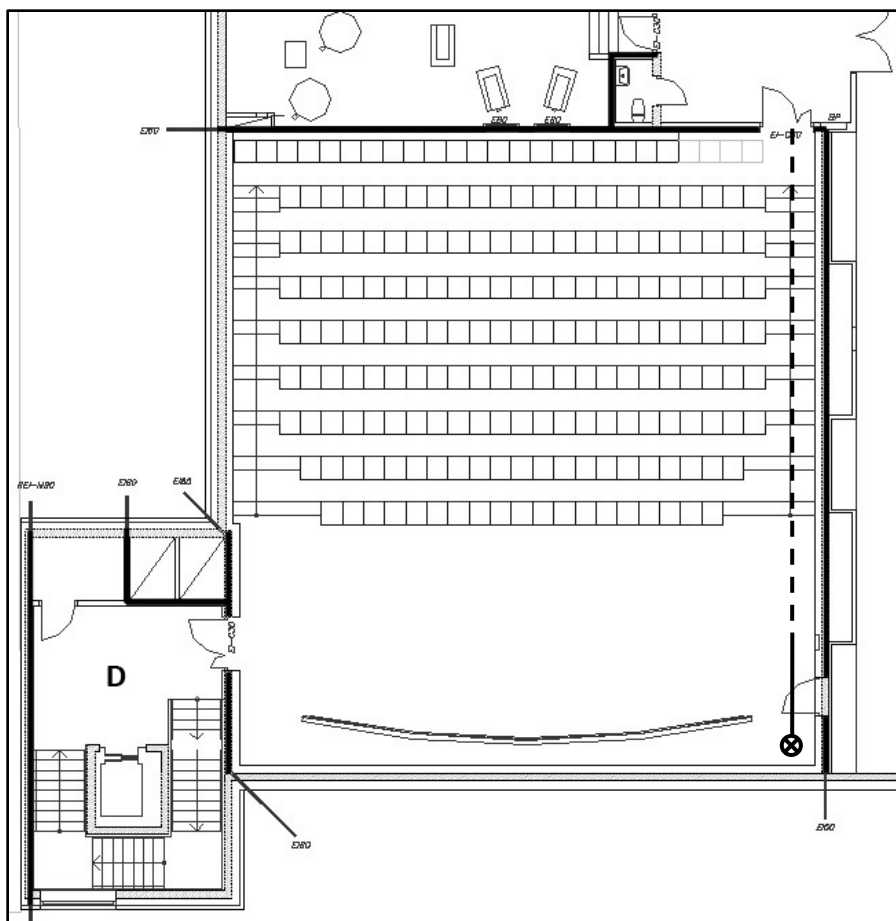
Figur A.4. Schematisk bild över dimensionerande gångavstånd, restaurangen.



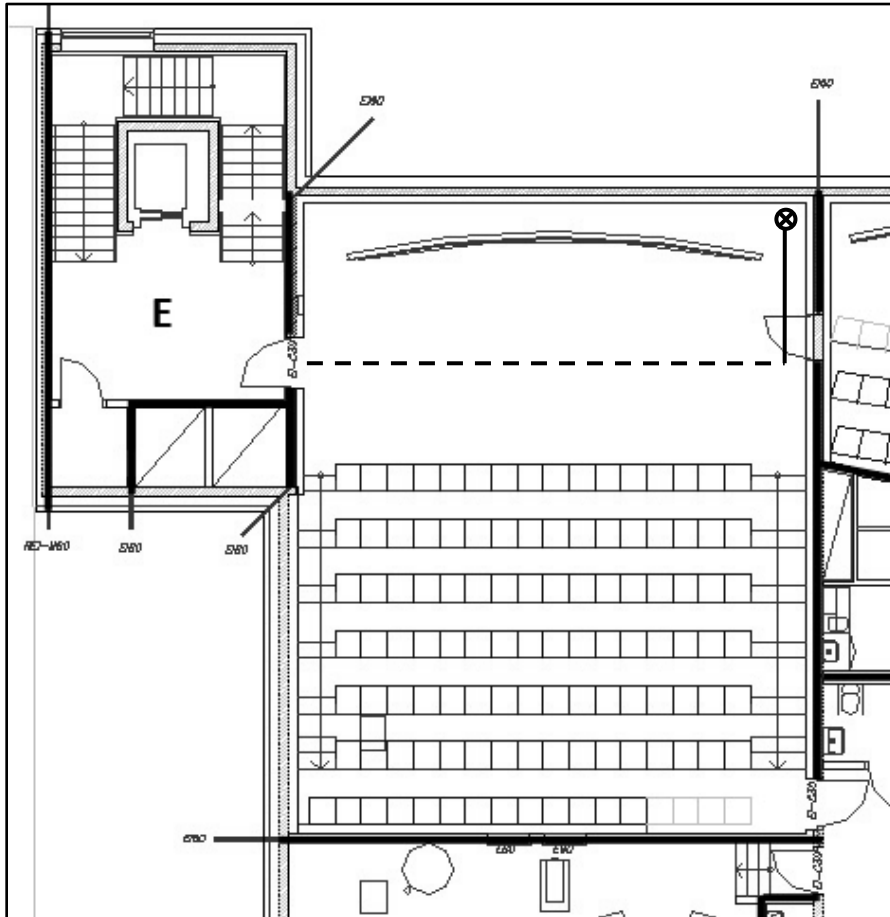
Figur A.5. Schematisk bild över dimensionerande gångavstånd, utställningshallen.



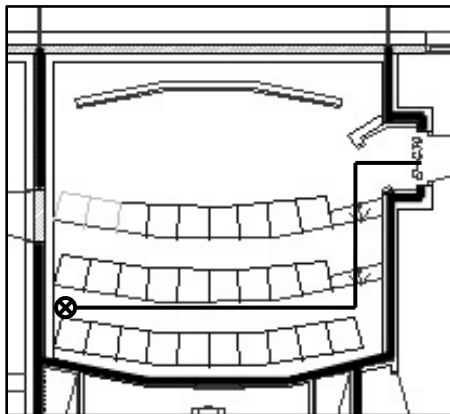
Figur A.6. Schematisk bild över dimensionerande gångavstånd, caféet.



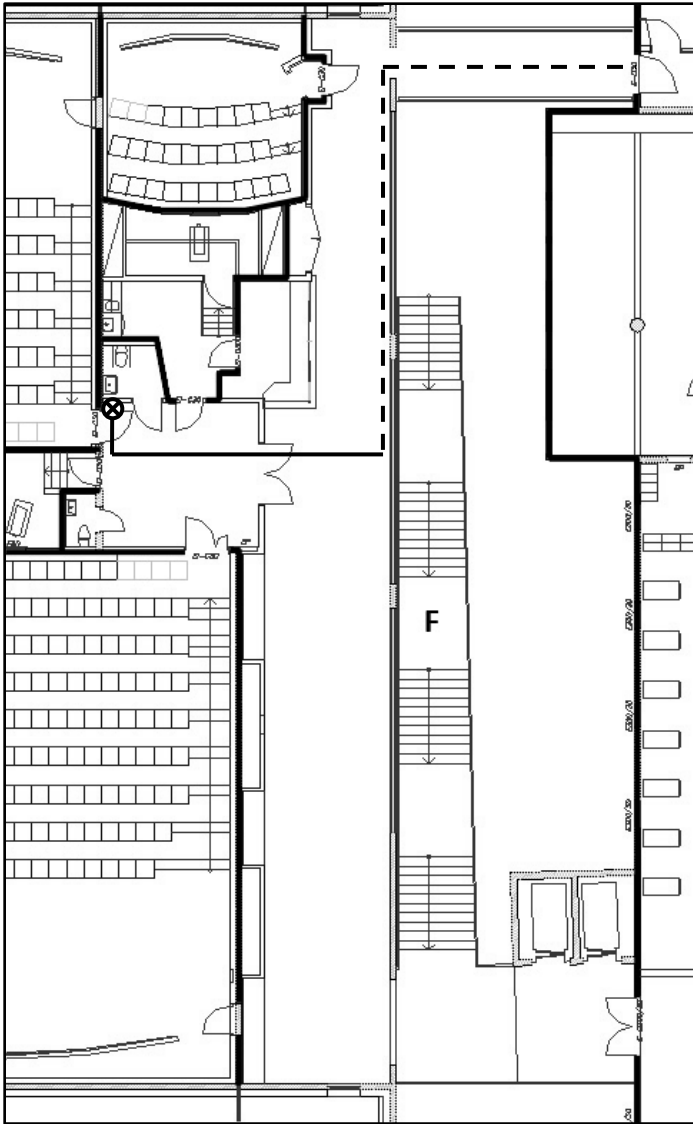
Figur A.7. Schematisk bild över dimensionerande gångavstånd, biografsalong ett.



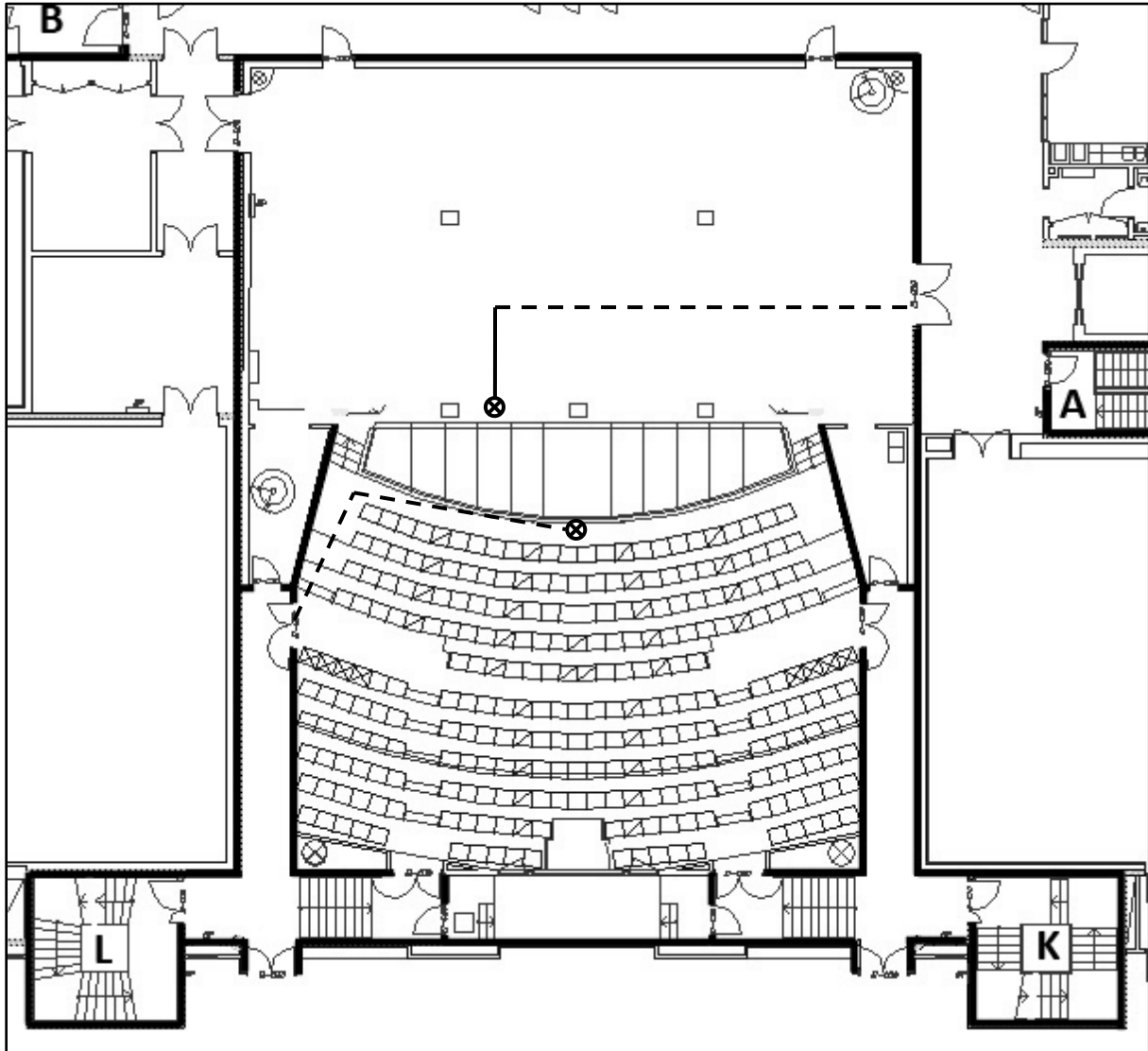
Figur A.8. Schematisk bild över dimensionerande gångavstånd, biografsalong två.



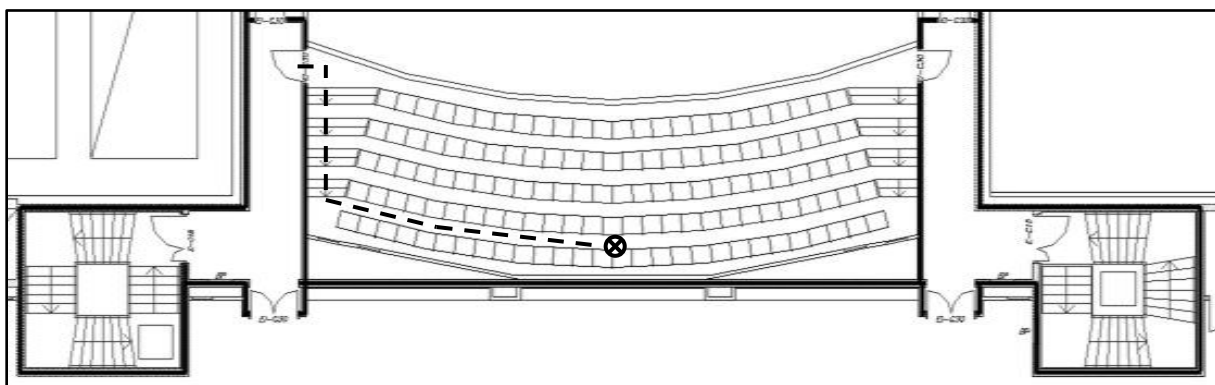
Figur A.9. Schematisk bild över dimensionerande gångavstånd, biografsalong tre.



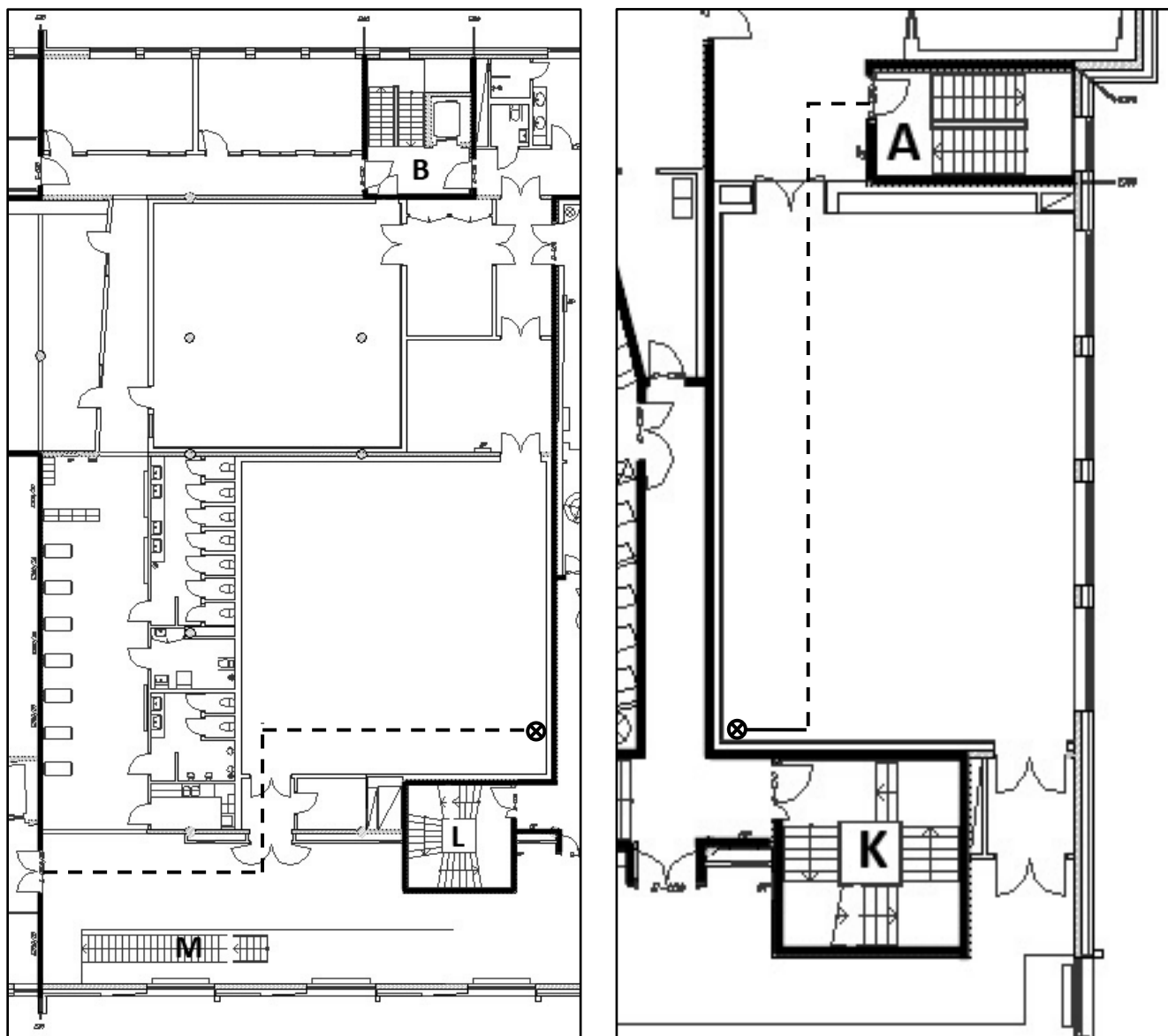
Figur A.10. Schematisk bild över dimensionerande gångavstånd, biograffoajé.



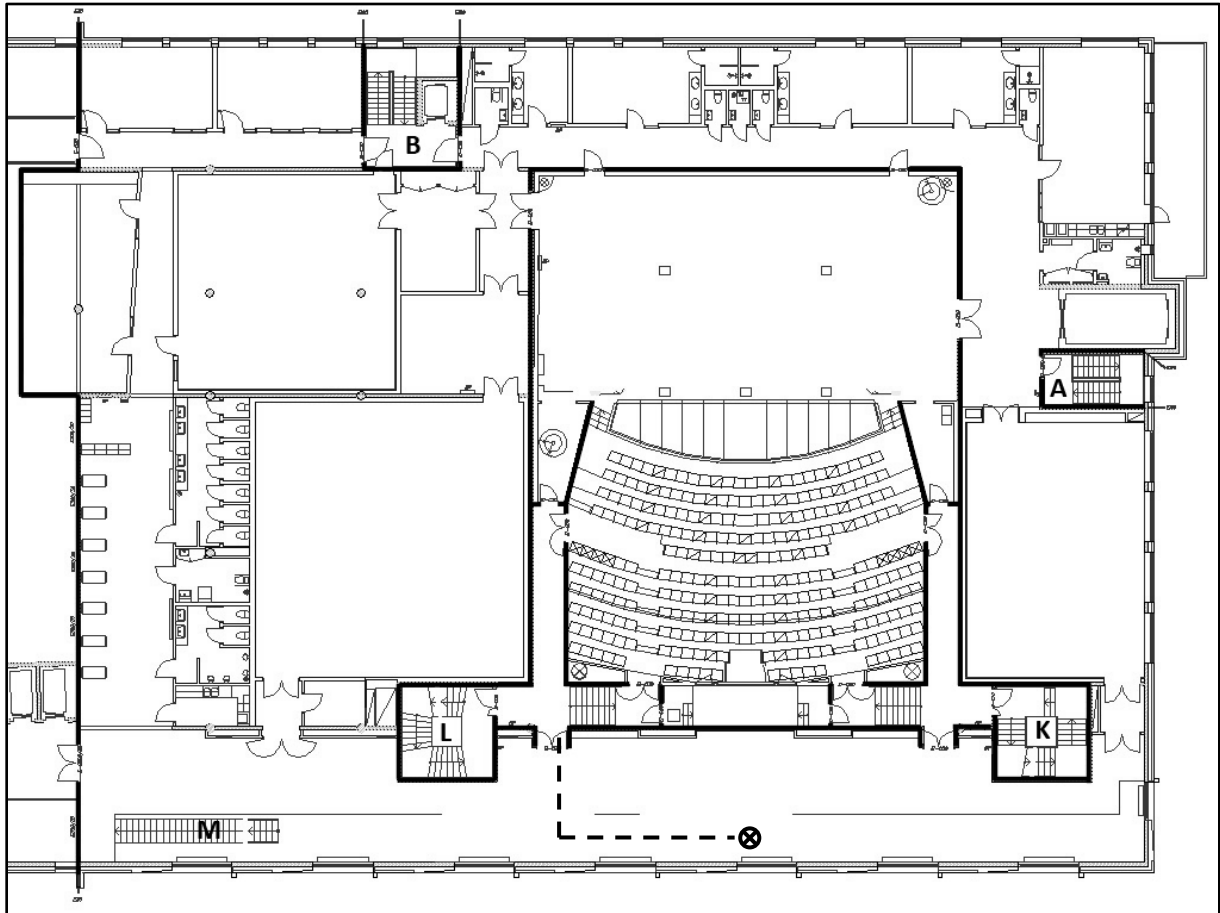
Figur A.11. Schematisk bild över dimensionerande gångavstånd, Röda salongen.



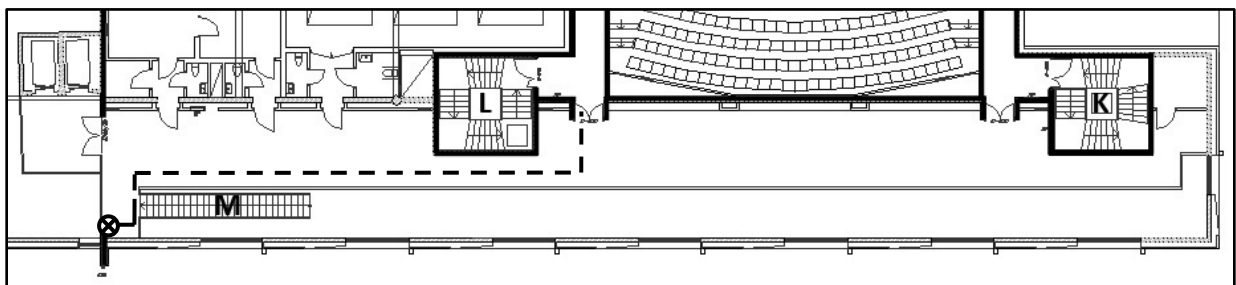
Figur A.12. Schematisk bild över dimensionerande gångavstånd, balkong Röda salongen.



Figur A.13. Schematisk bild över dimensionerande gångavstånd, blåa salongen och vita salongen.



Figur A.14. Schematisk bild över dimensionerande gångavstånd, teaterfoajén plan tre.



Figur A.15. Schematisk bild över dimensionerande gångavstånd, teaterfoajén plan fyra.

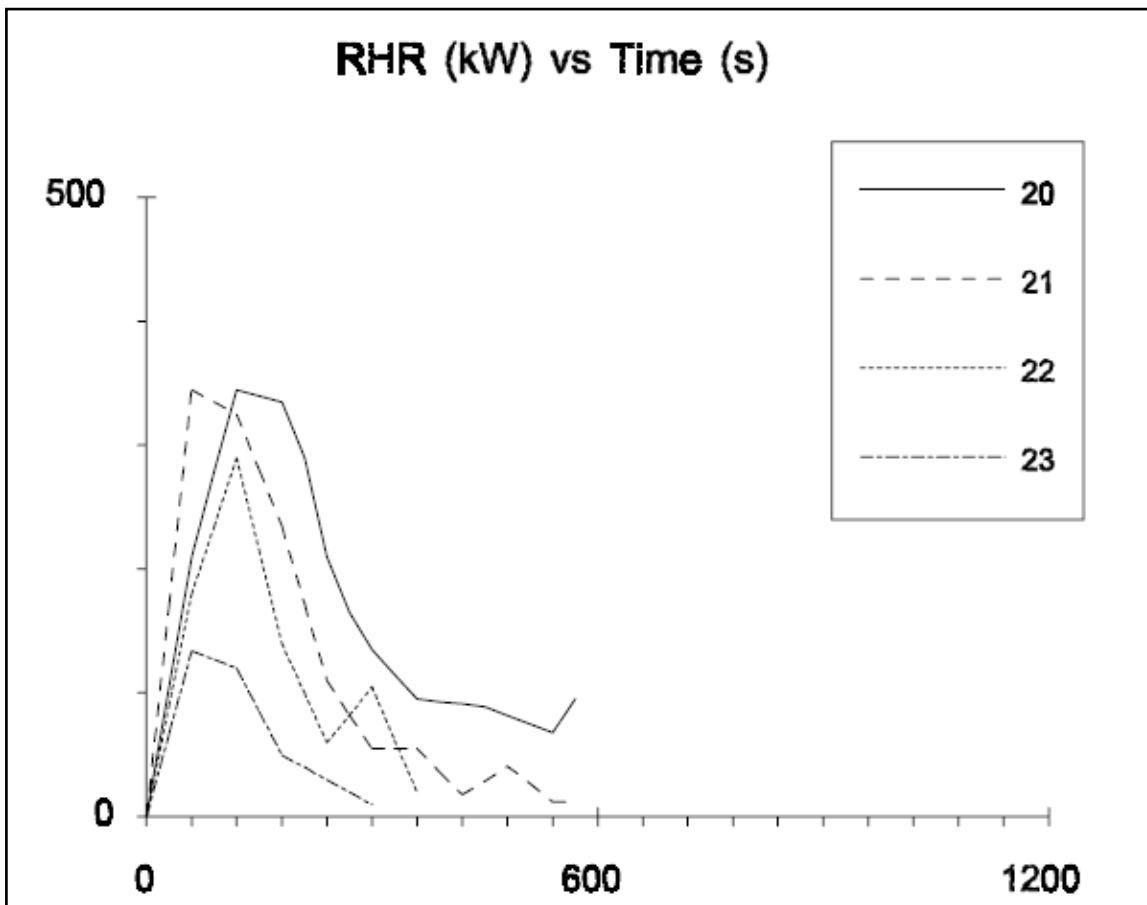
Bilaga B – Effektutvecklingskurvor

Bilagan visar resonemang och beräkningar vid framtagandet av effektutvecklingskurvorna i de olika scenarierna.

B.1 Scenario 1 - Brand i papperskorg

Brandförloppet i biografsalong 1 startar med en anlagd brand i en full papperskorg längs ena väggen i höjd med stolsrad tre.

För att få fram effektutvecklingskurvan för biografsalong 1 har effektutvecklingskurvor från Initial Fires (*Särdqvist 1993*) använts. Papperskorgen representeras av försök Y3.4/21 i Initial Fires (*Särdqvist 1993*) kurva 21 i Figur B.1.



Figur B.1. Effektkurva för försök Y3.3/21 (*Särdqvist 1993*).

Papperskorgen har en tillväxande och en avtagande fas av effekten. Effektutvecklingen har därför approximerats med αt^2 -kurvor, en för tillväxtfasen och en för avsvlningsfasen. Tillväxt- och avsvlningshastigheten beskrevs med en faktor α , som beräknades enligt sambandet:

$$\dot{Q}(t) = \alpha \cdot t^2 [kW] \quad \text{där}$$

$$\dot{Q}(t) = \text{effekten vid tiden } t [kW]$$

$$\alpha = \text{tillväxt-/avsvlningsfaktor [kW/s}^2]$$

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

Papperskorgen brinner enligt Figur under 540 sekunder. α -värdet för tillväxten hos papperskorgen är

$$\alpha_{\text{tillväxt},0 \rightarrow 60 \text{ s}} = \frac{\dot{Q}}{t^2} = \frac{340}{60^2} = 0,094 \text{ kW/s}^2$$

Papperskorgen brinner med konstant effekt under 60 sekunder. α -värdet för avsvälningen hos papperskorgen approximeras med den totala avsvälningen under 180 sekunder ner till 50 kW

$$\alpha_{\text{avsvälning},120 \rightarrow 300 \text{ s}} = \frac{\dot{Q}}{t^2} = \frac{(50 - 340)}{180^2} = -0,009 \text{ kW/s}^2$$

Avsvälningen från 50 kW till 0 kW antas vara linjär under 240 sekunder

$$\alpha_{\text{avsvälning},300 \rightarrow 540 \text{ s}} = \frac{0 - 50}{240} = -0,21 \text{ kW/s}$$

Flamspridning till omgivande objekt har inte beaktats eftersom avståndet till biografstolarna anses vara förhållandevis stort samt att de är flamskyddsbeklädda. Ovanför papperskorgen finns träliknande panel. Denna är gjord av cementblandat trä och anses inte kunna brinna.

För att kontrollera om branden blir ventilationskontrollerad görs beräkning på om det befintliga syret i biografsalongen är tillräckligt. Branden antas endast reagera med syret tills dess att 10 massprocent återstår.

$$m_{\text{syre}} = V_{\text{biograf}} \cdot \text{mass\% } O_2 \cdot \rho_{\text{luft}} = 1199 \text{ m}^3 \cdot (0,23 - 0,10) \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 = 187 \text{ kg}$$

När syre förbränns vid en brand är energin som frigörs cirka 13,1 MJ/kg_{syre} (Karlssohn & Quintiere 2000, s. 29). Den energi som kan frigöras i rummet blir då

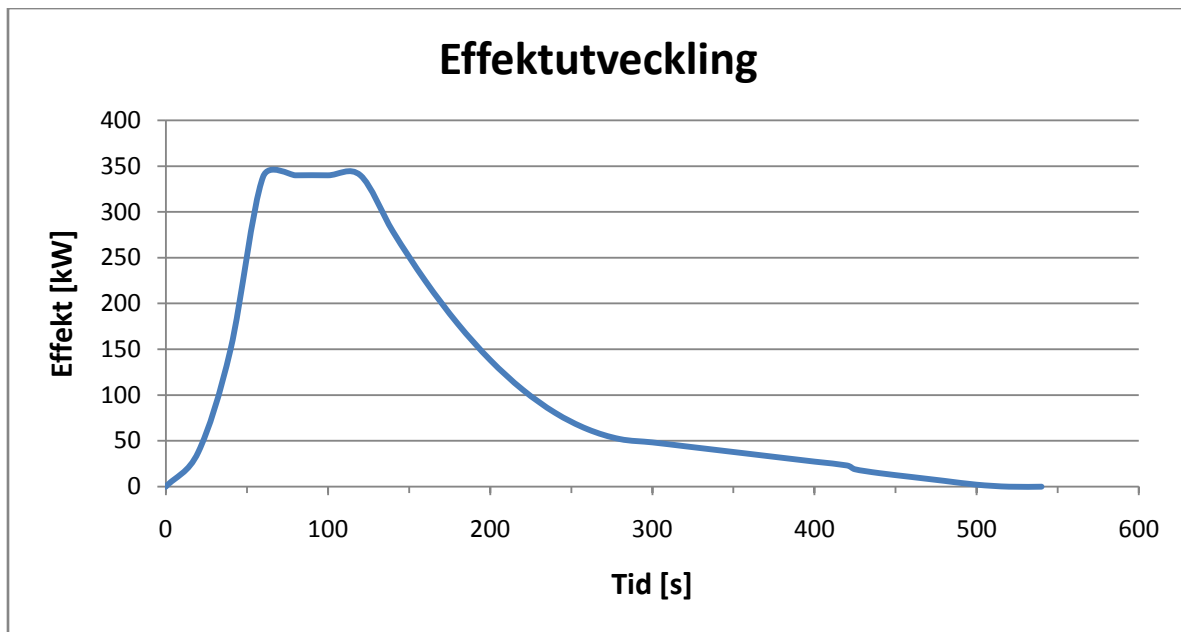
$$Q = 13,1 \text{ MJ/kg} \cdot 187 \text{ kg} = 2450 \text{ MJ}$$

Denna energimängd motsvarar en brand med konstant effektutveckling under 540 sekunder på

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = \frac{2450 \text{ MJ}}{540 \text{ s}} = 4,5 \text{ MW}$$

Branden kommer därmed att vara bränslekontrollerad.

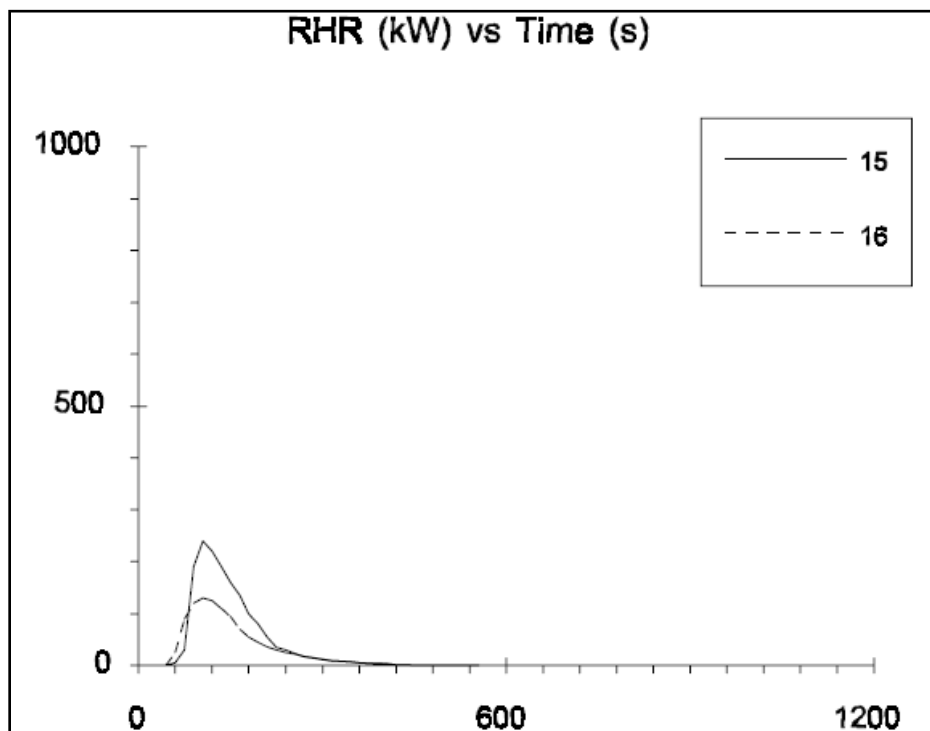
Effektutvecklingskurvan för scenario ett redovisas i Figur B.2.



Figur B.2. Effektutvecklingskurva för scenario ett.

B.2 Scenario 2 - Brand på scen

Tygridåns storlek har uppskattats till att bestå av två tyggardiner med måtten 8 x 8 m². Materialet har antagits vara bomull. Branden antas ske i ridån, i en av tyggardinerna. Tyggardinerna antas ha en liknande effektkurva som försök Y7/15 (*Särdqvist 1993*). Effektkurvan redovisas i Figur B.3, kurva nummer 15.



Figur B.3. Effektkurva för försök Y7/15 (*Särdqvist 1993*).

I försöket har två bomullsgardiner med måtten 1,24 x 2,42 m² använts, med en ytdensitet på 310 g/m² och total vikt på 1,87 kg. För att skala om effekten beräknades den totala vikten på ridån: $64 \text{ m}^2 \cdot 310 \text{ g/m}^2 = 19\,840 \text{ g}$.

Därefter beräknades en omskalningsfaktor: $\frac{19840 \text{ g}}{1870 \text{ g}} = 10,6$. Den totala maxeffekten uppgår efter omskalning till $250 \text{ kW} \cdot 10,6 \approx 2,7 \text{ MW}$. Tillväxthastigheten antas vara samma som i försöket och beräknades med en faktor α , enligt sambandet:

$$\dot{Q}(t) = \alpha \cdot t^2 [\text{kW}] \quad \text{där}$$

$\dot{Q}(t)$ = effekten vid tiden t [kW]

α = tillväxt-/avsvlningsfaktor [kW/s²]

t = tid [s]

I försök Y7/15 var maxeffekten 250 kW efter en brinntid på 60 sekunder. Detta gav ett $\alpha = \frac{250 \text{ kW}}{60^2 \text{ s}^2} \approx 0,0694 \text{ kW/s}^2$. Detta värde motsvarar en tillväxthastighet *fast* enligt Karlsson & Quintiere (2000, s. 41). Med detta α -värde uppnås maxeffekten 2,7 MW efter cirka 195 sekunder. I försök Y7/15 pågår brandförloppet under cirka 600 sekunder och brandförloppet antas pågå lika länge för ridån. Det ger därmed en avsvlningsfas som varar under 405 sekunder.

För att kontrollera om branden blir ventilationskontrollerad görs beräkning på om det befintliga syret i teatersalongen är tillräckligt. Branden antas endast reagera med syret tills det är 10 massprocent återstår.

$$m_{\text{syre}} = V_{\text{salong}} \cdot \text{mass \% } O_2 \cdot \rho_{\text{luft}} = 1689 \text{ m}^3 \cdot (0,23 - 0,10) \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 = 263,5 \text{ kg}$$

Som tidigare nämnts bildas 13,1 MJ då ett kilogram syre förbränns (Karlsson & Quintiere 2000, s. 29). Den energi som kan frigöras kan således beräknas.

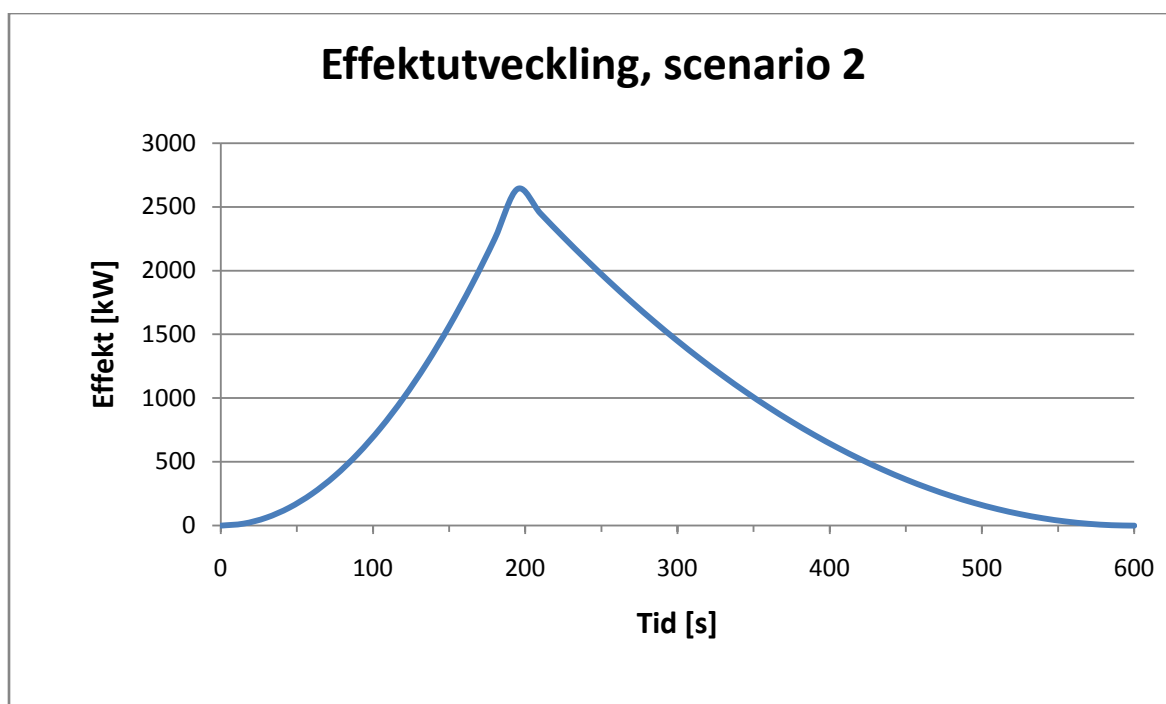
$$Q = 13,1 \text{ MJ/kg} \cdot 263,5 \text{ kg} = 3452 \text{ MJ}$$

Det ger i sin tur en effektutveckling under 600 sekunder på

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = \frac{3452 \text{ MJ}}{600 \text{ s}} = 5,75 \text{ MW}$$

Branden kommer därmed att bli bränslekontrollerad.

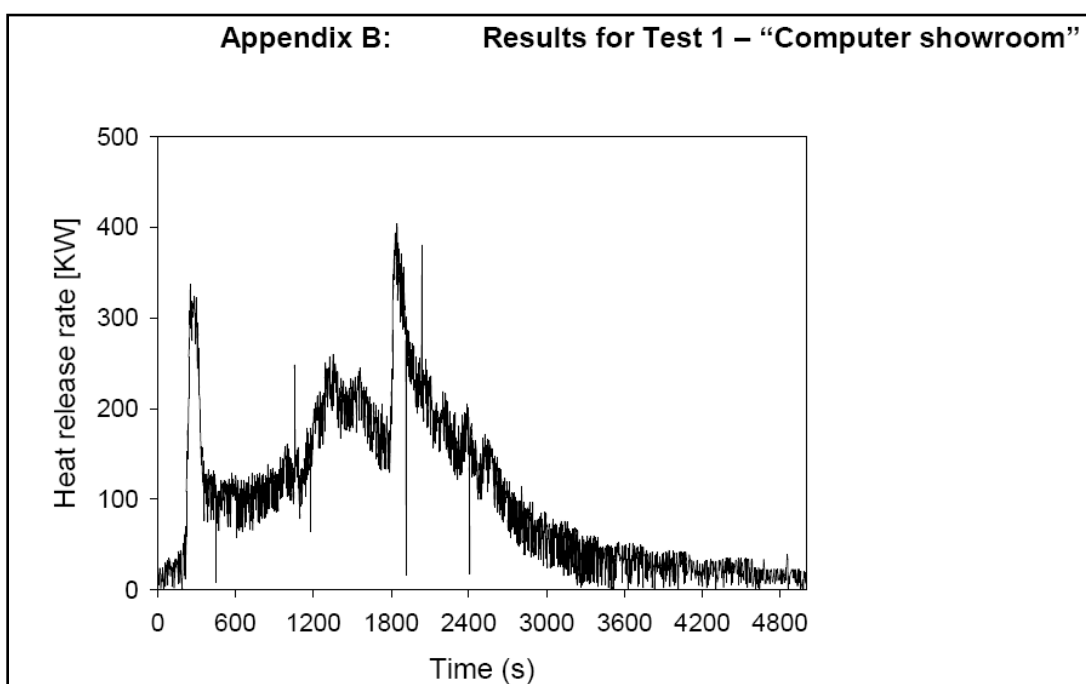
Effektutvecklingskurvan för scenario två redovisas i Figur B.4.



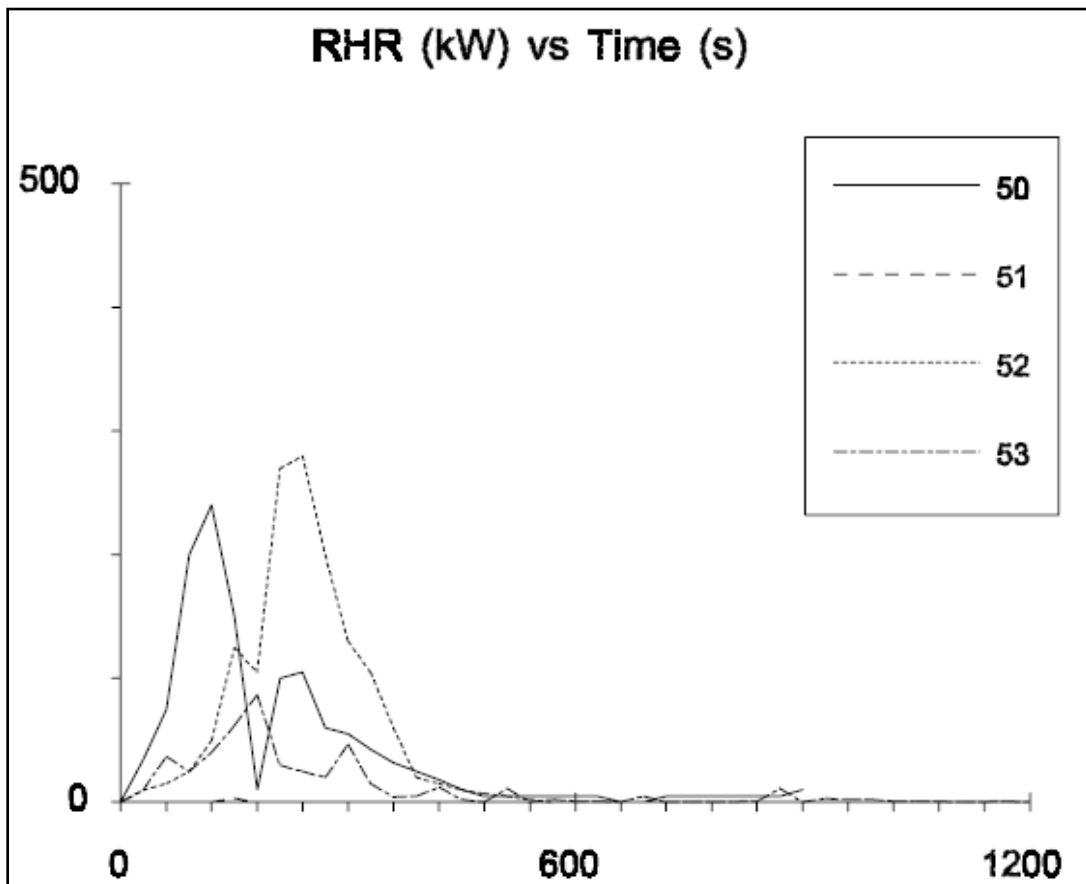
Figur B.4. Effektutveckling för scenario två.

B.3 Scenario 3 - Brand i mixerbord

Mixerbordet med underliggande träbord antas ha en liknande effektkurva som ”Computer showroom” av Bwalya (2005). I ”Computer showroom” har effektkurvan för en dator, en bildskärm och en skrivare på ett träbord mätts upp. Den uppmätta effektkurvan redovisas i Figur B.5. De angränsande teaterstolarna har likställts med försök Y5.2/52 (*Särdqvist 1993*), som redovisar uppmätt effekt för en stol med polyuretanskum och stålstomme. Effektutvecklingskurvan redovisas i Figur B.6, kurva nummer 52.



Figur B.5. Effektutveckling för ”Computer showroom” (*Bwalya 2005*).



Figur B.6. Effektkurva för försök Y5.2/52 (Särdqvist 1993).

Ur personsäkerhetssynpunkt är endast de första tio minuterna av brandförloppet intressanta, eftersom utrymning kan antas vara avklarad inom denna tid. För att få fram den totala effektutvecklingen hos det valda brandscenariot behövs de olika försöken adderas allteftersom brandspridning sker. För båda försöken sker en tillväxande fas och en avtagande fas av effekten under de första tio minuterna. Effektutvecklingen i försöken har därför approximerats med αt^2 -kurvor, en för tillväxtfasen och en för avsvagningsfasen. Tillväxt-/avsvagningshastigheten beskrevs med en faktor α , som beräknades enligt sambandet:

$$\dot{Q}(t) = \alpha \cdot t^2 \text{ [kW]} \quad \text{där}$$

$\dot{Q}(t)$ = effekten vid tiden t [kW]

α = tillväxt-/avsvagningsfaktor [kW/s²]

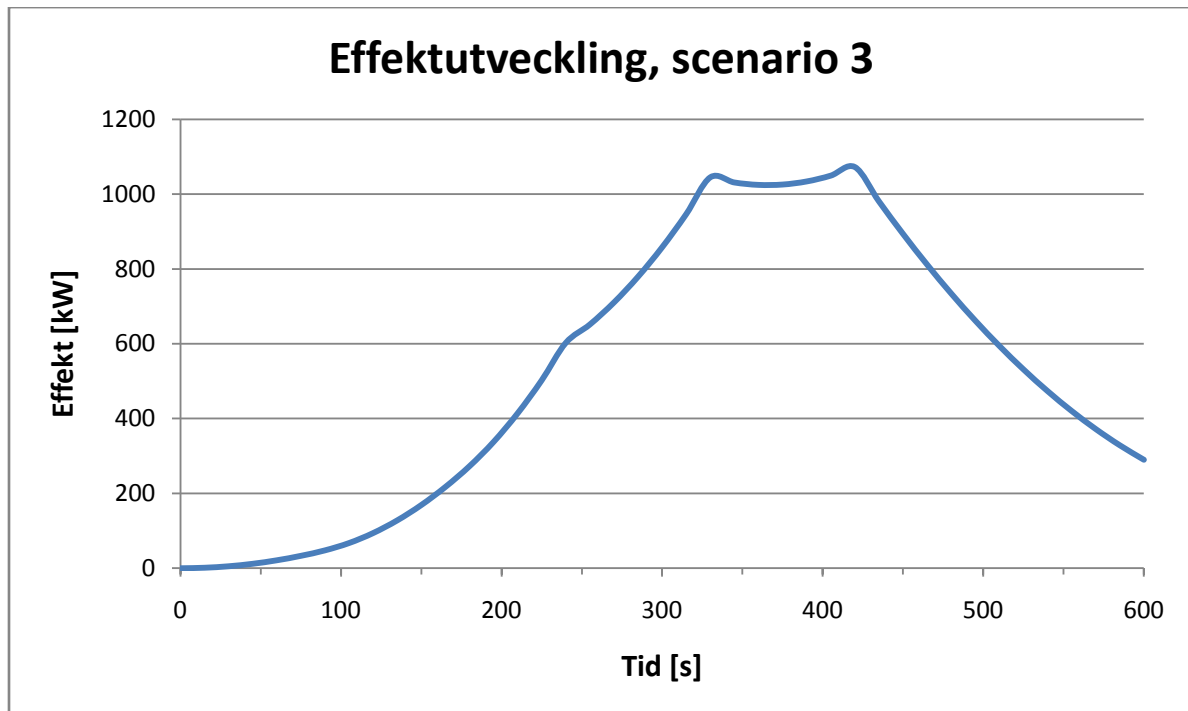
t = tid [s]

För ”Computer showroom” angavs den första toppeffekten efter 4 minuter till 341 kW och effekten vid 10 minuter avlästes till cirka 110 kW. För försök Y5.2/52 avlästes en första topp-effekt vid 240 sekunder till cirka 290 kW och en effekt vid 10 minuter till cirka 0 kW.

Branden antas starta i mixerbordet för att efter 90 sekunder antända en teaterstol på vardera sidan. I försök Y5.2/52 har en brännare på 50 kW använts som antändningskälla och därför antas att brandspridning sker till teaterstolarna då mixerbordet har nått denna effekt. När teaterstolarna har nått en effekt på 50 kW antas att brandspridning sker till ytterligare två teaterstolar.

Antändning av ytterligare teaterstolar tas inte med i framtagandet av effektutvecklingskurvan då antändning av dessa antas ske då utrymningen är avklarad.

Effektutvecklingskurvan för scenario tre visas i Figur B.7.



Figur B.7. Effektutveckling för scenario tre.

Bilaga C – Beräkningar med DetactT2 och DetactQS

För att beräkna aktiveringstider för rökdetektorer och sprinkler har programmen DetactT2 och DetactQS använts. I programmen används diverse indata såsom avståndet mellan detektorer/sprinkler, RTI (Response Time Index) för detektorer/sprinkler samt en aktiveringstemperatur. För beskrivning av programmen och deras begränsningar, se avsnitt 5.5.

C.1 Scenario 1 – Brand i papperskorg

För att beräkna aktiveringstiden för rökdetektorerna användes programmen DetactT2 och DetactQS. Anledningen att aktiveringstiden även beräknades med DetactQS var att tiden för aktivering av rökdetektorerna i DetactT2 inträffade då brandens effektutveckling avtog. Eftersom DetactT2 förutsätter en brand som bara växer, kontrollerades även resultatet med DetactQS. I DetactQS finns nämligen möjlighet att ange brandens effekt vid olika tidpunkter.

Som indata i programmen krävs bland annat avståndet mellan rökdetektorerna, vilket uppskattades till 5 meter. I DetactQS behövs det längsta radiella avståndet mellan branden och sprinklerna och beräknades till $\sqrt{2,5^2 + 2,5^2} \approx 3,5$. Aktiveringstemperatur och RTI-värde valdes till 33°C respektive $0,5 \text{ (ms)}^{1/2}$ (*Brandskyddsbandboken 2005*, s. 263). Höjden till rökdetektorerna från branden, uppmättes till 5 meter. I DetactT2 krävdes en brandtillväxthastighet, $\alpha = 0,094 \text{ kW/s}^2$ (se Bilaga B). I DetactQS plottades effekten med 20 sekunders intervall. En sammanställning av indata följer i Tabell C.1 och Tabell C.2 nedan. Som synes i tabellerna, skiljer sig aktiveringstiderna för rökdetektorerna beroende på vilket program som använts. Detta kan bland annat bero på skillnader mellan programmens beräkningar av transporttider för brandgaserna (avsnitt 5.5). Tiderna ger ett ungefärligt intervall när sprinklerna kan tänkas aktivera.

Tabell C.1. Indata för beräkningar av rökdetektoraktivering i DetactT2, scenario ett.

<i>Indata</i>	<i>Värde</i>
<i>Begynnelsestemperatur</i>	20 °C
<i>RTI</i>	$0,5 \text{ (ms)}^{1/2}$
<i>Aktiveringstemperatur</i>	33 °C
<i>Höjd</i>	5,0 meter
<i>Anstånd</i>	5 meter
<i>Brandtillväxt</i>	$0,094 \text{ kW/s}^2$
<i>Aktiveringstid</i>	72 s
<i>Effekt vid aktivering</i>	472 kW

Tabell C.2. Indata för beräkningar av sprinkleraktivering i DetactQS, scenario ett.

<i>Indata DetactQS</i>	<i>Värde</i>
<i>Begynnelsestemperatur</i>	20 °C
<i>RTI</i>	$0,5 \text{ (ms)}^{1/2}$
<i>Aktiveringstemperatur</i>	33 °C
<i>Höjd</i>	5 meter
<i>Radiellt avstånd</i>	3,5 meter
<i>Aktiveringstid</i>	41 s
<i>Effekt vid aktivering</i>	152 kW

C.2 Scenario 2 – Brand på scenen

Teaterscenen är försedd med både rökdetektorer och sprinkler. För att beräkna aktiveringstiden på dessa användes programmen DetactT2 och DetactQS.

DetactT2 användes för att beräkna aktiveringstiden för rökdetektorerna. Avståndet mellan detektorerna på scenen uppskattades till 10 meter. Aktiveringstemperatur och RTI-värde valdes som innan till 33°C respektive $0,5 \text{ (ms)}^{1/2}$ (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 263). Höjden till detektorn från branden uppmättes till 9,5 meter, då branden förutsattes vara på 1 meters höjd. Brandtillväxten var $\alpha = 0,0694 \text{ kW/s}^2$ (se Bilaga B). En sammanställning av indata följer i Tabell C.3 nedan.

Tabell C.3. Indata för beräkningar av rökdetektoraktivering i DetactT2, scenario två.

<i>Indata</i>	<i>Värde</i>
<i>Begynnelsetemperatur</i>	20 °C
<i>RTI</i>	$0,5 \text{ (ms)}^{1/2}$
<i>Aktiveringstemperatur</i>	33 °C
<i>Höjd</i>	9,5 meter
<i>Avstånd</i>	10 meter
<i>Brandtillväxt</i>	$0,0694 \text{ kW/s}^2$
<i>Aktiveringstid</i>	155 s
<i>Effekt vid aktivering</i>	1674 kW

För att beräkna aktiveringstiden för sprinkler användes programmen DetactT2 och DetactQS. Anledningen att aktiveringstiden även beräknades med DetactQS var att tiden för aktiveringen av sprinklerna i DetactT2 inträffade då brandens effektutveckling avtog. Eftersom DetactT2 förutsätter en brand som bara växer, kontrollerades även resultatet med DetactQS. I DetactQS finns nämligen möjlighet att ange brandens effekt vid olika tidpunkter.

Som indata i programmen krävs bland annat avståndet mellan sprinklerna, vilket uppskattades till 4 meter. I DetactQS behövs det längsta radiella avståndet mellan branden och sprinklerna och beräknades till $\sqrt{2^2 + 2^2} \approx 2,82$. RTI, Respons Time Index, för sprinklerna var $50 \text{ (ms)}^{1/2}$ och aktiveringstemperaturen var 68°C (*Brandskyddsdocumentation*, 2001-06-05). Höjden till sprinklern från branden, uppskattades till 9,5 meter I DetactT2 krävdes en brandtillväxthastighet $\alpha = 0,0694 \text{ kW/s}^2$ (se Bilaga B). I DetactQS plottades effekten med 15 sekunders intervall. En sammanställning av indata följer i Tabell C.4 och Tabell C.5 nedan. Som synes i tabellerna, skiljer sig aktiveringstiderna för sprinklerna beroende på vilket program som använts. Detta kan bland annat bero på skillnader mellan programmens beräkningar av transporttider för brandgaserna (avsnitt 5.5). Tiderna ger ett ungefärligt intervall när sprinklerna kan tänkas aktivera.

Tabell C.4. Indata för beräkningar av sprinkleraktivering i DetactT2, scenario två.

<i>Indata DetactT2</i>	<i>Värde</i>
<i>Begynnelsestemperatur</i>	20 °C
<i>RTI</i>	50 (ms) ^{1/2}
<i>Aktiveringstemperatur</i>	68 °C
<i>Höjd</i>	9,5 meter
<i>Avstånd</i>	4 meter
<i>Brandtillväxt</i>	0,0694 kW/s ²
<i>Aktiveringstid</i>	225 s
<i>Effekt vid aktivering</i>	3507 kW

Tabell C.5. Indata för beräkningar av sprinkleraktivering i DetactQS, scenario två.

<i>Indata DetactQS</i>	<i>Värde</i>
<i>Begynnelsestemperatur</i>	20 °C
<i>RTI</i>	50 (ms) ^{1/2}
<i>Aktiveringstemperatur</i>	68 °C
<i>Höjd</i>	9,5 meter
<i>Radiellt avstånd</i>	2,82 meter
<i>Aktiveringstid</i>	211 s
<i>Effekt vid aktivering</i>	2436 kW

C.3 Scenario 3 – Brand i mixerbord

Teatersalongen övervakas av rökdetektorer. DetactT2 användes för att beräkna aktiveringstiden för rökdetektorerna. Avståndet mellan detektorerna i teatersalongen uppskattades till 10 meter. Aktiveringstemperatur och RTI-värde valdes som innan till 33°C respektive 0,5 (ms)^{1/2} (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 263). Höjden till detektorn från branden uppmättes till 1,6 meter, då branden förutsattes vara på en meters höjd och detektorer fanns placerade i taket under balkongen. Brandtillväxten under de första 240 sekunderna enligt den beräknade brandeffekt-kurvan (se Bilaga B) var $\frac{600 \text{ kW}}{240^2 \text{ s}^2} \approx 0,01042 \text{ kW/s}^2$. En sammanställning av indata följer i Tabell C.6 nedan.

Tabell C.6. Indata för beräkningar av rökdetektoraktivering i DetactT2, scenario tre.

<i>Indata</i>	<i>Värde</i>
<i>Begynnelsestemperatur</i>	20 °C
<i>RTI</i>	0,5 (ms) ^{1/2}
<i>Aktiveringstemperatur</i>	33 °C
<i>Höjd</i>	1,6 meter
<i>Avstånd</i>	10 meter
<i>Brandtillväxt</i>	0,01042 kW/s ²
<i>Aktiveringstid</i>	166 s
<i>Effekt vid aktivering</i>	286 kW

Bilaga D – CFast simuleringar

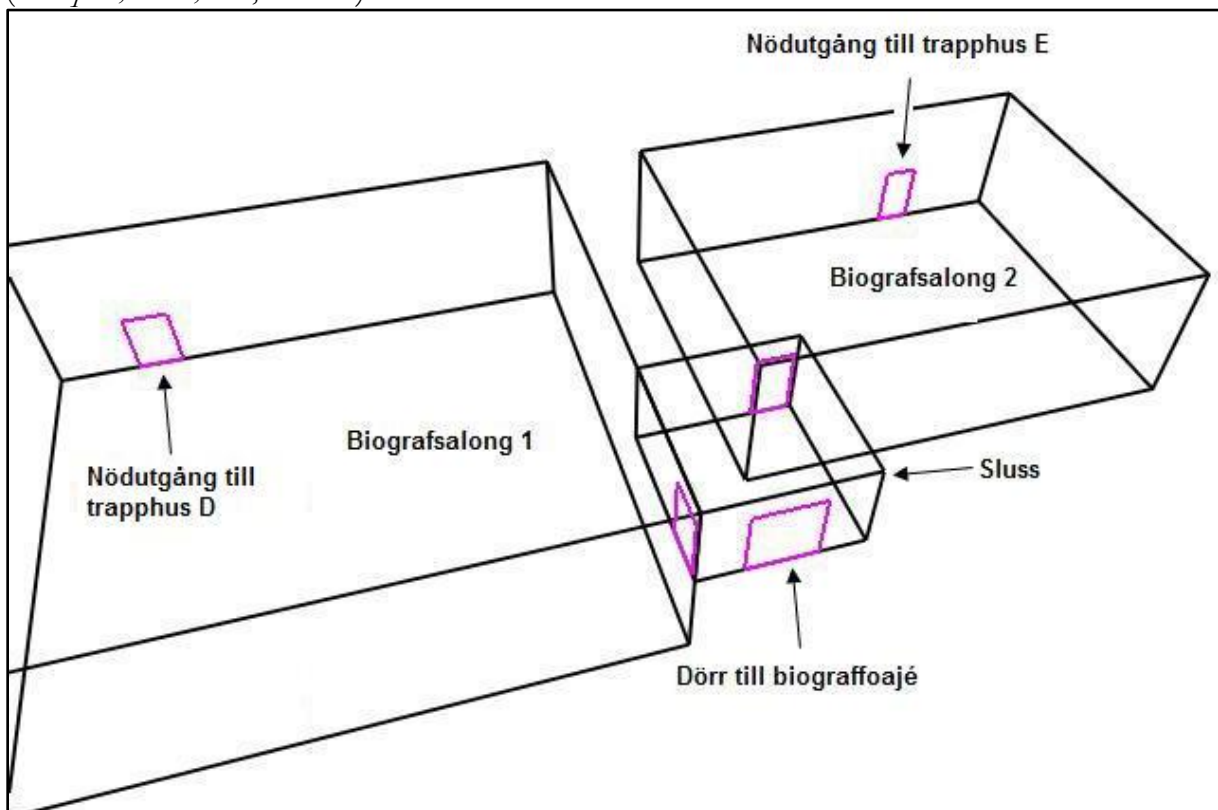
Bilagan beskriver försöksuppställning för simuleringar av de olika scenarierna i datorprogrammet CFast.

D.1 Scenario 1 – Brand i papperskorg

Biografsalong 1 och 2 ritades upp i CFast med öppningar ut till trapphus D och E samt till biograffoajén via en sluss enligt Figur D.1. Väggmaterialet och takmaterialet antogs vara gips i både biografsalongerna och i slussen. Golvet antogs vara belagt med heltäckningsmatta. Dörren ut till slussen och till nödutgången från biografsalong 1 antogs öppna efter 60 sekunder då de första personerna nådde dörrarna. Dörren ut till foajén antogs öppna efter 65 sekunder efter brandens start.

Dörrarna i biografsalong 2 till slussen samt till nödutgången antogs öppna efter 120 sekunder. Alla dörrar antogs vara öppna under hela brandförloppet efter att de öppnats. Branden placerades 0,5 meter upp från golvet och sju meter från filmduken. Detta för att simulera att branden startar i en papperskorg vid stolsrad tre.

Den framtagna effektutvecklingskurvan fördes in i CFast. För att föra in vilken sotproduktion som branden utvecklade valdes värden på trä (wood, pine) enligt $H/C = 0,14$ $C/CO_2 = 0,012$ (Hultquist, 2000, s. 6, tabell 1).



Figur D.1. Schematisk bild över biografsalongerna.

D.1.1 Kritisk höjd – Scenario 1

Enligt tidigare kan den kritiska höjden tecknas som $1,6 + 0,1 \cdot H$, där H är rummets höjd i meter. Eftersom det i vissa utrymmen finns höjdskillnader har höjden H valts efter var utgångarna är positionerade. Det betyder att H således är takhöjden där utgången är placerad. Kritisk höjd redovisas i Tabell D.1

Tabell D.1. Beräknad kritisk höjd.

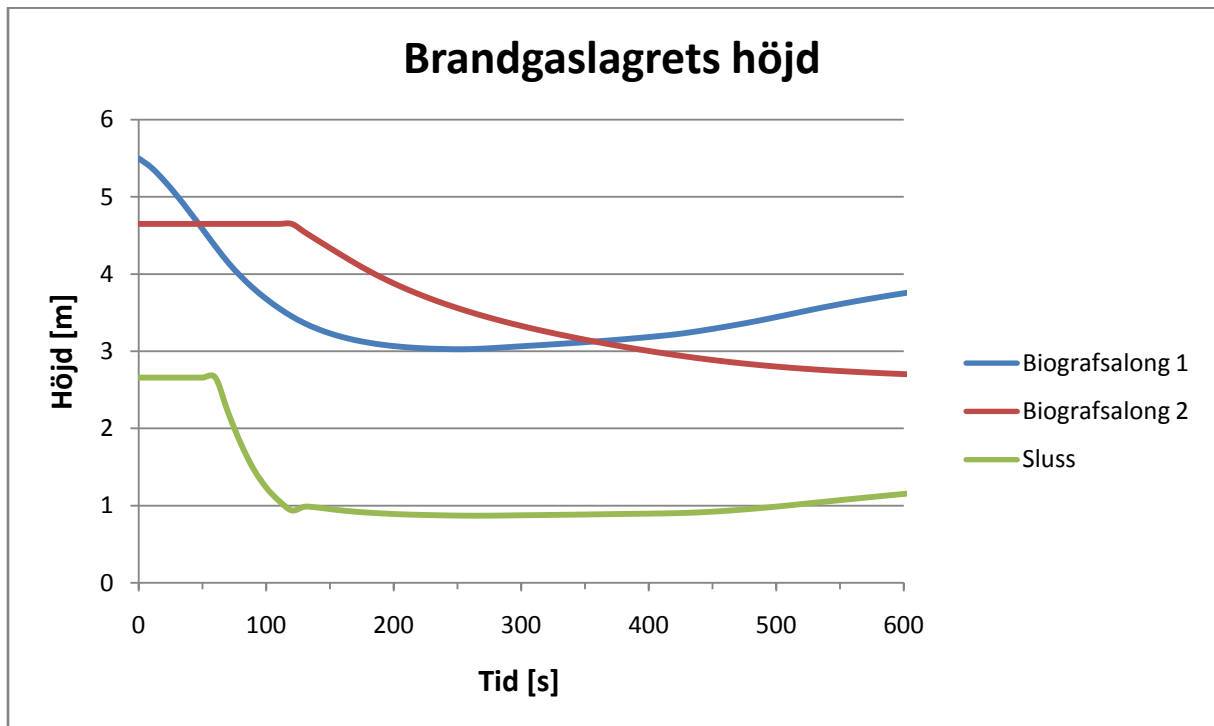
Utrymme	H , takhöjd [m]	$1,6 + 0,1 \cdot H$ [m]	Höjddifferens [m]	Kritisk höjd [m]
Biografsalong 1, vid utgång	2,9	1,89	2,6	4,5
Biografsalong 1, total takhöjd	5,5	2,15	-	2,15
Biografsalong 2, vid utgång	2,7	1,87	1,95	3,9
Biografsalong 2, total takhöjd	4,65	2,10	-	2,10
Sluss	2,66	1,87	-	1,87

Den höjd som krävs upp till brandgaserna, för att en person ska anses vistas i dem, antas till 1,80 meter. Tiden till denna höjd från respektive rad och tiden till den kritiska höjden från varje rad i biografsalong 1 redovisas i tabellen nedan. Den kritiska höjden har beräknats enligt ovan, tiderna till att personerna lämnar rad x har hämtats från simuleringar av utrymning i Bilaga E och tid till kritisk höjd har hämtats från simuleringar i CFast.

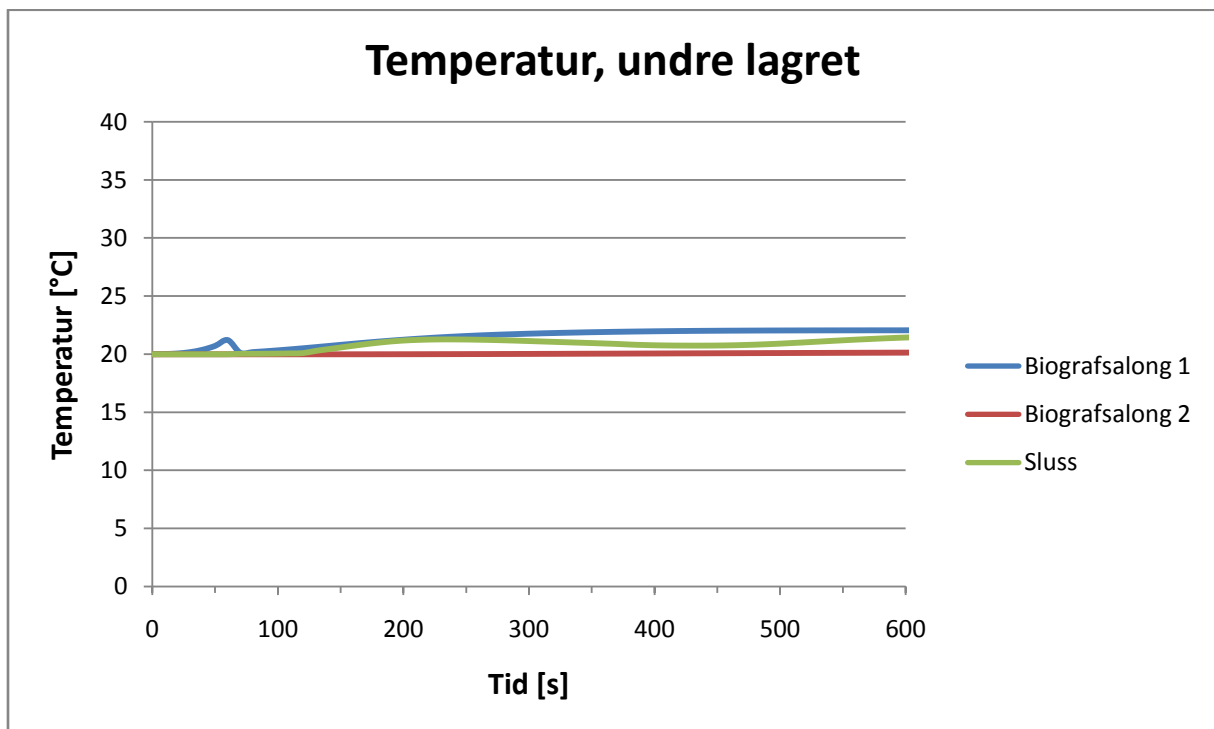
Tabell D.2. Tid till när sista person lämnar en viss rad samt tid till kritisk höjd och tid när person anses vistas i brandgaserna vid raden.

Rad	Tid till sista person lämnar rad [s]	Kritisk höjd [m]	Tid till kritisk höjd [s]	Tid till vistelse i brandgaserna [s]
9	162	1,89	50	60
8	157	1,93	70	80
7	154	1,97	75	110
6	152	2,00	115	140
5	149	2,04	170	-
4	143	2,07	-	-
3	135	2,10	-	-
2	138	2,13	-	-
1	143	2,15	-	-
Ute	163	2,15	-	-

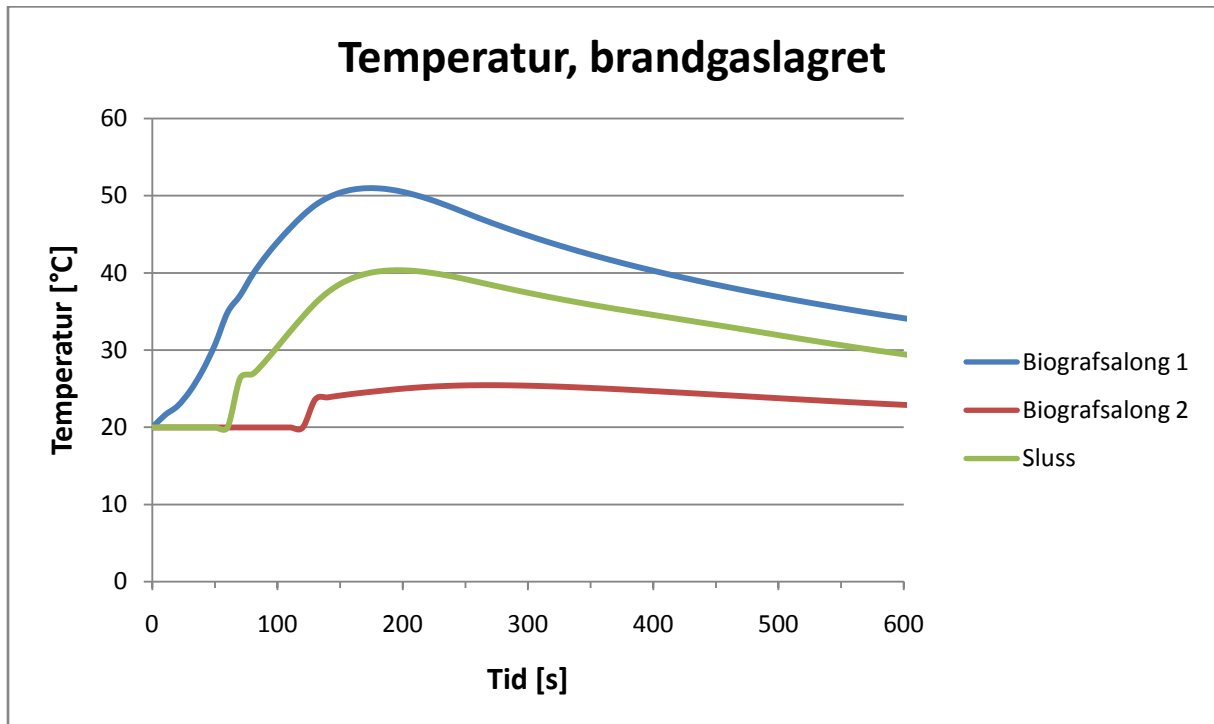
D.1.2 Diagram baserad på data från simulering i CFast – Scenario 1



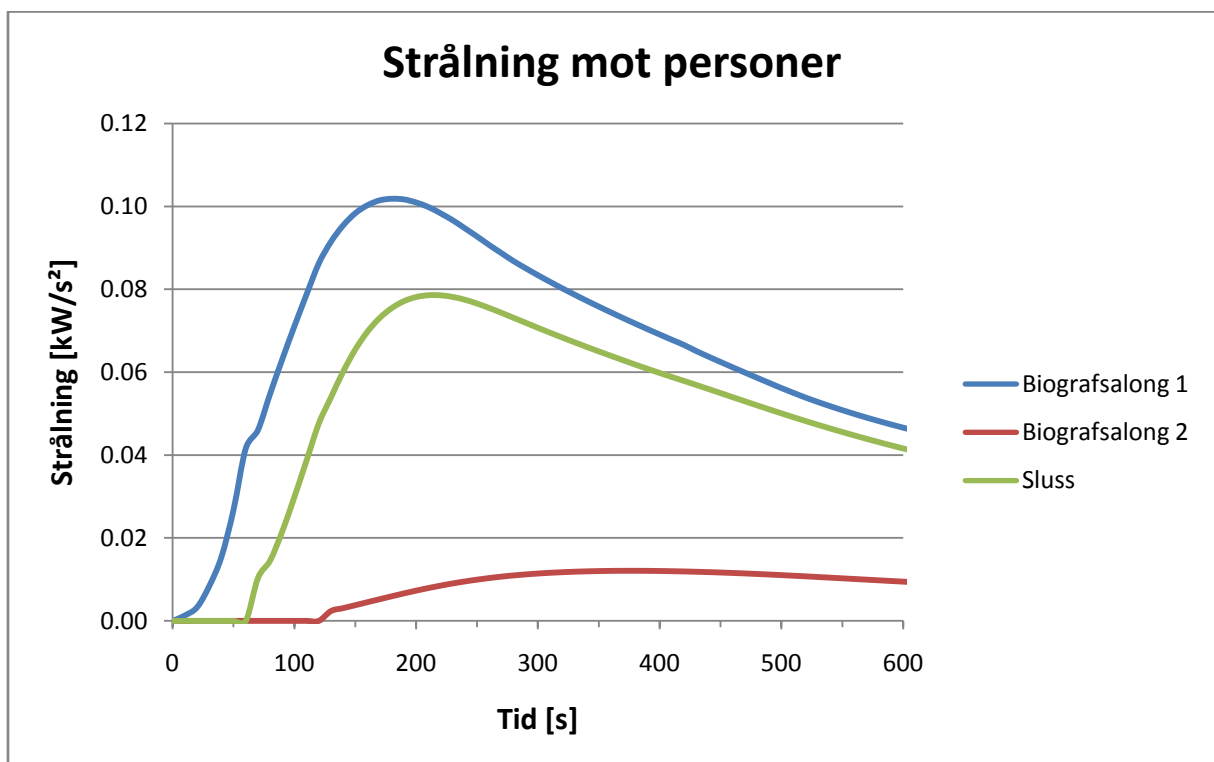
Figur D.2. Brandgaslagrets höjd, scenario ett.



Figur D.3. Temperatur i undre lagret, scenario ett.



Figur D.4. Temperatur i brandgaslagret, scenario ett.



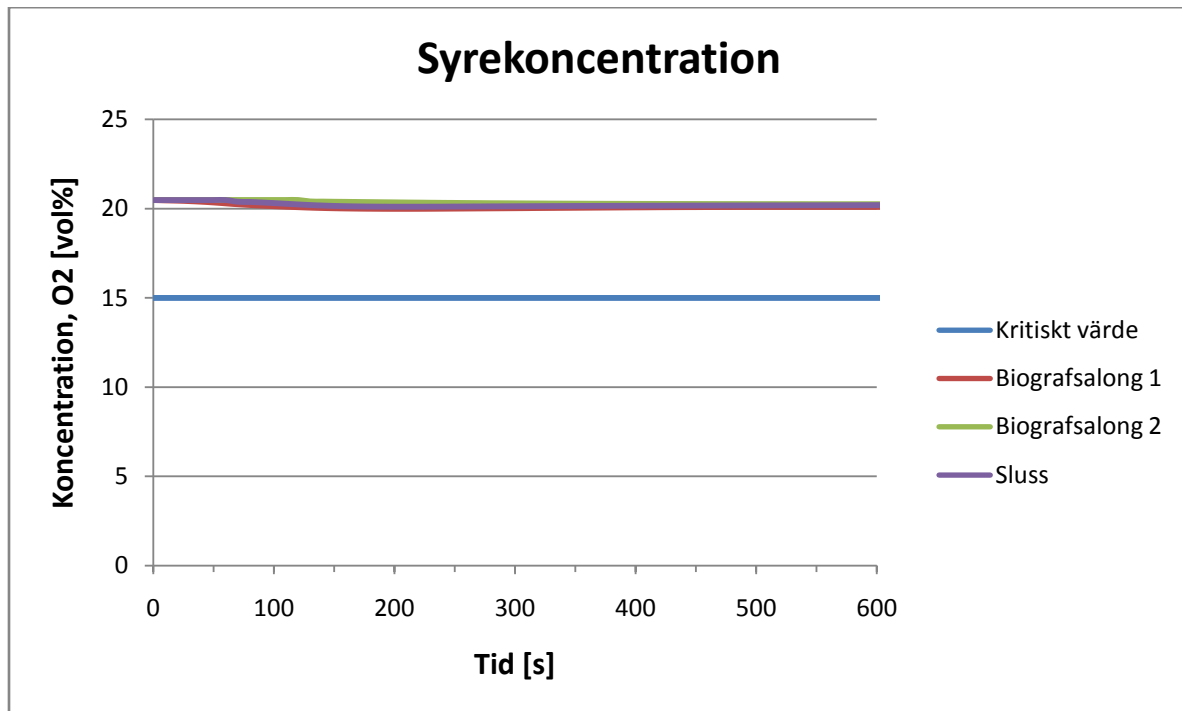
Figur D.5. Strålning mot personer, scenario ett.

Kritiska värden för toxicitet, temperatur och sikt redovisas i Tabell D.3 (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 201). Värdena visar när säker utrymning *inte* kan genomföras.

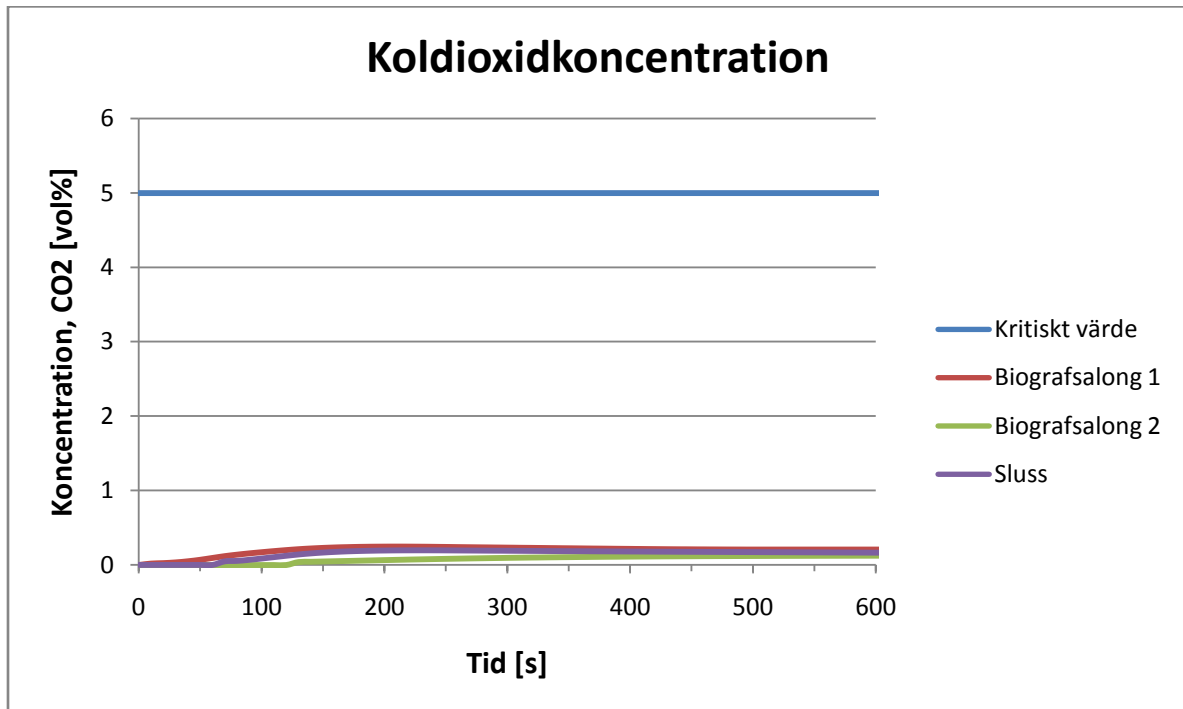
Tabell D.3. Kritiska värden för O₂, CO₂, CO samt sikt.

O ₂ [%]	CO ₂ [%]	CO [ppm]	Temperatur [°C]	Sikt [obscura]
< 15	> 5	> 2000	> 80	> 1

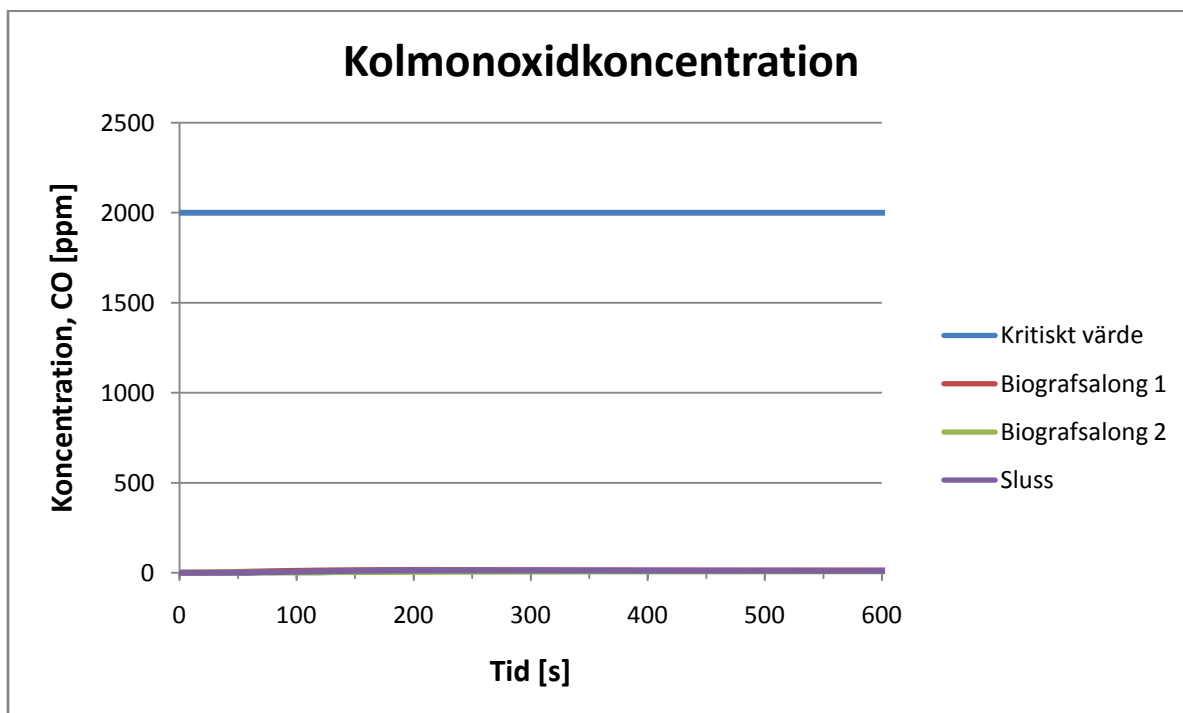
Uppmätta värden av toxicitet, temperatur och sikt redovisas i diagrammen nedan.



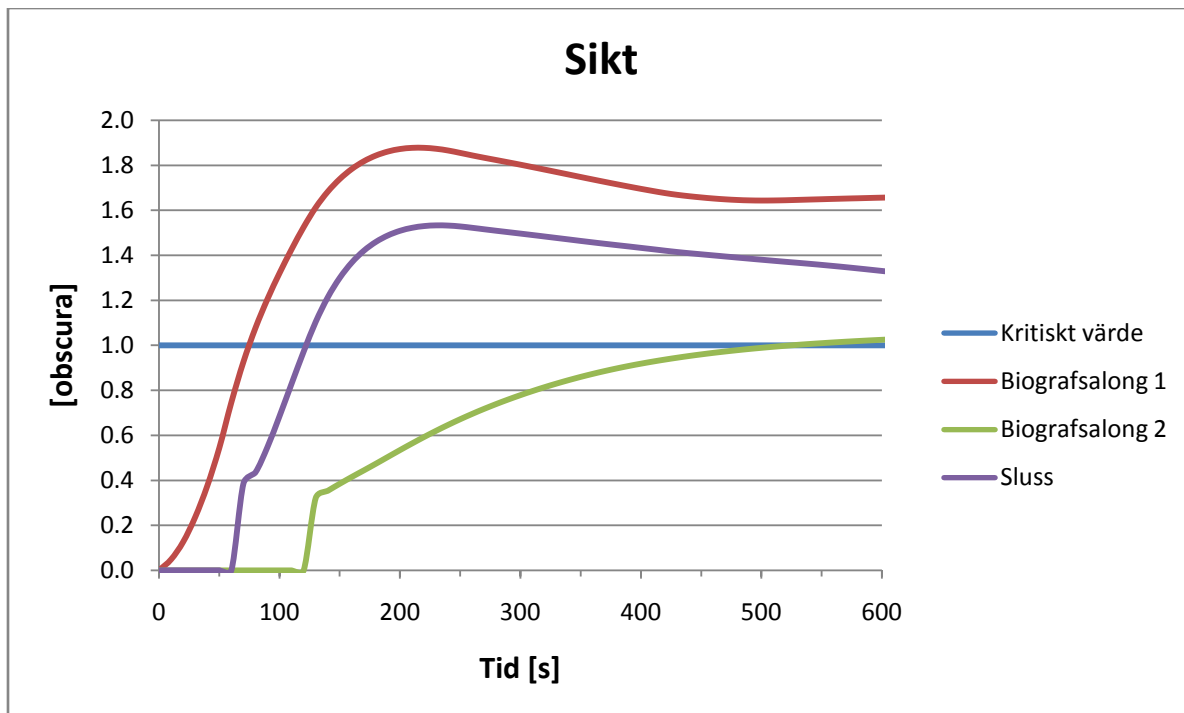
Figur D.6. Syrekonzentrationen i volymprocent, scenario ett.



Figur D.7. Koldioxidkoncentrationen i volymprocent, scenario ett.



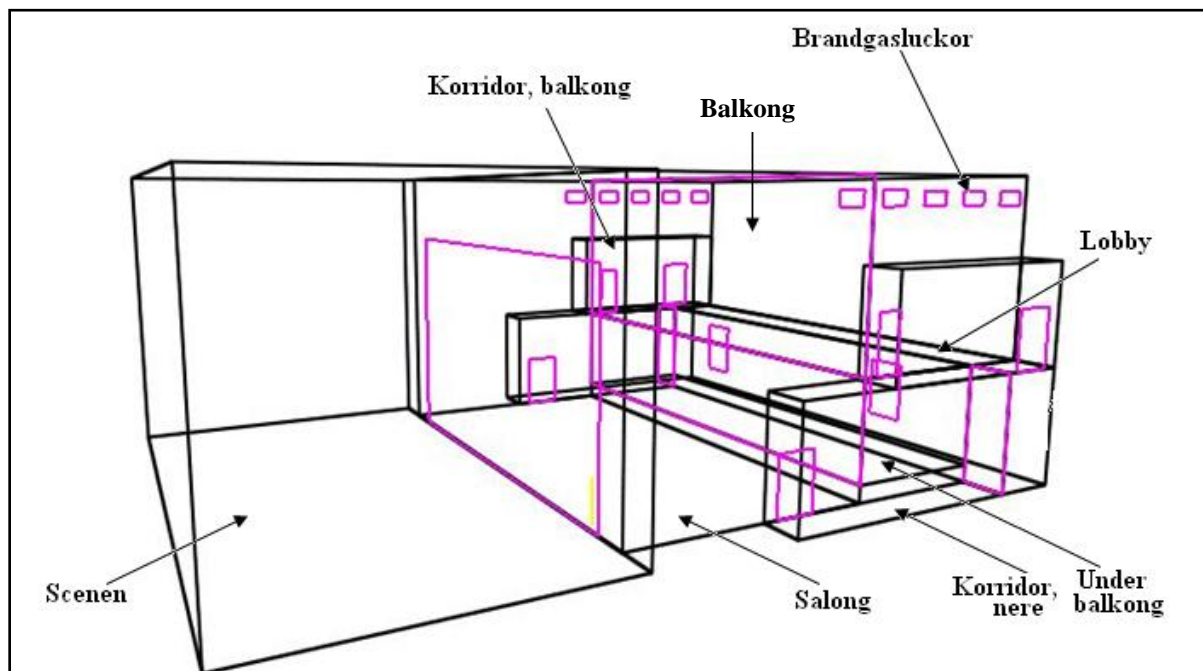
Figur D.8. Kolmonoxidkoncentrationen i ppm, scenario ett.



Figur D.9. Sikten i obscura, scenario ett.

D.2 Scenario 2 – Brand på scen

I CFast ritades en förenklad bild av Röda salongen samt de angränsande rummen. Figur D.10 nedan visar denna bild och vilka beteckningar som använts för de olika delarna. "Under balkong" är den beteckning som använts för det utrymme som befinner sig under balkongen, som alltså tillhör själva salongen. Lobbyn är delen bakom teatersalongen där kontrollrummet finns samt där två passager ut från salongen är lokaliserade.



Figur D.10. Schematisk bild över Röda salongen och angränsande rum i scenario två.

Vägg- och takmaterialet antogs vara gips i samtliga utrymmen. Inget speciellt golvmaterial specificerades i CFast. Förutom de dörrar och brandgasluckor som syns i Figur D.10 angavs två

mekaniska tilluftsfläktar med en kapacitet på 17,7 m³/s vardera. Fläktarna placerades på 4,1 meters höjd enligt ventilationsritning och öppningsarean angavs till 1 m². Tiden till detektoraktivering beräknades med DetactT2 (se Bilaga C) till 155 sekunder. Vid denna tid öppnade brandgasluckorna och de mekaniska tilluftsfläktarna startade. Den röksektionerande ridån stängdes vid tiden 60 sekunder, då manuell aktivering av brand- och utrymningslarmet antogs ske. Efter stängning antogs den röksektionerande ridån ha ett läckage av brandgaser på en procent ut till salongen (*opening fraction* = 0,01 angavs i CFast). Sprinkleraktiveringen på scenen sker efter cirka 3 minuter och 40 sekunder, se Bilaga C. Vid denna tid befinner sig branden i avsvalningsfasen vilket leder till att ingen hänsyn tas till sprinkleraktiveringen då den endast är till för att begränsa branden. Eftersom branden redan befinner sig i avsvalningsfasen anses det vara konservativt att låta branden avsvalna enligt effektutvecklingskurvan utan sprinkleraktivering. Samtliga dörrar antogs vara öppna under hela brandförloppet. Den framtagna effektutvecklingskurvan för scenario två fördes in i CFast. Branden placerades till vänster om scenens öppning, 1,5 meter in på scenen och 1 meter upp.

Resultaten från simuleringarna visas i figurer i avsnitt D.2.2. Endast de figurer som var relevanta för bedömningen av utrymnings säkerheten har redovisats.

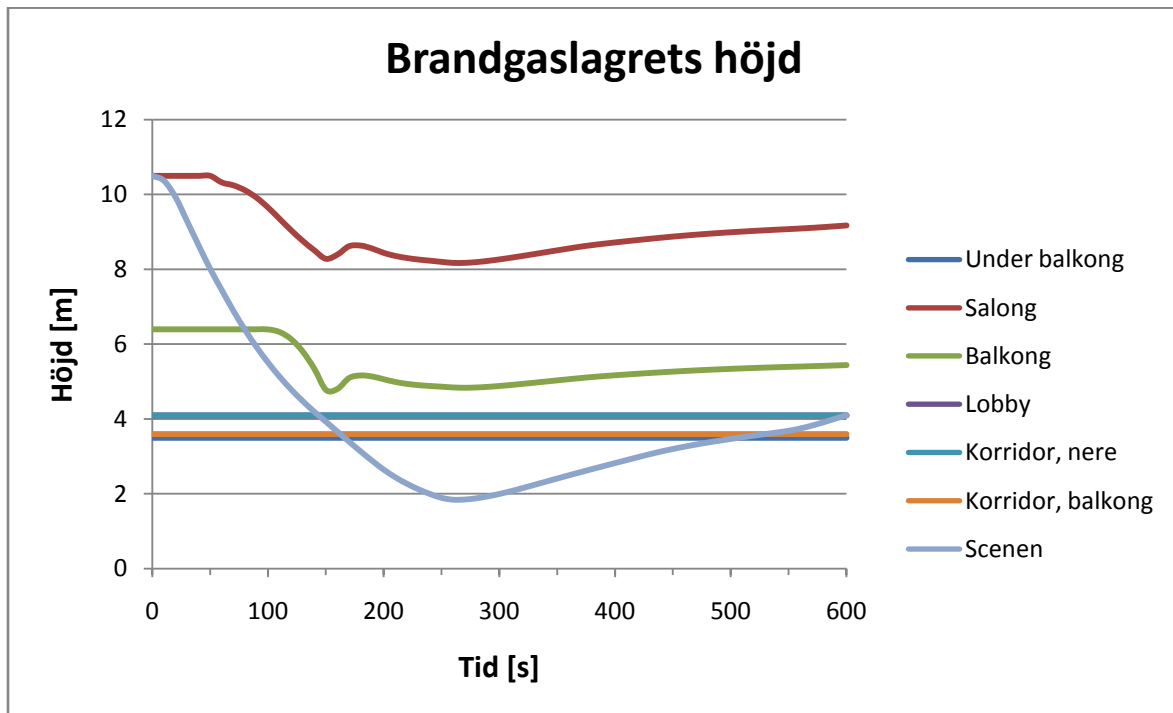
D.2.1 Kritisk höjd – Scenario 2

Enligt tidigare kan den kritiska höjden tecknas som $1,6 + 0,1 \cdot H$, där H är rummets höjd i meter. Eftersom det i vissa utrymmen finns höjdskillnader har höjden H valts efter var utgångarna är positionerade. Det betyder att H således är takhöjden där utgången är placerad. Kritisk höjd redovisas i Tabell D.4.

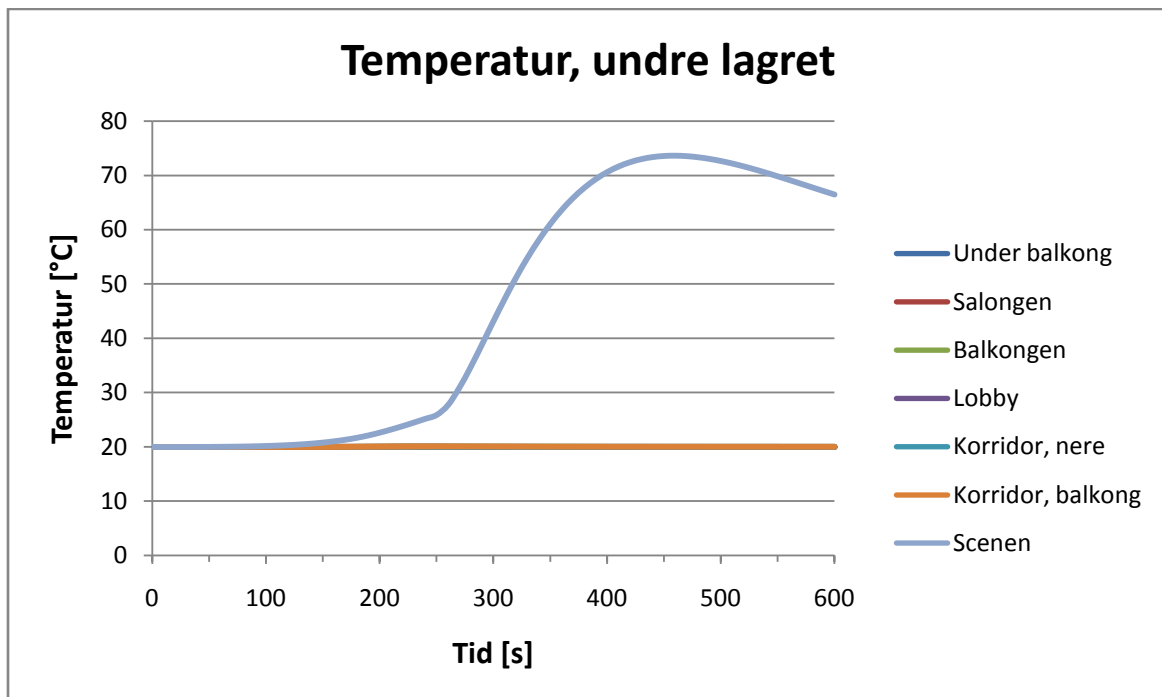
Tabell D.4. Beräknad kritisk höjd.

Utrymme	H, takhöjd [m]	$1,6 + 0,1 \cdot H$ [m]	Höjddifferens [m]	Kritisk höjd [m]
Under balkong	2,6	1,86	0,9	2,76
Salong	10,5	2,65	-	2,65
Lobby	2,6	1,86	1,5	3,36
Korridor, nere	4,1	2,01	-	2,01
Korridor, balkong	3,6	1,96	-	1,96
Balkong	6,4	2,24	-	2,24
Scenen	10,5	2,65	-	2,65

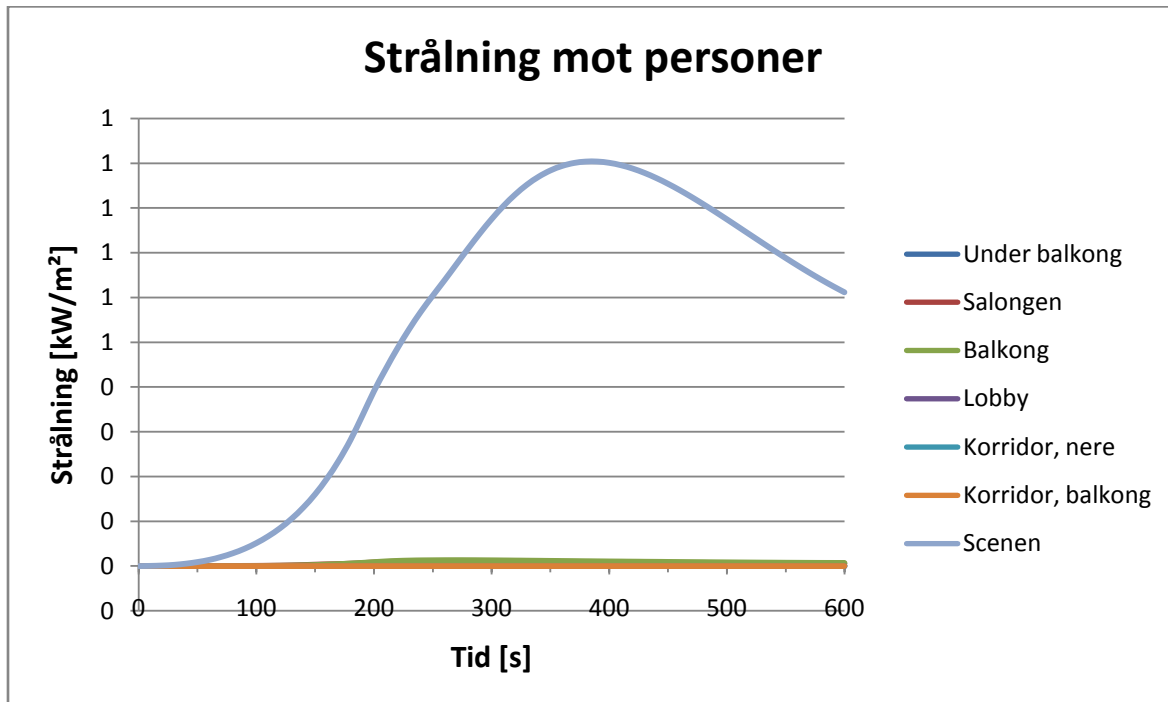
D.2.2 Diagram baserade på data från simulering i CFast – Scenario 2



Figur D.11. Brandgaslagrets höjd, scenario två.



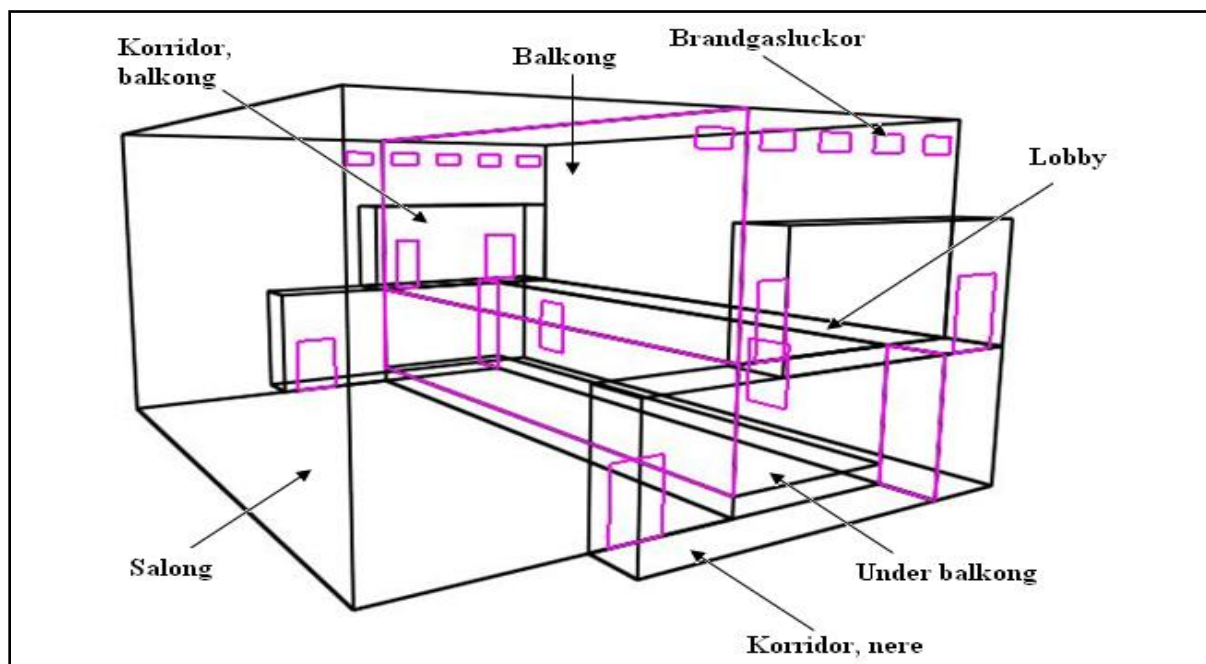
Figur D.12. Temperaturen i undre lagret, scenario två.



Figur D.13. Strålning mot personer, scenario två.

D.3 Scenario 3 – Brand i mixerbord

För scenario tre användes samma uppbyggnad av Röda salongen som i scenario två, förutom att scenen togs bort eftersom branden sker i teatersalongen och brandgasspridning till scenen inte är relevant för scenariot. För principskiss se Figur D.14. Tiden för detektoraktivering beräknades med DetactT2 (Bilaga C) till 165 sekunder. Vid denna tid öppnade brandgasluckorna och de mekaniska tilluftsfläktarna startade.



Figur D.14. Schematisk bild över Röda salongen och angränsande rum i scenario tre.

Den framtagna effektutvecklingskurvan för scenario tre fördes in i CFast. Branden placerades i utrymmet ”Under balkongen”, 1 meter ut från lobbyn och 1,6 meter under taket på utrymmet.

Resultaten från simuleringarna visas i figurer i avsnitt D.3.2. Endast de figurer som var relevanta för bedömningen av utrymnings säkerheten har redovisats. Eftersom brandgaslagrets höjd når ner till kritisk nivå i scenario tre, innan utrymning kan ske, är det intressant att undersöka sikt, temperatur och toxicitet i övre och undre lagret på balkongen. Därför görs en vidare analys av scenariot, se avsnitt D.3.3.

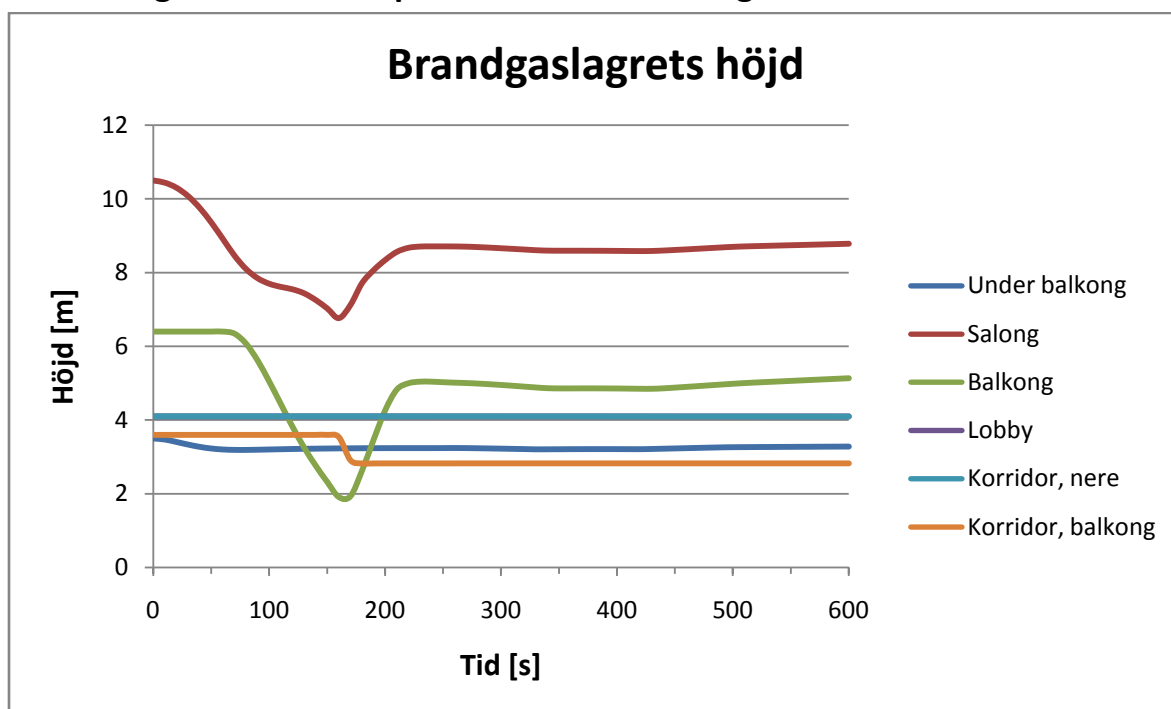
D.3.1 Kritisk höjd – Scenario 3

Enligt tidigare kan den kritiska höjden tecknas som $1,6 + 0,1 \cdot H$, där H är rummets höjd i meter. Eftersom det i vissa utrymmen finns höjdskillnader har höjden H valts efter var utgångarna är positionerade. Det betyder att H således är takhöjden där utgången är placerad. Kritisk höjd redovisas i Tabell D.5.

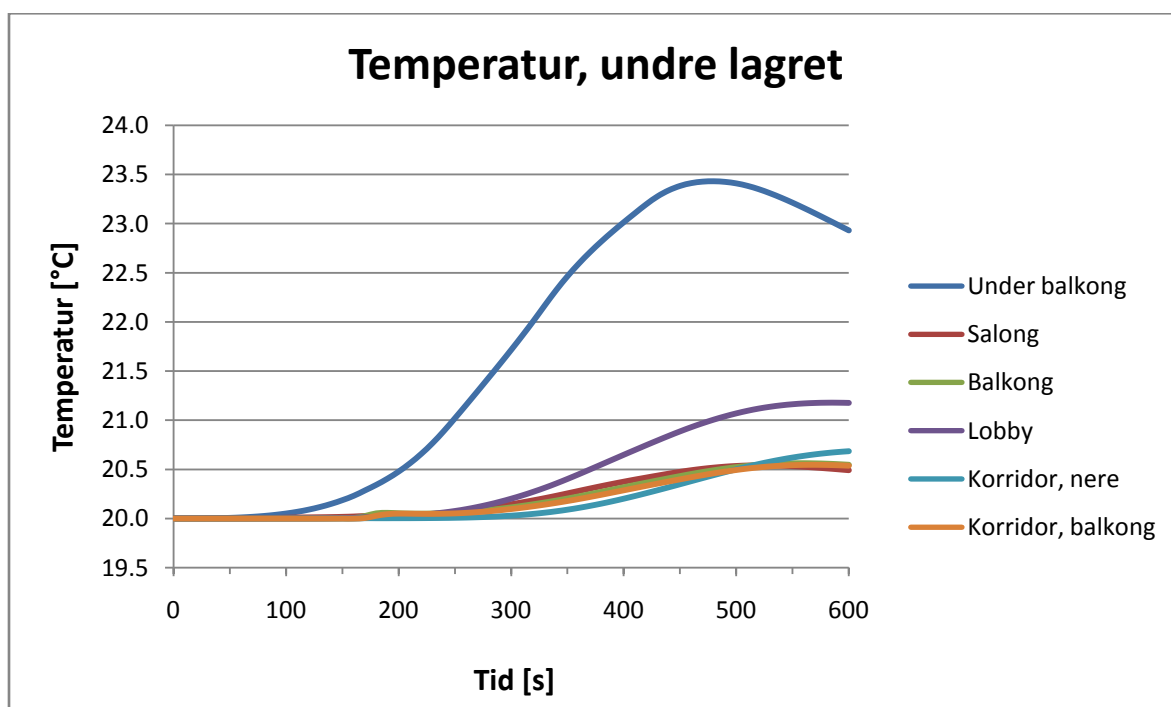
Tabell D.5. Beräknad kritisk höjd.

<i>Utrymme</i>	<i>H, takhöjd [m]</i>	<i>1,6 + 0,1·H [m]</i>	<i>Höjddifferens [m]</i>	<i>Kritisk höjd [m]</i>
<i>Under balkong</i>	2,6	1,86	0,9	2,76
<i>Salong</i>	10,5	2,65	-	2,65
<i>Lobby</i>	2,6	1,86	1,5	3,36
<i>Korridor, nere</i>	4,1	2,01	-	2,01
<i>Korridor, balkong</i>	3,6	1,96	-	1,96
<i>Balkong</i>	6,4	2,24	-	2,24

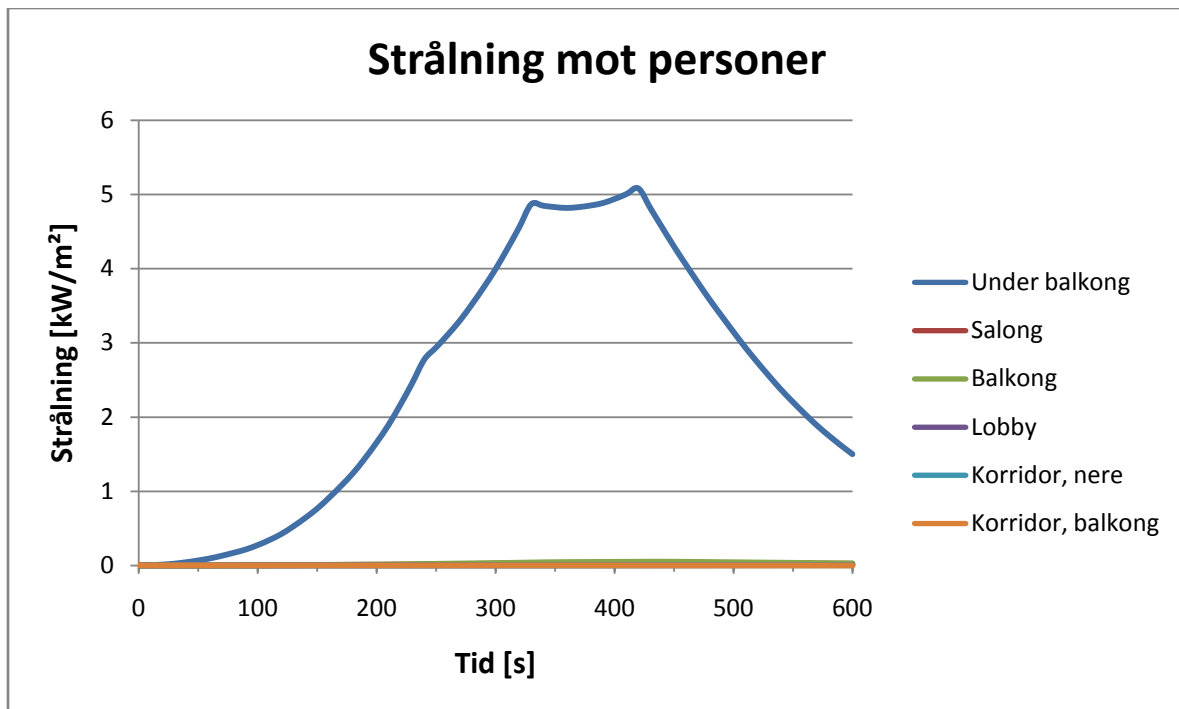
D.3.2 Diagram baserade på data från simulering i CFast – Scenario 3



Figur D.15. Brandgaslagrets höjd, scenario tre.



Figur D.16. Temperaturen i undre lagret, scenario tre.



Figur D.17. Strålning mot personer, scenario tre.

D.3.3 Vidare analys av scenario tre

Enligt BBR 5:361 får inte personer under utrymning utsättas för giftiga gaser eller låg syrehalt. Det anses räcka med att undersöka CO, CO₂ samt O₂. För att modellera sikten och toxiciteten i CFast är tre parametrar av stor betydelse (*Hultqvist 2000*, s. 5):

\dot{m}	pyrolyshastigheten [kg/s]
H/C	massförhållandet mellan väte och kol i bränslet [g/g]
C/CO_2	massförhållandet mellan kol och koldioxid i förbränningsprodukterna [g/g]

I scenario tre antändes mixerbordet men också teaterstolarna. Mixerbordet har antagits bestå av polystyren och teaterstolarna av polyuretanskum. För att avgöra vilken som blev dimensionerande jämfördes H/C samt C/CO_2 för de två ämnena. Beräkningarna redovisas nedan:

För polyuretanskum, PUR (GM23) = CH_{1,7}O_{0,32}N_{0,07} (*SFPE 3rd edition*, s. 3-112, table 3-4.14)

$$H/C = \frac{1,7 \times 1,008}{1 \times 12,01} \approx 0,143$$

Yield C = 0,227, Yield CO₂ = 1,51, Yield CO = 0,031

$$C/CO_2 = \frac{0,227}{1,51} \approx 0,150$$

$$CO/CO_2 = \frac{0,031}{1,51} \approx 0,021$$

För Polystyren = C_8H_8 (Karlsson & Quintiere 2000, s. 230–231)

$$H/C = \frac{1 \times 1,008}{1 \times 12,01} \approx 0,0839$$

Yield C = 0,16, Yield CO_2 = 2,3, Yield CO = 0,06

$$C/CO_2 = \frac{0,16}{2,3} \approx 0,0696$$

$$CO/CO_2 = \frac{0,06}{2,3} \approx 0,026$$

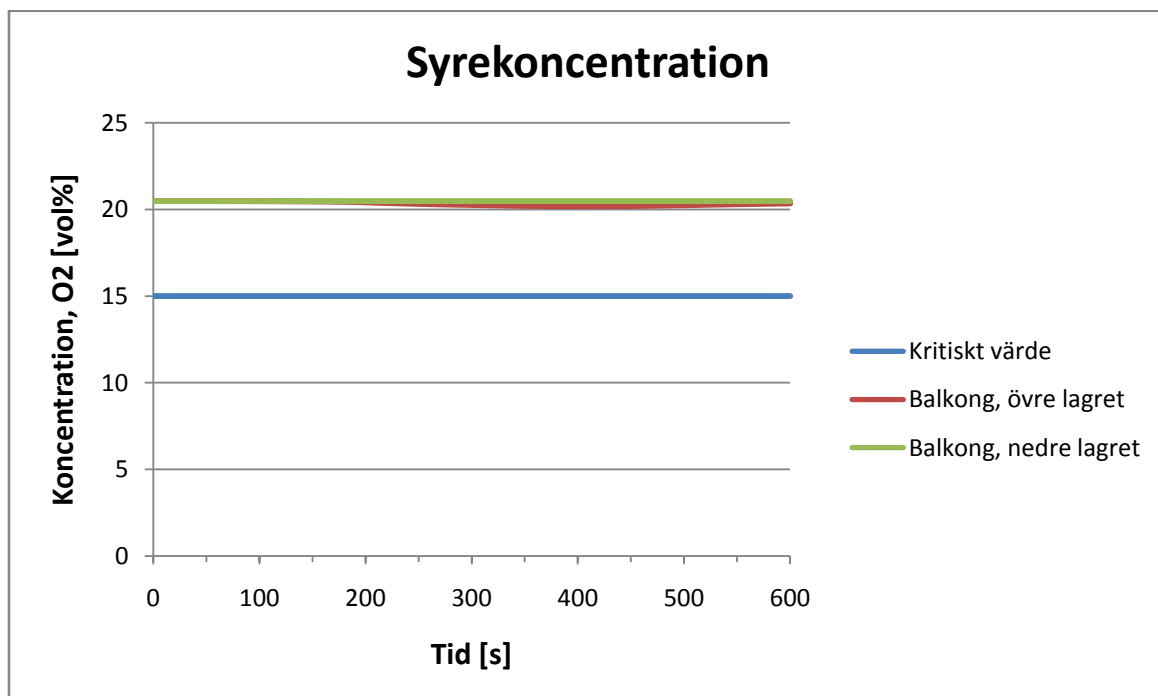
För att sedan avgöra vilket ämne av de båda plasterna som blev dimensionerande gjordes en jämförelse i CFast, vilket resulterade i polystyren.

Kritiska värden för toxicitet, temperatur och sikt redovisas i tabellen nedan (Brandskyddshandboken 2005, s. 201). Värdena visar när säker utrymning *inte* kan genomföras.

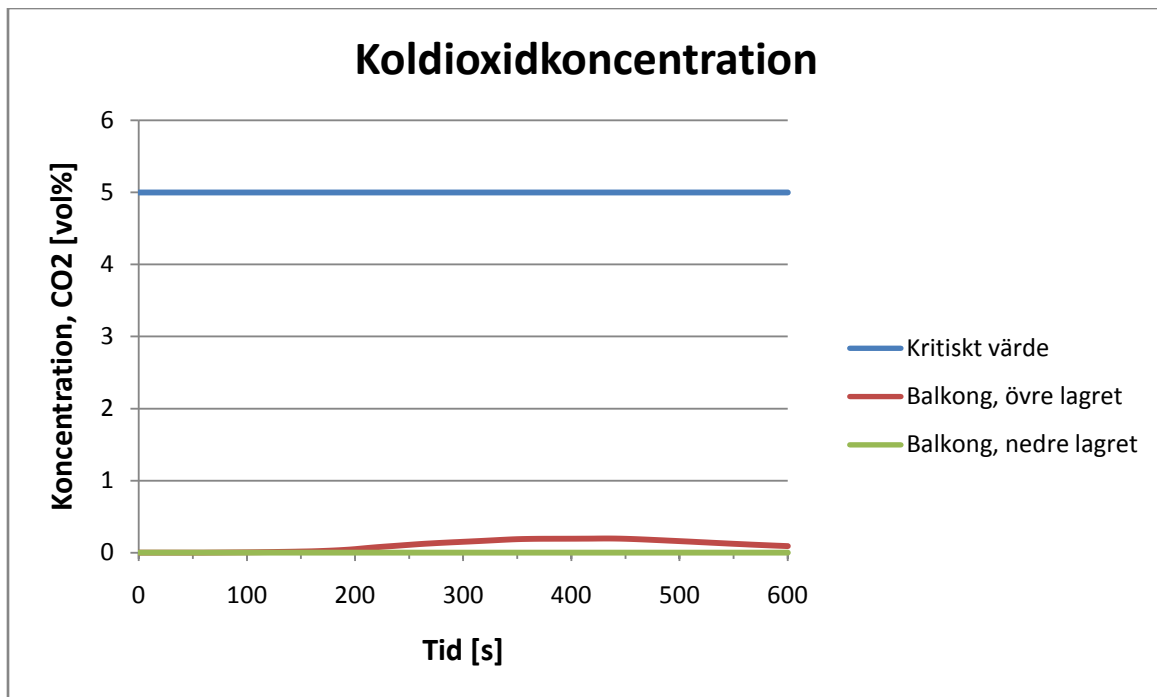
Tabell D.6. Kritiska värden för O_2 , CO_2 , CO samt sikt.

O_2 [%]	CO_2 [%]	CO [ppm]	Temperatur [°C]	Sikt [obscura]
< 15	> 5	> 2000	> 80	> 1

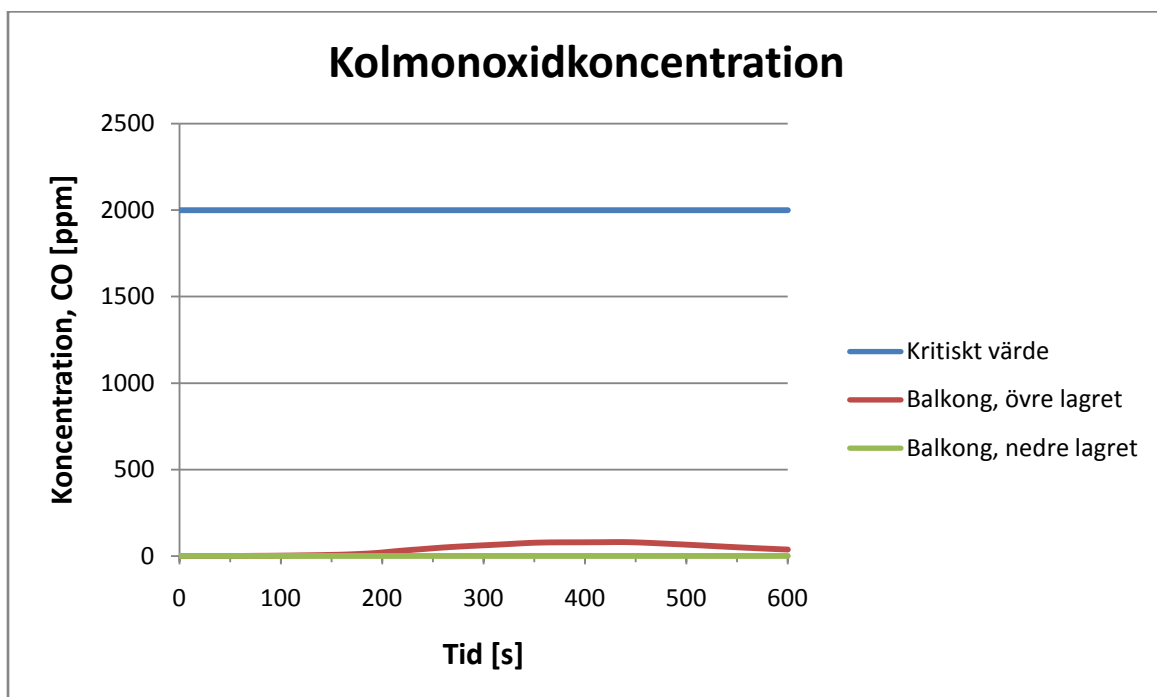
Uppmätta värden av toxicitet, temperatur och sikt redovisas i diagrammen nedan.



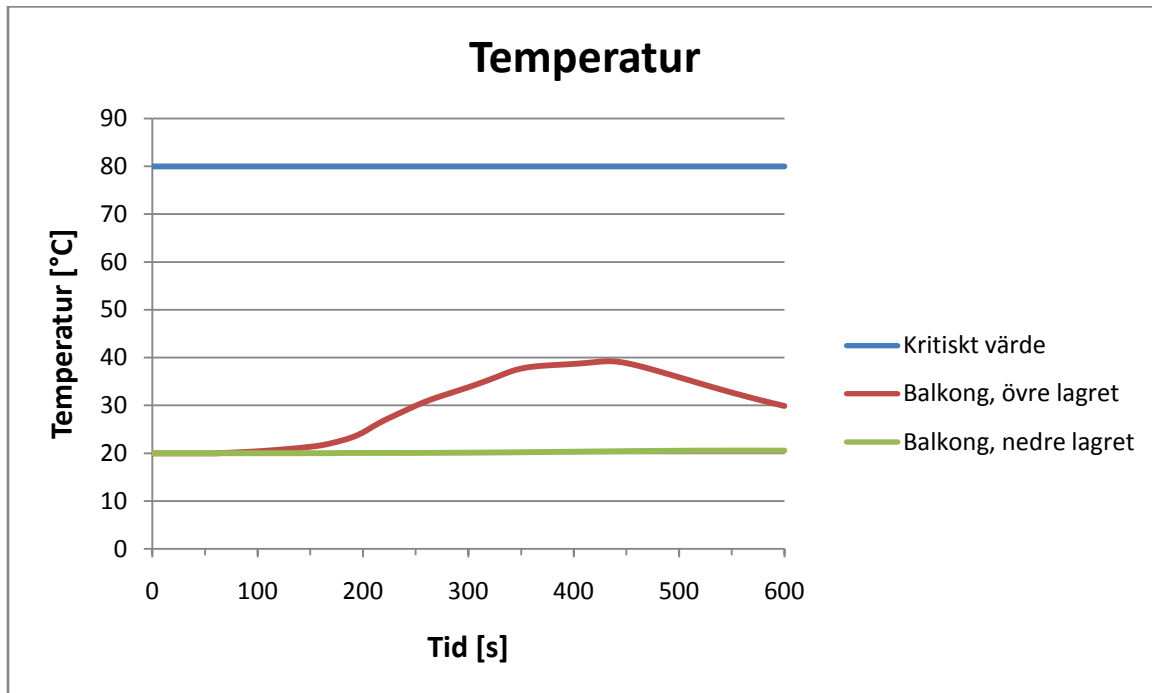
Figur D.18. Syrekonzentrationen i volymprocent, scenario tre.



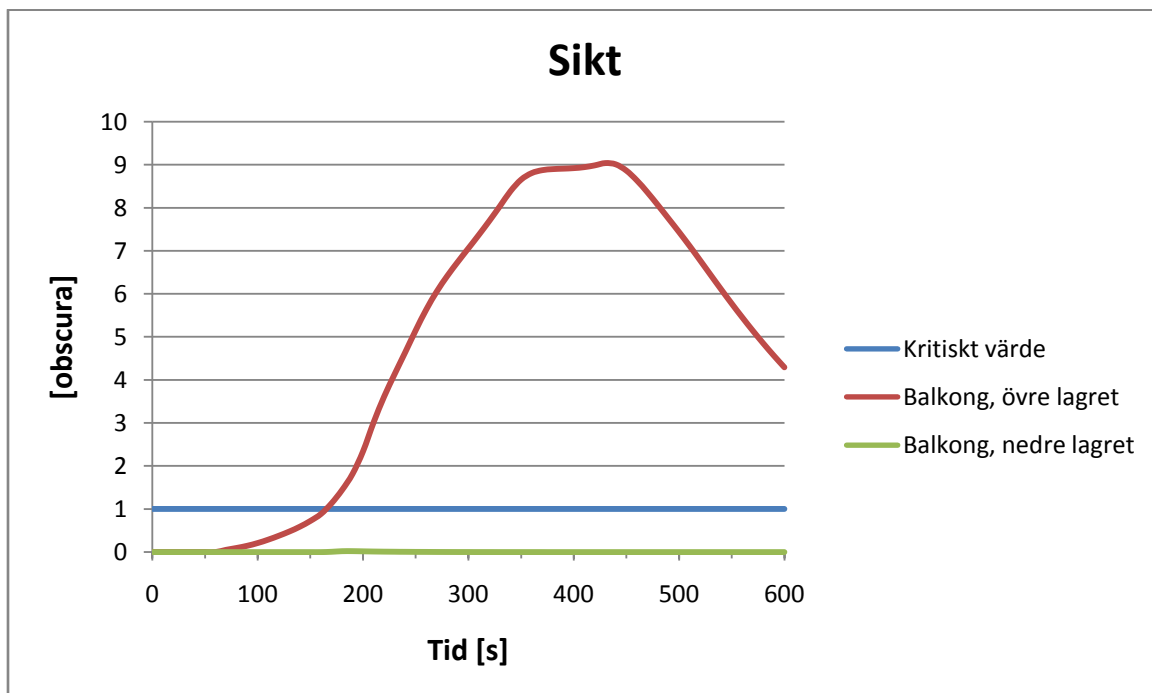
Figur D.19. Koldioxidkoncentrationen i volymprocent, scenario tre.



Figur D.20. Kolmonoxidkoncentrationen i ppm, scenario tre.



Figur D.21. Temperatur i grader Celsius, scenario tre.



Figur D.22. Sikten i obscura, scenario tre.

Som synes i diagrammen uppstår endast kritiska förhållanden med avseende på sikten i övre lagret. Detta inträffar vid tiden 165 sekunder. Brandgaslagrets höjd är då på en kritisk nivå. När brandgasventilationen startar vid 165 sekunder höjs brandgaslagret snabbt, vid 180 sekunder är brandgaslagrets höjd över kritisk nivå (se Figur D.15). Eftersom personer inte kommer att utsättas för varken kritiska halter av kolmonoxid, koldioxid eller syrgas eller en kritisk temperatur, bedöms att en säker utrymning kan ske.

Bilaga E – Tid till utrymning

Bilagan beskriver resonemang och försöksuppställning för framtagandet av utrymningstider i de olika brandscenerierna.

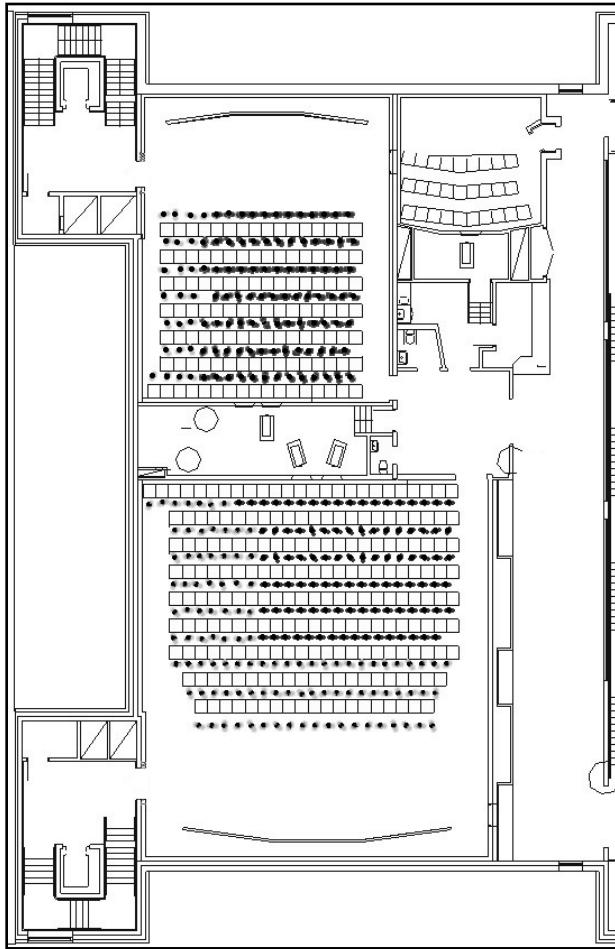
E.1 Scenario 1 – Brand i papperskorg

I biografsalong 1 kan totalt 203 personer vistas. Utrymningstider har beräknats med hjälp av datorprogrammet Simulex. För beskrivning och begränsningar av programmet, se avsnitt 5.2. Vid scenario ett kommer alla utgångarna att vara brukbara och ej blockeras av branden. Däremot kan inte utrymning ske den kortaste vägen eftersom personer inte kan passera branden, vilket det tas hänsyn till i simuleringen i Simulex. Eftersom utrymningslarmet aktiveras i alla biografsalonger samtidigt kommer utrymning från biografsalong 1 och 2 simuleras samtidigt på grund av att de utrymmer via samma sluss och detta kan därför påverka utrymningstiderna.

Utrymningen anses vara klar när personerna har kommit ut i foajén alternativt när de når trapphusen. Trapphusen simuleras ner till markplan för att undersöka om det finns risk för köbildning i trappan.

Följande antaganden har gjorts i simuleringen:

I biografsalong 1 kommer 63 stycken personer på de tre nedersta raderna att välja nödutgången på grund av att de inte antas vilja passera branden. Av de resterande 140 personerna antas en tredjedel välja nödutgångarna baserat på att efterhand som branden växer till kommer de inte att vilja stå och köa ut till slussen utan väljer en nödutgång istället. Återstående två tredjedelar kommer att välja slussen som utrymningsväg. I biografsalong 2 antas att 80 procent av besökarna väljer samma utgång som de kom in (genom slussen) och att 20 procent väljer att ta nödutgången. Dessa siffror baseras på resultat från *Reinicke* (2007), *Frantzich & Nilsson* (2007) och *Frantzich* (2001). För utplacering av personer i Simulex, se Figur E.1.



Figur E.1. Utplacering av personer i biografsalonger vid simulering i Simulex. Ljusa går till nödutgång, mörka går genom slussen.

Aktiveringstiden för brand- och utrymningslarmet varierade mellan 41 till 72 sekunder beroende på om DetactT2 eller DetactQS användes, se Bilaga C. Det är dock troligt att personer i biograf-salong 1 upptäcker branden tidigt och påbörjar utrymning innan utrymningslarmet aktiverar. Därför har varseblivningstiden i biograf-salong 1 satts till 40 sekunder. Detta baseras på att efter denna tid har branden i papperskorgen utvecklats så mycket brandgaser att personerna i biograf-salongen börjar känna av dem samt att flammor syns tydligt. Besluts- och rektionstiden antas till 20 sekunder eftersom det kommer bli en viss ovisshet och förvirring innan personerna börjar utrymma.

I biograf-salong 2 blir varseblivningstiden en minut. Detta baseras på att personalen trycker på larmknapp när de har upptäckt branden i biograf-salong 1. Besluts- och rektionstiden i biograf-salong 2 antas vara en minut. Detta eftersom personerna i biograf-salong 2 inte vet var det brinner samt om de ska utrymma eller inte. (*Brandskydds-handboken 2005*, s. 222).

I simuleringarna har försökspersonernas karaktär valts som *Japan: Theatre*. Förutsättningarna för denna kategori är:

Gånghastighet, plan mark 1 +/- 0 meter/s
Gånghastighet nedför trappor 0,6 +/- 0m/s
Gånghastighet uppför trappor 0,45 +/- 0m/s.

Resultaten från simuleringarna i Simulex visas i Tabell E.1.

Tabell E.1. Tid till utrymning, scenario ett.

<i>Utrymme</i>	<i>Varseblivnings- tid [s]</i>	<i>Beslut- och reaktionstid [s]</i>	<i>Förflyttnings- tid [s]</i>	<i>Total utrymningstid [s]</i>
<i>Biografsalong 1</i>	40	20	103	163
<i>Biografsalong 2</i>	60	60	109	229
<i>Sluss</i>	-	-	-	235

Utrymningssimuleringarna gjordes även med de extra sätena insatta (se avsnitt 8.1.1). Dessa inskränker 0,35 meter på utgången till slussen. Simuleringen visade att sätenas inskränkning inte påverkade utrymningen mer än att den blev ett par sekunder längre. Denna tidsskillnad ansågs vara försumbar eftersom personerna fortfarande kunde passera enkelt ut genom utgången till slussen samt att tidsskillnaden är så liten att den inte anses påverka resultatet av utrymningssimuleringen.

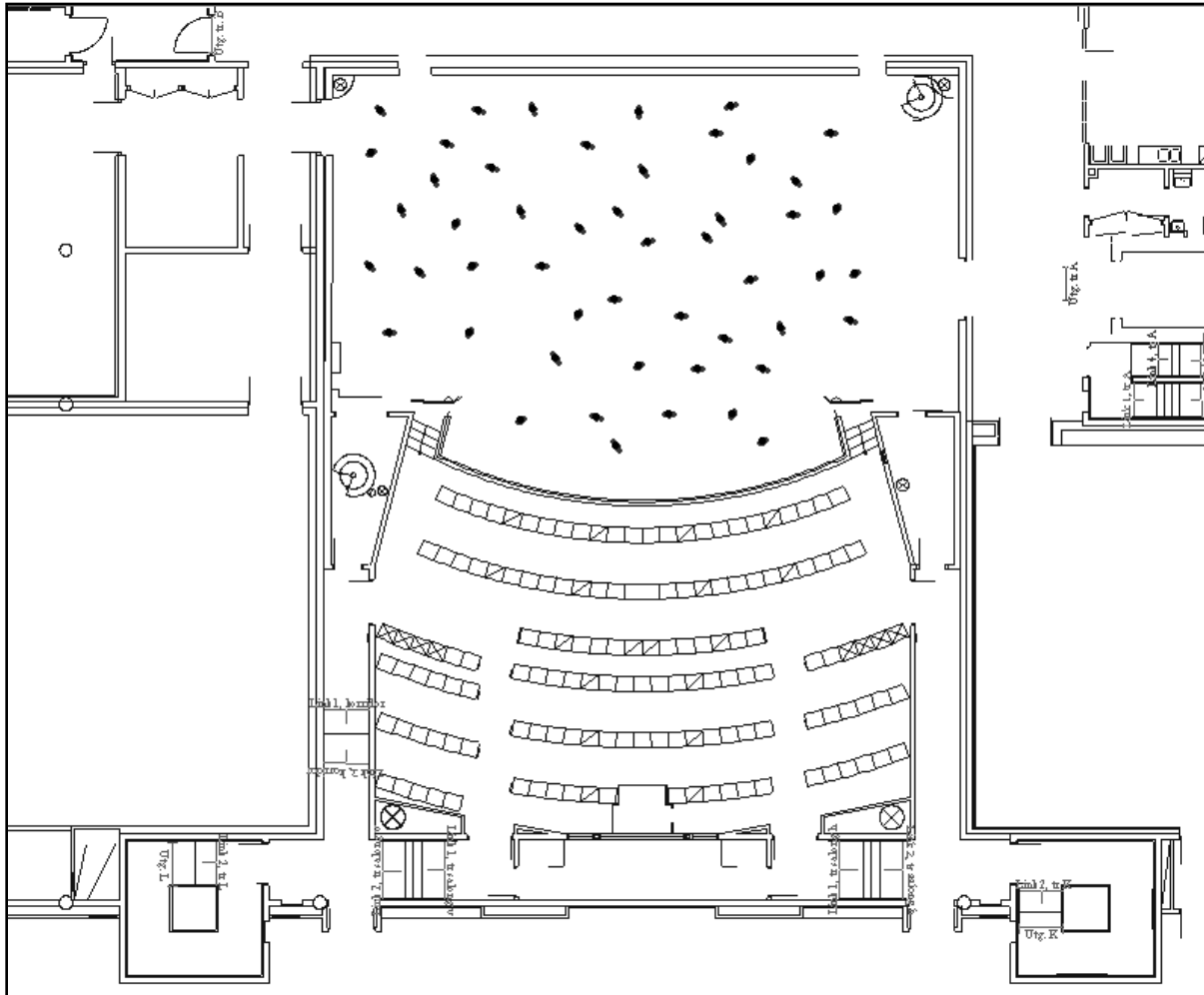
E.2 Scenario 2 – Brand på scen

I scenario två är tid till utrymning från scenen av intresse, eftersom det endast är på scenen som det uppstår kritiska förhållanden, se avsnitt 8.2.3. På scenen uppskattas det befinna sig 50 personer eller färre. Aktiveringstiden för brand- och utrymningslarmet uppgår till cirka 2 minuter och 30 sekunder, se Bilaga C. Det är dock troligt att personal upptäcker branden tidigare än aktiveringen av utrymningslarmet. Därför antas en varseblivningstid på en minut. Besluts- och reaktionstiden innan personer på scenen börjar utrymma antas vara en minut (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 222).

I simuleringarna i datorprogrammet Simulex, har det antagits att 25 personer använder utgång A och 25 personer använder utgång B. Försöksuppställningen visas i Figur E.2. Utrymningen anses vara klar då alla personer har utrymt scenen.

I simuleringarna har samma karaktär på försökspersonerna som i scenario ett valts, *Japan: Theatre*. Förutsättningarna för denna kategori är:

Gånghastighet, plan mark 1 +/- 0 meter/s
Gånghastighet nedför trappor 0,6 +/- 0m/s
Gånghastighet uppför trappor 0,45 +/- 0m/s.



Figur E.2. Utplaceringen av personer på scenen vid simuleringarna i Simulex.

En sammanställning av resultaten från simuleringarna med varseblivningstid och beslut- och reaktionstid visas i Tabell E.2.

Tabell E.2. Tid till utrymning, scenario två.

Utrymme	Varseblivningstid [s]	Beslut- och reaktionstid [s]	Förflyttningstid [s]	Total utrymningstid [s]
Scenen	60	60	25	145

E.3 Scenario 3 – Brand i mixerbord

I Röda salongen får totalt 398 personer vistas, 268 personer i teatersalongen och 130 personer på balkongen. Aktiveringstiden för brand- och utrymningslarm uppgår till cirka 2 minuter och 50 sekunder, se Bilaga C. Det är dock troligt att personer i salongen upptäcker branden tidigare. Därför antas att personal upptäcker branden och aktiverar utrymningslarmet manuellt efter en minut. Besluts- och reaktionstiden innan personer i salongen börjar utrymma antas vara en minut (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 222).

Vid scenario tre kan de bakre utgångarna i teatersalongen tänkas bli obrukbara efter en viss tid på grund av branden. Därför simuleras utrymningsförsök där dessa utgångar endast används av personer som sitter i de fem raderna längst bak i salongen. Resterande personer utrymmer genom

korridorerna på vardera sidan av salongen. Personerna på balkongen utrymmer jämnt fördelat mellan höger och vänster korridor.

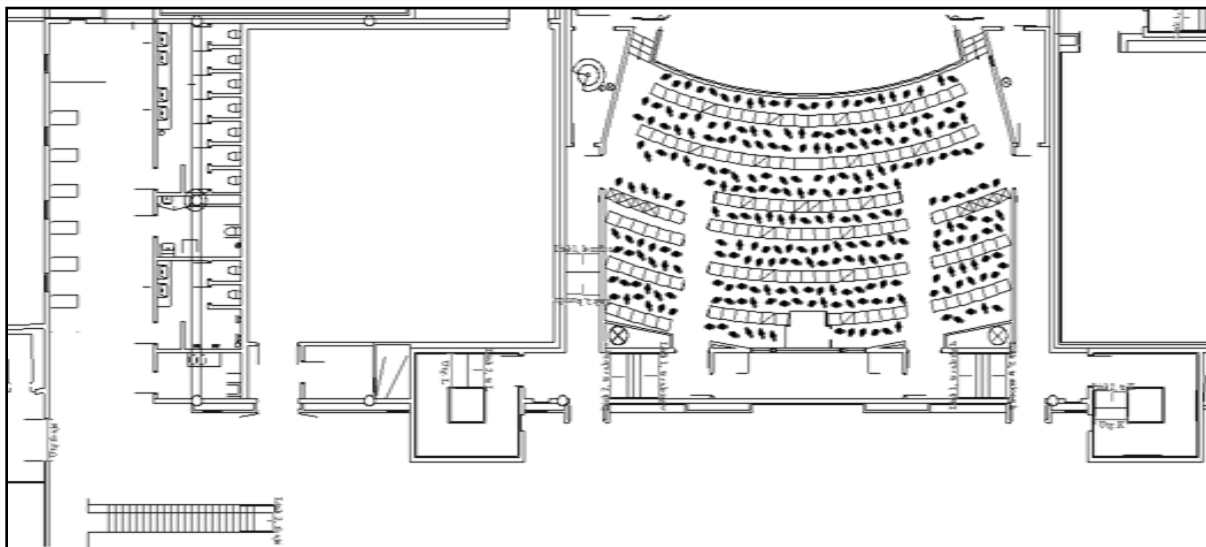
Två olika simuleringar har gjorts i Simulex. I den första utrymmer personerna i salongen och på balkongen genom trapphus L och K. Fördelningen har skett genom att de till vänster använder trapphus L och de till höger använder trapphus K. Denna simulering har bland annat gjorts för att upptäcka om köbildningar i trapphusen kan påverka utrymningen i salongen eller på balkongen. Denna simulering motsvarar även den tänkta utrymningsstrategin för Röda salongen. För skiss över trapphusbeteckningar se objektsbeskrivning.

I den andra simuleringen har antagandet gjorts att 80 procent av besökarna väljer den vanliga utgången genom foajén och endast 20 procent använder den tänkta utrymningsvägen genom trapphus L och K. Dessa siffror baseras på resultat från *Reinicke* (2007), *Frantzich & Nilsson* (2007) och *Frantzich* (2001).

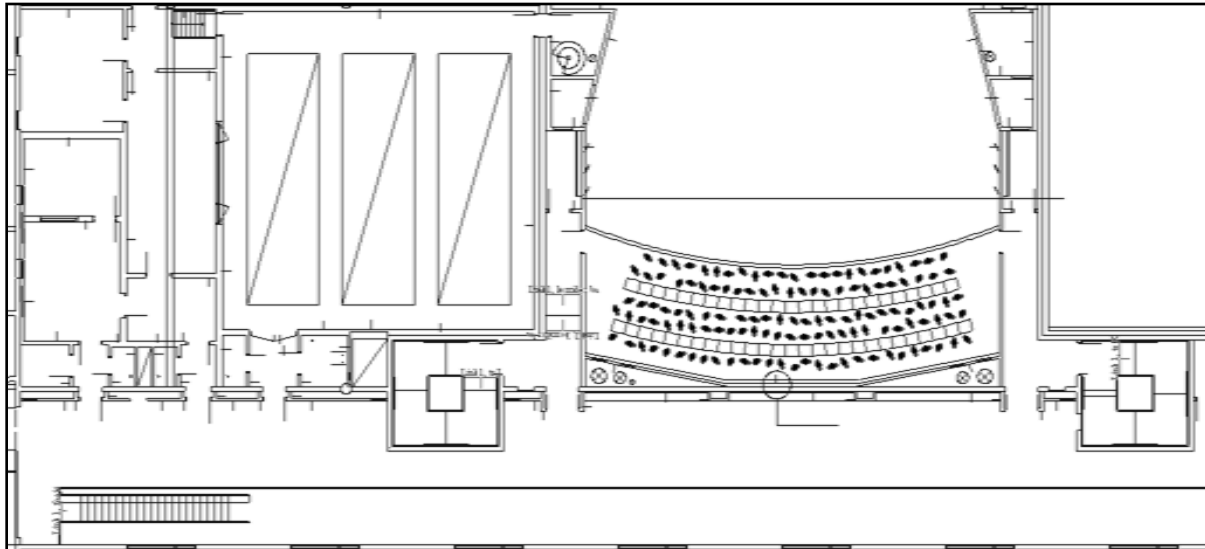
För utplacering av personer i Simulex, se Figur E.3 och Figur E.4.

I simuleringarna har samma karaktär på försökspersonerna som i scenario ett och två valts, *Japan: Theatre*. Förutsättningarna för denna kategori är:

- Gånghastighet, plan mark 1 +/- 0 meter/s
- Gånghastighet nedför trappor 0,6 +/- 0m/s
- Gånghastighet uppför trappor 0,45 +/- 0m/s.



Figur E.3. Utplaceringen av personer i salongen vid simuleringarna i Simulex.



Figur E.4. Utplacering av personer på balkongen vid simuleringarna i Simulex.

En sammanställning av resultaten från simuleringarna med varseblivningstid och beslut- och reaktionstid visas i Tabell E.3.

Tabell E.3. Tid till utrymning, scenario tre.

Simulering 1				
Utrymme	Varseblivnings-tid [s]	Beslut- och reaktionstid [s]	Förflyttningstid [s]	Total utrymningstid [s]
Under balkong	60	60	80	200
Salong	60	60	85	205
Lobby	60	60	181	301
Korridor, nere	60	60	165	285
Korridor, balkong	60	60	105	225
Balkong	60	60	80	200
Simulering 2				
Utrymme	Varseblivnings-tid [s]	Beslut- och reaktionstid [s]	Förflyttningstid [s]	Total utrymningstid [s]
Under balkong	60	60	77	197
Salong	60	60	85	205
Lobby	60	60	150	270
Korridor, nere	60	60	110	230
Korridor, balkong	60	60	88	208
Balkong	60	60	80	200

Simulering 1=Personer utrymmer jämnt fördelat mellan trapphus L och K.

Simulering 2 = 80 procent utrymmer genom foajén (ordinarie ingång) och 20 procent använder nödutgång.

Bilaga F – Handberäkningar

Bilagan redovisar handberäkningar som gjorts för att verifiera resultat från CFast.

F.1 Scenario 1 – Brand i papperskorg

För scenario ett har handberäkningar av brandgaslagrets höjd samt sikt genomförts för att verifiera resultaten från CFast.

F.1.1 Brandgaslagrets höjd

Brandgaslagrets höjd har beräknats med hjälp av formler för brandgasfyllning i stora utrymmen vid icke stationära förhållanden (*Karlsson & Quintiere 2000*, s. 204-209).

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

$$\text{Brandgaslagrets höjd, } z = \left(k \frac{\alpha^{1/3} 2t^{(1+n/3)}}{S(n+3)} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2}$$

$$\text{Brandgasernas densitet, } \rho_g = \rho_a \left(1 - \frac{\alpha t^{n+1}}{(n+1)(H-z)S c_p 353} \right)$$

Beräkningsgång

1. Gissa ρ_g
2. Beräkna konstanten k
3. Beräkna z vid en viss tid
4. Kontrollera ρ_g
5. Om det gissade ρ_g inte är lika med det beräknade ρ_g börja om på steg 1. Annars är beräkningen färdig.

Genom att lägga in de olika ekvationerna i en formel behövs ingen iteration. Formeln blir

$$z = \left(\left(\frac{0,21 \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3}}{\rho_a \left(1 - \frac{\alpha t^{n+1}}{(n+1)(H-z)S c_p 353} \right)} \right) \frac{\alpha^{1/3} 2t^{(1+n/3)}}{S(n+3)} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2}$$

$$\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3 \quad c_p = 1,0 \text{ kJ/kgK} \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2 \quad t = 60 \quad H = 5,0 \text{ m} \quad S = 17 \times 15 \text{ m} \\ n = 2 \text{ (pga att en } \alpha t^2 \text{ brand antagits)} \quad T_a = 293 \text{ K} \quad \alpha = 0,094 \text{ kW/s}^2$$

$$z = \left(\left(\frac{0,21 \left(\frac{1,2^2 \cdot 9,81}{1 \cdot 293} \right)^{1/3}}{1,2 \left(1 - \frac{0,094 \cdot 60^3}{(2+1)(5,0-z)17 \cdot 15 \cdot 1 \cdot 353} \right)} \right) \frac{0,094^{1/3} 2 \cdot 60^{(1+2/3)}}{17 \cdot 15(2+3)} + \frac{1}{5,0^{2/3}} \right)^{-3/2}$$

$$\Rightarrow z = 4,14 \text{ m}$$

Detta är höjden från branden. Eftersom denna befann sig 0,5 meter ovanför golvet blir höjden till brandgaslagret $z = 4,14 + 0,5 = 4,64 \text{ m}$

Eftersom branden befinner sig vid en vägg kommer plymflödet att ändras enligt

$$\dot{m}_p = \frac{1}{2} f(2 \cdot \dot{Q}) \quad (\text{Karlsson \& Quintiere 2000, s. 72}).$$

Formeln för brandgasfyllning i stora utrymmen vid icke stationära förhållanden är baserad på Zukoskis plymmodell. När branden är placerad vid en vägg blir $\dot{m}_p = 0,045 \dot{Q}^{1/3} \cdot z^{5/3}$ (Karlsson & Quintiere 2000, s. 71).

Konstanten k blir då $k = \frac{0,045}{\rho_g}$. Formeln utan iteration blir då:

$$z = \left(\left(\frac{0,045}{\rho_a \left(1 - \frac{\alpha t^{n+1}}{(n+1)(H-z)S c_p 353} \right)} \right) \frac{\alpha^{1/3} 2 t^{(1+n/3)}}{S(n+3)} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2}$$

$$\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3 \quad c_p = 1,0 \text{ kJ/kgK} \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2 \quad t = 60 \quad H = 5,0 \text{ m} \quad S = 17 \times 15 \text{ m}^2$$

$$n = 2 \text{ (pga att en } \alpha t^2 \text{ brand antagits)} \quad T_a = 293 \text{ K} \quad \alpha = 0,094 \text{ kW/s}^2$$

$$z = \left(\left(\frac{0,21 \left(\frac{1,2^2 \cdot 9,81}{1 \cdot 293} \right)^{1/3}}{1,2 \left(1 - \frac{0,094 \cdot 60^3}{(2+1)(5,0-z)17 \cdot 15 \cdot 1 \cdot 353} \right)} \right) \frac{0,094^{1/3} 2 \cdot 60^{(1+2/3)}}{17 \cdot 15(2+3)} + \frac{1}{5,0^{2/3}} \right)^{-3/2}$$

$$\Rightarrow z = 4,44 \text{ m}$$

Detta är höjden från branden. Eftersom denna befann sig 0,5 meter ovanför golvet blir höjden till brandgaslagret $z = 4,44 + 0,5 = 4,94 \text{ m}$

Anledningen till att beräkningar utfördes med branden placerad både intill och en bit från väggen var för att det är oklart vilken modell CFAST använde sig av.

F.1.2 Sikt

Massa som förbrukats efter 60 sekunder ges av

$$Q = \Delta H_c \cdot \chi \cdot m \quad (\text{Drysdale 2002, s. 159})$$

$$m = \frac{Q}{\Delta H_c \cdot \chi} = \frac{Q}{\Delta H_{c,eff}}$$

där

$$m = \text{massan [g]}$$

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

$$\Delta H_c = \text{Förbränningsentalpi [kJ/g]}$$

$$\chi = \text{Förbränningseffektivitet [-]}$$

$$\Delta H_{c,eff} = \text{Effektiv förbränningsentalpi}$$

Genom att integrera effektutvecklingskurvan mellan tiden 0 s och tiden 60 sekunder fås den totala energin som har utvecklats under denna tid.

$$\int_0^t \dot{Q} dt = \int_0^{60} \alpha t^2 dt \Leftrightarrow Q = \frac{0,094 \cdot 60^3}{3} = 6800 \text{ kJ}$$

Detta sätts sedan in i ekvationen ovan för att få fram hur stor massa som har förbränts.

$$\Delta H_{c,eff} \approx 15 \text{ kJ/g} \quad (\text{SFPE 3}^{rd} \text{ edition, s. 3-112, table 3-4.14})$$

$$m = \frac{6800}{15} = 453 \text{ g}$$

Efter 60 sekunder har brandgaslagrets höjd sjunkit till 4,36 meter enligt simuleringar i CFast (Bilaga D). Detta innebär att brandgaserna upptar en volym av $(5,5 - 4,36) \text{ m} \cdot 255 \text{ m}^2 = 290,7 \text{ m}^3$, där biografsalongens höjd är 5,5 meter och dess area är 255 m^2

För att få fram rökpotentialen antas det att det är trä som brinner. Detta ger en rökpotential $D_{o,log} = 0,037 \text{ m}^2/\text{g}$ (Karls~~son~~ Quintiere 2000, s. 231, table 9.2) vilket motsvarar enligt den europeiska standarden $D_{o,10log} = 0,37 \text{ obm}^3/\text{g}$.

För att få fram sikten $D_{L,10log}$ i obscura [ob] används formeln

$$D_{o,10log} = D_{L,10log} \cdot \frac{V}{m} \quad (\text{Holmstedt \& Nilsson 2008, s. 57})$$

$$\Rightarrow D_{L,10log} = \frac{m}{V} \cdot D_{o,10log}$$

Detta ger

$$D_{L,10log} = \frac{453}{290,7} \cdot 0,37 = 0,58 \text{ ob}$$

F.2 Scenario 2 – Brand på scen

För scenario två har beräkningar av brandgaslagrets höjd genomförts för att verifiera resultaten från CFast.

F.2.1 Brandgaslagrets höjd

För att kunna verifiera resultaten från CFast för brand på scen gjordes handberäkningar för tiden 40 sekunder, eftersom detta är en tid innan den röksektionerande ridån aktiverades. Brandgaslagret antas under denna tid inte ha hunnit nå den höjd där brandgaserna flödar ut i teatersalongen, alla producerade brandgaser antas därmed vara kvar i scenhuset. Av den anledningen har brandgaslagrets höjd kunnat beräknas med hjälp av formler för brandgasfyllning i stora utrymmen vid icke stationära förhållanden (*Karlsson & Quintiere 2000*, s. 204-209).

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

$$\text{Brandgaslagrets höjd, } z = \left(k \frac{\alpha^{1/3} 2t^{(1+n/3)}}{S(n+3)} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2}$$

$$\text{Brandgasernas densitet, } \rho_g = \rho_a \left(1 - \frac{\alpha t^{n+1}}{(n+1)(H-z)S c_p 353} \right)$$

Beräkningsgång

1. Gissa ρ_g .
2. Beräkna konstanten k .
3. Beräkna z vid en viss tid.
4. Kontrollera ρ_g .
5. Om det gissade ρ_g inte är lika med det beräknade ρ_g börja om på steg 1. Annars är beräkningen färdig.

Genom att lägga in de olika ekvationerna i en formel behövs ingen iteration. Formeln blir:

$$z = \left(\left(\frac{0,21 \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3}}{\rho_a \left(1 - \frac{\alpha t^{n+1}}{(n+1)(H-z)S c_p 353} \right)} \right) \frac{\alpha^{1/3} 2t^{(1+n/3)}}{S(n+3)} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2}$$

$$\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3 \quad c_p = 1,0 \text{ kJ/kgK} \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2 \quad t = 40 \quad H = 9,5 \text{ m}$$

$$S = 11,1 \times 20,7 \text{ m}^2 = 229,8 \text{ m}^2$$

$$n = 2 \text{ (pga att en } \alpha t^2 \text{ brand antagits)} \quad T_a = 293 \text{ K}$$

$$\alpha = 0,0694 \text{ kW/s}^2$$

$$z = \left(\left(\frac{0,21 \left(\frac{1,2^2 \cdot 9,81}{1 \cdot 293} \right)^{1/3}}{1,2 \left(1 - \frac{0,0694 \cdot 40^3}{(2+1)(9,5-z)229,8 \cdot 1 \cdot 353} \right)} \right) \frac{0,0694^{1/3} 2 \cdot 40^{(1+2/3)}}{229,8(2+3)} + \frac{1}{9,5^{2/3}} \right)^{-3/2}$$

$$\Rightarrow z = 8,27 \text{ m}$$

Detta är höjden från branden. Eftersom denna befann sig 1 meter ovanför golvet blir höjden till brandgaslagret $z = 8,27 + 1 = 9,27 \text{ m}$

F.3 Scenario 3 – Brand i mixerbord

För scenario tre har handberäkningar av brandgaslagrets höjd genomförts för att verifiera resultaten från CFast.

F.3.1 Brandgaslagrets höjd

För att kontrollera resultaten från CFast gjordes en handberäkning av brandgaslagrets höjd. I teatersalongen finns brandgasfläktar som trycksätter det undre lagret och brandgasluckor som ventilerar ut brandgaserna i det övre lagret. För att bedöma brandgaslagrets höjd vid stationära förhållanden användes följande ekvationer och beräkningsmetod (*Karlsson & Quintiere 2000*, s. 216-218):

Zukoski's plymmodell:

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

där

\dot{m}_p = massflödet i plymen [kg/s]

ρ_a = luftens densitet [kg/m³]

g = gravitationskonstant [m/s²]

c_p = luftens specifika värmekapacitet vid konstant tryck [kJ/kgK]

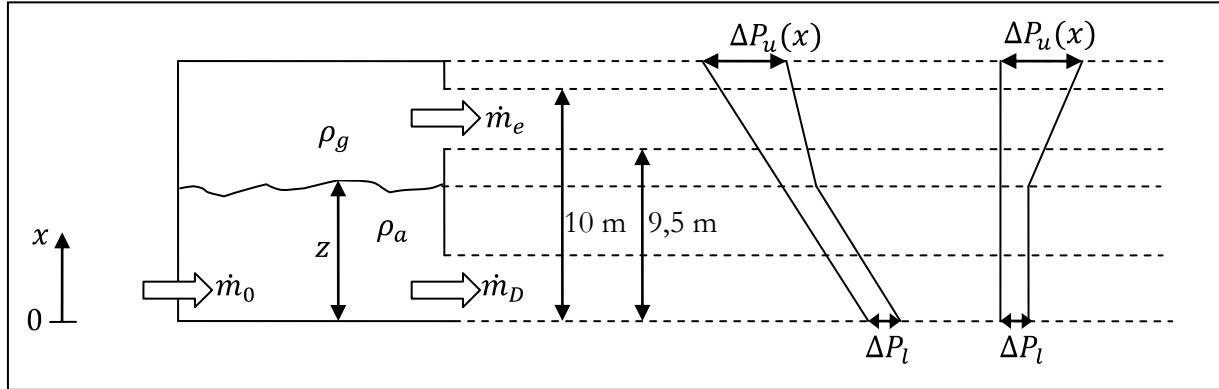
T_a = luftens temperatur [K]

\dot{Q} = brandens effektutveckling [kW]

z = brandgaslagrets höjd relativt branden [m].

Eftersom massflödet ut ur byggnaden sker genom vertikala öppningar varierar tryckskillnaden och därmed flödet ut över öppningens höjd. För tryckprofiler och beteckningar se Figur F.1.

Massflöde ut ur en *vertikal* öppning:



Figur F.1. Flöden och tryckprofiler för vertikala brandgasluckor.

- \dot{m}_0 = massflöde från tilluftsfläkt(ar) [kg/s]
- \dot{m}_D = massflöde ut ur öppningar i undre lagret [kg/s]
- \dot{m}_E = massflöde ut ur öppningar i övre lagret [kg/s]
- z = höjden till brandgaslagret [m]
- $\Delta P_u(x)$ = tryckskillnaden vid höjden x [Pa]
- ΔP_l = tryckskillnaden över nedre öppningen [Pa]
- ρ_g = brandgasernas densitet [kg/m³]
- ρ_a = luftens densitet [kg/m³]

I Röda salongen antogs höjden till övre kanten på brandgasluckorna vara 10 meter och höjden till nedre kanten 9,5 meter. I simuleringarna i CFAST antas branden befinna sig på 1 meters höjd och därför blir höjden till övre kanten från branden 9 meter och till nedre kanten 8,5 meter. $\Delta P_u(x)$ kan då beskrivas som:

$$\Delta P_u(x) = (\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot (x - z) + \Delta P_l$$

(jämför ekvation 8.66 i Karlsson & Quintiere (2000, s. 213))

Hastigheten vid höjden x , $v_e(x)$ [m/s], kan beskrivas som:

$$v_e(x) = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_u(x)}{\rho_g}} \Rightarrow v_e(x) = \sqrt{\frac{2 \cdot ((\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot (x - z) + \Delta P_l)}{\rho_g}}$$

Massflödet ut ur öppningen, \dot{m}_E , vid höjden x kan då beskrivas som:

$$\dot{m}_E(x) = C_D \cdot \rho_g \cdot v_e(x) \cdot A_E = C_D \cdot \rho_g \cdot A_E \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot ((\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot (x - z) + \Delta P_l)}{\rho_g}}$$

där

C_D = flödeskoefficient [-]

ρ_g = brandgasernas densitet [kg/m³]

$v_e(x)$ = hastigheten vid höjden x [m/s]

A_E = totala arean på brandgasluckorna [m²]

Integreras uttrycket med integrationsgränserna 8,5 till 9 meter fås totala massflödet ut ur öppningarna, \dot{m}_E :

$$\dot{m}_E = C_D \cdot \rho_g \cdot A_E \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot ((\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot \int_{8,5}^9 (x - z) dx + \Delta P_l)}{\rho_g}}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_E = C_D \cdot A_E \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_g \cdot \left((\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot \left[\frac{x^2}{2} - x \cdot z \right]_{8,5}^9 + \Delta P_l \right)}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_E = C_D \cdot A_E \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_g \cdot \left((\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot \left(\left(\frac{9^2}{2} - 9 \cdot z \right) - \left(\frac{8,5^2}{2} - 8,5 \cdot z \right) \right) + \Delta P_l \right)}$$

Beräkningsmetoden för att beräkna brandgaslagrets höjd blir då som följer:

1. Gissa ett värde på z .
2. Beräkna plymflödet med Zukoski's plymmodell:

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

3. Beräkna $T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \cdot \dot{m}_p + h \cdot A_w}$ [K] där

T_g = temperaturen i brandgaserna [K]

h = konvektiva värmeövergångstalet för omgivande material [kW/m²K]

A_w = vägg- och takytan som är i kontakt med brandgaserna [m²]

4. Beräkna $\rho_g = \frac{353}{T_g}$ [kg/m³] där

ρ_g = brandgasernas densitet [kg/m³]

5. Beräkna $\Delta P_l = \frac{(\dot{m}_0 - \dot{m}_p)^2}{2 \cdot \rho_a \cdot (C_D \cdot A_D)^2}$ [Pa] där

ΔP_l = tryckskillnaden över den nedre öppningen [Pa]

\dot{m}_0 = massflöde från tilluftsfläkt(ar) [kg/s]

C_D = flödeskoefficient [-]

A_D = totala öppningsarean på tilluften [m^2]

6. Beräkna

$$\dot{m}_E = C_D \cdot A_E \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_g \cdot \left((\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot \left(\frac{9^2}{2} - 9 \cdot z \right) - \left(\frac{8,5^2}{2} - 8,5 \cdot z \right) \right) + \Delta P_l}$$

7. Kontrollera om $\dot{m}_p \approx \dot{m}_e$ vilket medför att beräkningen är klar. Om inte återgå till beräkningssteg 1 och gissa ett nytt värde på z.

Eftersom effektutvecklingen inte var konstant för brandscenario tre, måste brandens effektutveckling approximeras till att vara konstant. Tilluftsfläktarnas flöde var given i ventilationsritningarna till 17,5 m^3/s per fläkt. Två fläktar ger ett totalt massflöde in enligt:

$$\dot{m}_0 = \dot{V}_{fläktar} \cdot \rho_a = (2 \cdot 17,5) \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot 1,2 [kg/m^3] = 42 kg/s \text{ där } \rho_a \text{ enligt tidigare är luftens densitet} = 1,2 kg/m^3.$$

Totala arean på tilluftsöppningarna blir, om brandgaslagrets höjd är över 5,2 meter, lika med arean på dörrarna ut till korridorerna och lobbyn i salongen samt dörrarna ut till korridorerna på balkongen:

$$A_D = 4 [st] \cdot (1,4 \cdot 2,1)[m^2] + 2 [st] \cdot (0,9 \cdot 2,1)[m^2] = 15,54 m^2$$

Totala arean på brandgasluckorna, A_E , var enligt ritning 8 m^2 . Vägg- och takytan som brandgaserna är i kontakt med är beroende av höjden, z, på brandgaslagret. Den kan beräknas enligt:

$$A_W = (H - z) \cdot L_{vägg} + A_{tak} [m^2]$$

där

H = takhöjden relativt branden [m] = 9,5 m

$L_{vägg}$ = väggens omkrets [m] = $2 \cdot 16 + 2 \cdot 17,7 = 67,4 m$

A_{tak} = takets area = $16 \cdot 17,7 = 283,2 m^2$

Följande indata användes i beräkningarna:

Tabell F.1. Indata som användes i handberäkningarna.

<i>Parameter</i>	<i>Värde</i>
\dot{Q}	Varierades med värdena 200, 400, 600, och 800 kW
ρ_a	1,2 kg/m ³
g	9,81 m/s ²
c_p	1,0 kJ/kgK
T_a	293 K (20°C)
h	0,033 kW/m ² K (betong)
\dot{m}_0	42 kg/m ³
C_D	0,6
A_D	15,54 m ²

Med dessa indata fås att $\dot{m}_p \approx \dot{m}_e$ då $z = 8,7$ meter (200 kW), $z = 7,6$ meter (400 kW), $z = 7,1$ meter (600 kW) och $z = 6,8$ meter (800 kW). Eftersom branden befinner sig på en meters höjd blir den handberäknade höjden på brandgaslagret relativt golvnivån mellan 7,8–9,7 meter.

Bilaga G – Känslighetsanalys

En känslighetsanalys syftar till att se hur resultat påverkas vid förändringar av indata och ingångsvärden. Vid riskberäkningar är det nämligen oundvikligt att stöta på osäkerheter och det är därför viktigt att kunna hantera dessa (*Brandskyddshandboken 2005*, s. 183).

De variabler som har undersökts är de som inte är helt entydiga. Dessa variabler har sedan, utöver det mest troliga värdet, beskrivits med ett troligt högsta och ett troligt lägsta värde. En variabel har sedan varierats inom sitt intervall för att se hur den påverkat resultaten. Därefter har en bedömning gjorts om den endast påverkar det förväntade värdet marginellt eller om den behövs studeras vidare.

G.1 Scenario 1 – Brand i papperskorg

Viktiga antaganden som gjorts vid beräkningarna i biografssalong 1 är tillväxthastigheten, maximal effekt, brandens placering samt tillgängliga öppningar. Dessa faktorer är de som huvudsakligen påverkar tiden till kritiska förhållanden. Därför har dessa faktorer valts som variabler vid känslighetsanalysen. Om inget annat anges antas samma förutsättningar råda som i scenario 1, se Bilaga D.

G.1.1 Tid till kritiska förhållanden

I tabellen nedan redovisas tiden till kritiska förhållanden för den antagna branden

Tabell G.1. Tid till kritiska förhållanden, antagen brand.

Utrymme	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]				
		Brandgaslagrets höjd	Temperatur övre lagret	Kritisk sikt övre lagret (10 m)	Acceptabel sikt övre lagret (5 m)	
		Längst upp	Längst ner			
Biografssalong 1	163	50	-	-	80	-
Biografssalong 2*	229	200	-	-	530	-
Sluss	235	75	75	-	120	-

*För låg temperaturstegring för skiktning, två-zonsmodellen ej giltig

G.1.2 Tillväxthastighet

Genom att ändra tillväxthastigheten undersöks hur tiden till kritiska förhållanden påverkas. Den antagna branden har en tillväxthastighet på $0,094 \text{ kW/s}^2$ och motsvarar ungefär en tillväxthastighet *fast* (*Karlsson & Quintiere 2000*, s. 41). För att täcka in hela intervallet undersöks tillväxthastigheter på *ultra fast* och *medium*. Tillväxthastigheten *ultra fast* har växt till 340 kW under 42 sekunder. Därefter har den antagits avsvälva som den antagna branden i 360 sekunder. Tillväxthastigheten *slow* har växt till upp till 340 kW under 168 sekunder. Därefter har den antagits avsvälva som den antagna branden i 400 sekunder. Tiderna till kritiska förhållanden för de olika tillväxthastigheterna redovisas i Tabell G.3 och Tabell G.4.

Ändras tillväxthastigheten ändras även aktiveringstiden av rökdetektorerna, vilka redovisas i Tabell G.2. Varseblivningstiden har antagits till 40 sekunder och som synes i tabellen aktiveras inte utrymningslarmet av rökdetektorerna innan denna tid. Därför ändras inte den beräknade utrymningstiden.

Tabell G.2. Aktiveringstid av rökdetektorer vid variabelvariation.

<i>Ändrad variabel</i>	<i>Aktiveringstid [s]</i>
<i>Ingen</i>	41-72
<i>Tillväxthastighet ultra fast</i>	28-56
<i>Tillväxthastighet medium</i>	158

Tabell G.3. Tid till kritiska förhållanden, tillväxthastighet ultra fast.

<i>Utrymme</i>	<i>Total utrymningstid [s]</i>	<i>Tid till kritiska förhållanden [s]</i>				
		<i>Brandgaslagrets höjd</i>	<i>Temperatur övre lagret</i>		<i>Kritisk sikt övre lagret (10 m)</i>	<i>Acceptabel sikt övre lagret (5 m)</i>
		<i>Längst upp</i>	<i>Längst ner</i>			
<i>Biografsalong 1</i>	163	45	-	-	60	-
<i>Biografsalong 2*</i>	229	230	-	-	590	-
<i>Sluss</i>	235	75	75	-	110	-

*För låg temperaturstegring för skiktning, två-zonsmodellen ej giltig

Tabell G.4. Tid till kritiska förhållanden, tillväxthastighet medium.

<i>Utrymme</i>	<i>Total utrymningstid [s]</i>	<i>Tid till kritiska förhållanden [s]</i>				
		<i>Brandgaslagrets höjd</i>	<i>Temperatur övre lagret</i>		<i>Kritisk sikt övre lagret (10 m)</i>	<i>Acceptabel sikt övre lagret (5 m)</i>
		<i>Längst upp</i>	<i>Längst ner</i>			
<i>Biografsalong 1</i>	163	80	-	-	170	280
<i>Biografsalong 2*</i>	229	230	-	-	480	-
<i>Sluss</i>	235	115	115	-	210	-

*För låg temperaturstegring för skiktning, två-zonsmodellen ej giltig

G.1.3 Maximal effektutveckling

En högre maxeffekt har valts för att undersöka hur tiderna till kritiska förhållanden i biograf-salong 1 och 2 påverkas. Effekten har valts till 3 MW, vilket är den effekt som biograf-salongerna är dimensionerade efter (*Brandskyddsdocumentation 2001-06-05*). Tillväxthastigheten har valts till samma som i den antagna branden. När branden har nått 3 MW antas den vara konstant tills tiden har nått 600 sekunder. Även detta var ett antagande som har använts vid dimensioneringen av biograferna. Tid till kritiska förhållanden redovisas i Tabell G.5.

Tabell G.5. Tid till kritiska förhållanden, maximal effektutveckling 3 MW.

Utrymme	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]				
		Brandgaslagrets höjd		Temperatur övre lagret	Kritisk sikt övre lagret (10 m)	Acceptabel sikt övre lagret (5 m)
		Längst upp	Längst ner			
Biografsalong 1	163	50	185	125	70	105
Biografsalong 2	229	160	300	720	162	200
Sluss	235	75	75	155	105	130

En lägre maxeffekt har också valts för att undersöka hur tiderna till kritiska förhållanden påverkas. Effekten har valts till 100 kW, vilket är den effekt som papperskorgen kan utveckla vid låg fyllningsgrad. Tid till kritiska förhållanden redovisas i tabellen nedan.

Tabell G.6. Tid till kritiska förhållanden, 100 kW.

Utrymme	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]				
		Brandgaslagrets höjd		Temperatur övre lagret	Kritisk sikt övre lagret (10 m)	Acceptabel sikt övre lagret (5 m)
		Längst upp	Längst ner			
Biografsalong 1	163	55	-	-	-	-
Biografsalong 2*	229	230	-	-	-	-
Sluss*	235	90	90	-	-	-

*För låg temperaturstegring för skiktning, två-zonsmodellen ej giltig

G.1.4 Brandens placering

Genom att flytta branden längre upp eller ner i biografsalong 1 undersöks hur dess placering påverkar tiden till kritiska förhållanden. Detta eftersom det fanns papperskorgar placerade från rad 1 upp till rad 8.

Ändras brandens placering ändras även aktiveringstiden för rökdetektorerna, vilka redovisas i Tabell G.7. Som synes i tabellen aktiveras inte utrymningslarmet av rökdetektorerna innan 40 sekunder. Därför ändras inte den beräknade utrymningstiden.

Tabell G.7. Aktiveringstid för rökdetektorer vid variabelvariation.

Ändrad variabel	Aktiveringstid [s]
Ingen	41-72
Placering längst upp	56
Placering längst ner	44-74

När branden placeras längst upp antas dörren ut till slussen bli blockerad. Detta påverkar utrymningen från biografsalong 1 och utrymningen simuleras därför om med att alla personerna utrymmer närmsta vägen till nödutgången. Dörren ut till slussen antas vara stängd under hela brandförloppet. Vid placering längst ner antas dörren till slussen vara öppen likt scenario 1. Tid till kritiska förhållanden redovisas i tabellerna nedan

Tabell G.8. Tid till kritiska förhållanden, brand placerad längs upp, 30 cm från dörr vid vägg.

Utrymme	Total utrymningstid, nödutgång [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]				
		Brandgaslagrets höjd	Temperatur övre lagret	Kritisk sikt övre lagret (10 m)	Acceptabel sikt övre lagret (5 m)	
		Längst upp	Längst ner			
Biografsalong 1	230	50	330	-	80	260
Biografsalong 2	-	-	-	-	-	-
Sluss	-	-	-	-	-	-

Tabell G.9. Tid till kritiska förhållanden, brand placerad längst ner vid vägg.

Utrymme	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]				
		Brandgaslagrets höjd	Temperatur övre lagret	Kritisk sikt övre lagret (10 m)	Acceptabel sikt övre lagret (5 m)	
		Längst upp	Längst ner			
Biografsalong 1	163	45	-	-	85	-
Biografsalong 2*	229	190	-	-	-	-
Sluss	235	75	75	-	130	-

*För låg temperaturstegring för skiktning, två-zonsmodellen ej giltig

G.1.5 Tillgängliga öppningar

Genom att stänga dörren ut till slussen i biografsalong 2 simuleras hur förhållandena ändras i biografsalong 1 och i slussen utifall biografsalong 2 inte utrymmer. Tid till kritiska förhållanden redovisas i tabellen nedan.

Tabell G.10. Tid till kritiska förhållanden, dörr från biografsalong 2 till sluss stängd.

Utrymme	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]				
		Brandgaslagrets höjd	Temperatur övre lagret	Kritisk sikt övre lagret (10 m)	Acceptabel sikt övre lagret (5 m)	
		Längst upp	Längst ner			
Biografsalong 1	163	50	-	-	80	-
Biografsalong 2	229	-	-	-	-	-
Sluss	235	75	75	-	120	-

G.1.6 Ändring av tillväxthastighet vid 3 MW

Ändringen av tillväxthastigheten för 3 MW branden har undersökts för att kunna dra slutsatser om hur en eventuell brand bland biografstolarna kan påverka resultatet. Tillväxthastigheten antas till *medium* och branden antas växa till och ha konstant effektutveckling under 600 sekunder. Dessa värden användes vid dimensioneringen av biografsalongerna. (*Brandskyddsdokumentation 2001-06-05*). Tid till kritiska förhållanden redovisas i tabellen nedan.

Tabell G.11. Tid till kritiska förhållanden, maximal effekt 3 MW och tillväxthastighet *medium*.

Utrymme	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]				
		Brandgaslagrets höjd		Temperatur övre lagret	Kritisk sikt övre lagret (10 m)	Acceptabel sikt övre lagret (5 m)
		Längst upp	Längst ner			
Biografsalong 1	163	80	420	285	170	230
Biografsalong 2	229	230	430	-	310	390
Sluss	235	115	115	330	210	265

G.2 Scenario 2 – Brand på scen

Ett viktigt antagande som har gjorts i scenario två är tillväxthastigheten och den maximala effektutvecklingen på branden. Dessa har stor betydelse för hur snabbt kritiska förhållanden kan tänkas uppstå. Tillväxthastigheten påverkar även aktiveringstiden för rökdetektorer och sprinkler. Aktiveringen av rökdetektorerna startar dessutom brandgasventilationen i teatersalongen. Ett annat viktigt antagande är tiden till stängning av den röksektionerande ridån, som stänger vid rökdetektoraktivering alternativt manuellt utlöst brandlarm.

Ytterligare faktorer som kan tänkas ha betydelse för resultatet är avståndet mellan detektorer och om tekniska installationer som röksektionerande ridå och brandgasventilation inte fungerar. Därför måste även dessa faktorer analyseras.

G.2.1 Tid till kritiska förhållanden

I tabellen nedan redovisas tiden till kritiska förhållanden för den antagna branden.

Tabell G.12. Tid till kritiska förhållanden, antagen brand.

Utrymme	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden, brandgaslagrets höjd [s]
Under balkong	200	-
Salong	205	-
Lobby	270 – 300*	-
Korridor, nere	230 – 285*	-
Korridor, balkong	208 – 225*	-
Balkong	200	-
Scenen	145	200

* Beroende på val av utrymningsväg, se Bilaga E.

G.2.2 Tillväxthastighet

I scenario två valdes tillväxthastigheten till 0,0693 kW/s², vilket motsvarar en tillväxthastighet *fast* enligt Karlsson & Quintiere (2000, s. 41). Det är troligt att tillväxthastigheten varierar beroende på antändningskälla, material och flamspridning. Det har betydelse för flamspridningen om branden startar långt upp eller långt ner på bränslet. Därför varierades tillväxthastigheten mellan *medium* (0,012 kW/s²) och *ultra fast* (0,19 kW/s²) (Karlsson & Quintiere 2000, s. 41). Branden antas tillväxa till samma maximala effekt som innan, 2,7 MW. Tiden det tar för branden att uppnå denna effekt kommer däremot att skilja sig. Avsvälningen antas ske likadant som för den framtagna effektkurvan.

Ändras tillväxthastigheten ändras även aktiveringstiden för rökdetektorerna och sprinklerna. Tiden till rökdetektoraktivering påverkar brandgasventilationen i teatersalongen. Röksektionerande ridå stängs vid manuellt utlöst brandlarm, som har antagits inträffa efter en minut. Som synes i Tabell G.13 påverkar inte rökdetektoraktiveringen stängningen av röksektionerande ridån.

För tillväxthastigheten *medium* aktiverar sprinklerna under tillväxthastigheten och detta kan antas begränsa branden. Därför har effektutvecklingen antagits vara konstant tills det att branden skulle börja avta om ingen sprinkler hade begränsat branden. För tillväxthastigheten *ultra fast* aktiverade inte sprinklern under tillväxtfasen enligt DetactT2. Därför användes även DetactQS, vilket visade att sprinklerna inte aktiverade över huvudtaget. Enligt begränsningarna för DetactQS, se avsnitt 5.5, tas inte hänsyn till ett varmt brandgaslager vid beräkning av aktiveringstider. Därför kan detta resultat att sprinklerna inte aktiverar ifrågasättas, men baserat på resultatet från DetactQS gjordes ett konservativt val genom att inte ta hänsyn till eventuell sprinkleraktivering.

Tabell G.13. Aktiveringstider för rökdetektorer och sprinkler vid olika tillväxthastigheter.

<i>Tillväxthastighet [kW/s²]</i>	<i>Tid till rök-detektor-aktivering [s]</i>	<i>Effekt vid rökdetektor-aktivering [kW]</i>	<i>Tid till sprinkler-aktivering [s]</i>	<i>Effekt vid sprinkleraktivering [kW]</i>
DetactT2				
0,0694	155	1674	220	3507
<i>medium</i> (0,012)	304	1108	459	2528
<i>ultra fast</i> (0,19)	109	2256	155	4564
DetactQS				
0,0694	-	-	211	-
<i>ultra fast</i> (0,19)			Aktiverar inte	Aktiverar inte

I CFast ändrades effektutvecklingen för branden och tiden till aktiveringen för brandgasventilationen efter vilken tillväxthastighet som undersöktes. Resultaten från simuleringarna i CFast visas i Tabell G.14 och Tabell G.15.

Tabell G.14. Tid till kritiska förhållanden, tillväxthastighet medium.

<i>Utrymme</i>	<i>Total utrymnings-tid [s]</i>	<i>Tid till kritiska förhållanden, brandgaslagrets höjd (medium) [s]</i>
<i>Balkong</i>	200	295
<i>Scenen</i>	145	310

Tabell G.15. Tid till kritiska förhållanden, tillväxthastighet ultra fast.

<i>Utrymme</i>	<i>Total utrymningstid [s]</i>	<i>Tid till kritiska förhållanden, brandgaslagrets höjd (ultra fast) [s]</i>
<i>Balkong</i>	200	-
<i>Scenen</i>	145	170

G.2.3 Maximal effektutveckling

I scenario två uppgick den maximala effektutvecklingen till 2,7 MW. Om det sker brandspridning från tygridån till angränsande möblemang eller teaterrekvisita kan den maximala effektutvecklingen tänkas öka. Vilken typ av material tygridån består av skulle även kunna påverka den maximala effekten. Det betyder att effektutvecklingen även skulle kunna tänkas vara mindre.

Branden antas tillväxa med samma hastighet som antogs i scenariot tidigare, det vill säga 0,0694 kW/s². Med anledning av att sprinklerna aktiveras efter 220 sekunder när effekten är 3,5 MW antogs detta värde vara det högsta troliga. Eftersom det är ovisst hur mycket bränsle som är involverat i branden antogs en konstant effekt efter det att sprinklerna aktiveras. En trolig lägsta maximal effekt antogs vara 1,5 MW. Branden antogs därefter avta med samma hastighet som i scenariot tidigare. Detta innebar att rökdetektoraktivering enligt DetactT2 skedde under avsvältningsfasen. Därför är det tveksamt om rökdetektorerna kommer att aktivera och därför gjordes en simulering där brandgasventilationen inte aktiverades. Resultaten från simuleringarna syns i Tabell G.16 och Tabell G.17.

Tabell G.16. Tid till kritiska förhållanden, maximal effektutveckling 3,5 MW.

<i>Utrymme</i>	<i>Total utrymningstid [s]</i>	<i>Tid till kritiska förhållanden, brandgaslagrets höjd (3,5 MW) [s]</i>
<i>Korridor, balkong</i>	208 – 225*	-
<i>Balkong</i>	200	-
<i>Scenen</i>	145	200

* Beroende på val av utrymningsväg, se Bilaga E.

Tabell G.17. Tid till kritiska förhållanden, maximal effektutveckling 1,5 MW.

<i>Utrymme</i>	<i>Total utrymningstid [s]</i>	<i>Tid till kritiska förhållanden, brandgaslagrets höjd (1,5 MW) [s]</i>
<i>Korridor, balkong</i>	208 – 225*	245
<i>Balkong</i>	200	200
<i>Scenen</i>	145	240

* Beroende på val av utrymningsväg, se Bilaga E.

G.2.4 Avstånd mellan rökdetektorer

I scenario två uppskattades avståndet mellan rökdetektorerna till 10 meter, vilket medför att DetactT2 förutsätter en brand på sämsta avståndet relativt detektorerna. Det kan dels vara intressant att se hur ett kortare avstånd mellan branden och detektorerna påverkar resultatet, dels hur ett längre avstånd påverkar. Resultaten av tiden till aktivering redovisas i Tabell G.18.

Tabell G.18. Tid till aktivering för rökdetektorer vid olika avstånd.

<i>Avstånd [m]</i>	<i>Tid till aktivering [s]</i>	<i>Effekt vid rökdetektoraktivering [kW]</i>
10	155	1674
15	194	2606
5	117	947

G.2.5 Aktiva system

Faktorer som kan tänkas ha stor påverkan på resultatet är de aktiva systemen, såsom den röksektionerande ridån och brandgasventilationen. Därför undersöktes vad som händer om dessa är ur funktion. Resultaten syns i Tabell G.19 och Tabell G.20.

Tabell G.19. Tid till kritiska förhållanden vid stängning och ingen stängning av röksektionerande ridå.

<i>Stängning av röksektionerande ridå</i>		
<i>Utrymme</i>	<i>Total utrymningstid [s]</i>	<i>Tid till kritiska förhållanden, brandgaslagrets höjd [s]</i>
<i>Balkong</i>	200	-
<i>Korridor, balkong</i>	208 – 225*	-
<i>Scenen</i>	145	200
<i>Ingen stängning av röksektionerande ridå</i>		
<i>Utrymme</i>	<i>Total utrymningstid [s]</i>	<i>Tid till kritiska förhållanden, brandgaslagrets höjd [s]</i>
<i>Balkong</i>	200	125
<i>Korridor, balkong</i>	208 – 225*	150
<i>Scenen</i>	145	-

* Beroende på val av utrymningsväg, se Bilaga E.

Tabell G.20. Tid till kritiska förhållanden vid fungerande och icke fungerande brandgasventilation.

<i>Fungerande brandgasventilation</i>		
<i>Utrymme</i>	<i>Total utrymningstid [s]</i>	<i>Tid till kritiska förhållanden, brandgaslagrets höjd [s]</i>
<i>Under balkong</i>	200	-
<i>Lobby</i>	270 – 300*	-
<i>Korridor, balkong</i>	208 – 225*	-
<i>Balkong</i>	200	-
<i>Scenen</i>	145	200
<i>Icke fungerande brandgasventilation</i>		
<i>Utrymme</i>	<i>Total utrymningstid [s]</i>	<i>Tid till kritiska förhållanden, brandgaslagrets höjd [s]</i>
<i>Korridor, balkong</i>	208 – 225*	200
<i>Balkong</i>	200	190
<i>Scenen</i>	145	200

* Beroende på val av utrymningsväg, se Bilaga E.

G.3 Scenario 3 – Brand i mixerbord

Ett viktigt antagande som har gjorts i scenario tre är tillväxthastigheten och den maximala effektutvecklingen på branden. Dessa har stor betydelse för hur snabbt kritiska förhållanden kan tänkas uppstå. Tillväxthastigheten påverkar även aktiveringstiden för rökdetektorer. Aktiveringen av rökdetektorerna startar dessutom brandgasventilationen i teatersalongen.

Ytterligare faktorer som kan tänkas ha betydelse för resultatet är avståndet mellan detektorer och om tekniska installationer som brandgasventilation inte fungerar. Därför måste även dessa faktorer analyseras.

G.3.1 Tid till kritiska förhållanden

I tabellen nedan redovisas tiden till kritiska förhållanden för den antagna branden.

Tabell G.21. Tid till kritiska förhållanden, antagen brand.

Utrymme	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	
		Brandgaslagrets höjd	Strålning
Under balkong	200	-	230
Salong	205	-	-
Lobby	270 – 300*	-	-
Korridor, nere	230 – 285*	-	-
Korridor, balkong	208 – 225*	-	-
Balkong	200	155	-

* Beroende på val av utrymningsväg, se Bilaga E.

G.3.2 Tillväxthastighet

I scenario tre antogs att branden startar i mixerbordet och brandspridning sker till fyra stycken angränsande teaterstolar. Brandtillväxten under de första 240 sekunderna, enligt den beräknade brandeffektkurvan (se Bilaga B), var 0,01042 kW/s². Detta värde motsvarar en tillväxthastighet *medium* enligt (Karlsson & Quintiere 2000, s. 41). Brandens tillväxthastighet beror bland annat på antändningskälla, var branden startar och efterföljande flamspridning. Därför varierades tillväxthastigheten mellan *slow* (0,003 kW/s²) och *fast* (0,047 kW/s²) (Karlsson & Quintiere 2000, s. 41). Branden antas tillväxa till samma maximala effekt som innan, cirka 1,1 MW. Tiden det tar för branden att uppnå denna effekt kommer däremot att skilja sig. Avsvalningen antas ske likadant som för den framtagna effektkurvan.

Ändras tillväxthastigheten ändras även aktiveringstiden för rökdetektorerna, se Tabell G.22. Tiden till rökdetektoraktivering påverkar brandgasventilationen i teatersalongen.

Tabell G.22. Aktiveringstider för rökdetektorer vid olika tillväxthastigheter beräknad med DetactT2.

Tillväxthastighet [kW/s ²]	Tid till rökdetektoraktivering [s]	Effekt vid rökdetektoraktivering [kW]
0,01042	166	286
<i>slow</i> (0,003)	263	208
<i>fast</i> (0,047)	99	463

I CFast ändrades effektutvecklingen för branden och tiden till aktiveringen för brandgasventilationen efter vilken tillväxthastighet som undersöktes. Resultaten från simuleringarna i CFast visas i Tabell G.23 och Tabell G.24.

Tabell G.23. Tid till kritiska förhållanden, tillväxthastighet slow.

Utrymme	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden, slow [s]	
		Brandgaslagrets höjd	Strålning
Balkong	200	175	-
Korridor, balkong	208 – 225*	230	-
Under balkong	200	-	420

* Beroende på val av utrymningsväg, se Bilaga E.

Tabell G.24. Tid till kritiska förhållanden, tillväxthastighet fast.

Utrymme	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden, fast [s]	
		Brandgaslagrets höjd	Strålning
Balkong	200	-	-
Korridor, balkong	208 – 225*	-	-
Under balkong	200	-	110

* Beroende på val av utrymningsväg, se Bilaga E.

G.3.3 Maximal effektutveckling

I scenario tre uppgick den maximala effektutvecklingen till cirka 1,1 MW. Beroende på hur många teaterstolar som branden kommer att sprida sig till, kan den maximala effektutvecklingen bli högre eller lägre. Därför undersöktes två fall, ett med en högre maximal effekt och ett med en lägre maximal effekt. Den högre maximala effekten valdes till 3 MW enligt det dimensionerande värdet i Brandskyddsdocumentationen (2001-06-05, s. 6). Branden antogs tillväxa med samma hastighet som antogs i scenariot tidigare, det vill säga 0,01042 kW/s².

Den lägsta maximala effekten valdes till 340 kW, vilket motsvarar maximala effekten då endast mixerbordet brinner. Effektkurvan valdes att motsvara enbart mixerbordets effektutveckling, vilket medförde en något lägre tillväxthastighet. Detta innebar att brandgasventilationen aktiverades i ett senare skede, se Tabell G.25.

Tabell G.25. Aktiveringstider för rökdetektorer vid olika tillväxthastigheter beräknad med DetectT2.

Tillväxthastighet [kW/s ²]	Tid till rökdetektor-aktivering [s]	Effekt vid rökdetektor-aktivering [kW]
0,01042	166	286
mixerbord (0,0059)	204	255

Resultatet från simuleringarna i CFAST visas i Tabell G.26 och Tabell G.27.

Tabell G.26. Tid till kritiska förhållanden, maximal effektutveckling 3 MW.

Utrymme	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden, 3 MW [s]	
		Brandgaslagrets höjd	Strålning
Balkong	200	155	-
Korridor, balkong	208 – 225*	-	-
Under balkong	200	-	230

* Beroende på val av utrymningsväg, se Bilaga E.

Tabell G.27. Tid till kritiska förhållanden, maximal effektutveckling 340 kW.

Utrymme	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden, 340 kW [s]	
		Brandgaslagrets höjd	Strålning
Balkong	200	155	-
Korridor, balkong	208 – 225*	200	-
Under balkong	200	-	-

* Beroende på val av utrymningsväg, se Bilaga E.

G.3.4 Avstånd mellan rökdetektorer

I scenario tre uppskattades avståndet mellan rökdetektorerna till 10 meter, vilket medför att DetactT2 förutsätter en brand på sämsta avståndet relativt detektorerna. Det kan dels vara intressant att se hur ett kortare avstånd mellan detektorerna påverkar resultatet, dels hur ett längre avstånd påverkar. Resultaten av tiden till aktivering redovisas i Tabell G.28.

Tabell G.28. Tid till aktivering för rökdetektorer vid olika avstånd.

Avstånd [m]	Tid till aktivering [s]	Effekt vid rökdetektoraktivering [kW]
10	166	286
15	234	580
5	95	95

G.3.5 Aktiva system

En faktor som kan tänkas ha stor betydelse för resultatet är brandgasventilationen. Därför undersöktes vad som händer om denna är ur funktion. Tid till kritiska förhållanden redovisas i tabellen nedan.

Tabell G.29. Tid till kritiska förhållanden vid stängning och ingen stängning av röksektionerande ridå.

<i>Fungerande brandgasventilation</i>			
Utrymme	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	
		Brandgaslagrets höjd	Strålning
Under balkong	200	-	230
Salong	205	-	-
Lobby	270 – 300*	-	-
Korridor, nere	230 – 285*	-	-
Korridor, balkong	208 – 225*	-	-
Balkong	200	155	-
<i>Icke fungerande brandgasventilation</i>			
Utrymme	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	
		Brandgaslagrets höjd	Strålning
Under balkong	200	360	230
Salong	205	385	-
Lobby	270 – 300*	390	-
Korridor, nere	230 – 285*	465	-
Korridor, balkong	208 – 225*	195	-
Balkong	200	155	-

* Beroende på val av utrymningsväg, se Bilaga E.