

Brandteknisk riskvärdering av Örebro Konserthus

*Patrick Ahlgren
Henrik Karlsson
Daniel Lillienberg
Johan Nilsen*

Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety
Lund University, Sweden

Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Lund 2011



**LUNDS
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

Brandteknisk riskvärdering av Örebro Konserthus

**Patrick Ahlgren
Henrik Karlsson
Daniel Lillienberg
Johan Nilsen**

Lund 2011

Följande rapport är framtagen i kursen Brandteknisk riskvärdering (VBR054) våren 2011. Det huvudsakliga syftet har varit träning i problemlösning och metodik. Rapportens slutsatser och beräkningsresultat har inte kvalitetsgranskats i den utsträckning som krävs för kvalitetssäkring. Rapporten måste därför användas med stor försiktighet. Den som åberopar resultaten i något sammanhang bär själv ansvaret.

Titel/ Title

Brandteknisk riskvärdering av Örebro Konserthus/Fire safety evaluation of Örebro Konserthus

Rapport/Report

9397

Författare/Authors

Patrick Ahlgren, Henrik Karlsson, Daniel Lillienberg, Johan Nilsen

Brandingenjörsprogrammet, Lunds Tekniska Högskola, 2011

Fire Protection Engineering Program, Faculty of Engineering, Lund University, 2011

© Copyright Brandteknik och riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, 2011

Antal sidor/Number of pages

119 (inkl. bilagor/incl. appendices)

Abstract

This report is the final result of a fire safety evaluation of Örebro Concert Hall, with main objective to evaluate the personal safety in event of a fire. Örebro Concert Hall is one of the top event halls in the region. The number of visitors varies depending on the event, but the great concert hall has capacity for over 700 guests. The report is limited to cover the public areas of the building and no concern is taken to neither environmental nor economical consequences of a fire. Three different scenarios have been analyzed; fire in the wardrobe, on the stage and in the Wirén Hall. The results indicated that the egress safety cannot be guaranteed for the visitors at Örebro Concert Hall in neither of the scenarios. A number of proposed measures were therefore presented and validated in order to enhance the safety. Finally a list of requirements were presented. If these requirements are carried through the project group consider the criteria's regarding safe egress from public areas to be fulfilled in Örebro Concert Hall.

Sökord

Brandscenario, brandteknisk riskvärdering, effektutvecklingskurva, FDS, kritiska förhållanden, osäkerhetsanalys, personsäkerhet, riskidentifiering, Simulex, utrymning, utrymningstid, Örebro Konserthus, @RISK, DetactQS.

Key words

Critical conditions, design fire, DetactQS, FDS, egress, fire safety evaluation, fire scenario, heat release rate, personal safety, risk identification, Simulex, uncertainty analysis, Örebro Konserthus, @RISK.

Språk/Language

Svenska/Swedish

Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>
Telefon: 046-222 73 60
Fax: 046-222 46 12

Department of Fire Safety
Engineering and Systems Safety
Faculty of Engineering, LTH
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund, Sweden

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>
Telephone: 046-222 73 60
Fax: 046-222 46 12

Förord

Skrivandet av den här rapporten har varit en utvecklande och intressant resa. Rapportens färdigställande hade inte varit möjligt utan vissa personers hjälp. Författarna vill därför rikta ett varmt tack till samtliga personer som varit hjälpsamma under arbetets gång.

Marcus Abrahamsson – assisterande professor vid Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, för ett gott samarbete och ovärderlig handledning under arbetets gång.

Henrik Alling – gruppchef Brandskyddslaget AB Karlstad, för god mat, ett gott samarbete och givande handledning.

Patrick van Hees – professor vid Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, för ypperlig vägledning och hjälp med FDS-simuleringar.

Jonathan Wahlqvist – doktorand vid Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, för värdefull vägledning och hjälp med FDS-simuleringar.

Rolf Karlsson – förvaltningschef Örebroporten, för att vi fick komma och utvärdera verksamheten.

Håkan Frantzich – universitetslektor vid Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, för hjälp med frågor kring utrymning och riskhantering.

Christian Lund – podieinspicient på Örebro Konserthus, för hjälp med information om byggnaden och personalrutiner.

Lars Jensen – professor installationsteknik LTH, för hjälp med frågor rörande ventilationssystemet.

Gunnar Ellström – driftstekniker Örebroporten, för hjälp med frågor kring brandlarmsystemet.

Ulf Smedberg & Lars-Eric Fallén – Nerikes brandkår, för frågor rörande insatstid och tillsynsarbete.

Sammanfattning

Denna rapport är en brandteknisk riskvärdering av Örebro Konserthus, med syfte att utvärdera personsäkerheten vid händelse av brand. Rapporten är utförd som en del i kursen Brandteknisk Riskvärdering (VBR054) som ges under tredje året på brandingenjörsprogrammet på Lunds Tekniska Högskola. Syftet är att knyta ihop kunskaper och färdigheter från tidigare kurser med nya inom framförallt utrymningssäkerhet.

Örebro Konserthus är ett av traktens ledande evenemangshus och är hemvist för Svenska Kammarorkestern. Det är uppbyggt i fyra plan, varav tre är tillgängliga för besökare. Rapporten har avgränsats till att omfatta de publika delarna i byggnaden. Personantalet varierar beroende på tillställning, men den stora konsertsalen har kapacitet för drygt 700 gäster.

Utvärderingen är en kombination av förenklad och analytisk dimensionering där en deterministisk scenarioanalys utförts och ett antal representativa brandscenarier identifierats. En grovanalys påvisade tretton brandscenarier varav tre valdes ut för vidare analys; brand i garderob, på scen samt i Wirénsalen. Brand- och utrymningsförloppen för de utvalda brandscenarierna modellerades med datorprogram och tid till kritiska förhållanden jämfördes med tid för utrymning.

Den sammanvägda bedömningen visar att utrymningssäkerheten inte kan garanteras besökare i Örebro Konserthus. Vid samtliga analyserade scenarier uppstod kritiska förhållanden innan utrymningen fullbordats. Åtgärdsförslag togs därför fram och validerades. Resultatet blev ett antal åtgärder varav vissa skall genomföras och vissa bör genomföras för att säkerställa personsäkerheten vid händelse av brand. Åtgärderna som skall genomföras är:

- Gör garderoberna brandtekniskt avskilda från entrén.
- Utöka garderobskapaciteten.
- Utforma minst en utrymningsväg till i entrén.
- Ersätt dörruppställare på dörr från Wirénsalen mot trapphus E med magnetupphängning.
- Åtgärda heltäckningsmattan kring den dörr som leder från Wirénsalen mot trapphus B.
- Installera brandgardin i kombination med brandgasventilation på scenen.
- Undvik olämplig placering av material på scenen.
- Täta genomföringar i brandcellsavskiljande vägg mellan scen och bakomliggande utrymme.
- Ändra dörrhängning på dörrarna som leder från trapphus A och B mot utgångarna vid trapphus F och G.
- Ersätt utrymningsskyltar i trapphus A och B på plan 1.

Åtgärderna som bör genomföras är:

- Montera extra vägledande markeringar.
- Omplacera utrymningsskyltar i trapphus A och B på plan 1.
- Ta fram underlag rörande ventilationssystemet.

Om skall-åtgärderna utförs anser författarna att kriterierna angående säker utrymning för publika delar uppfylls i Örebro Konserthus. Bör-åtgärderna ska dock inte bortses från och rekommendationen är att även dessa genomförs för att öka säkerheten ytterligare. Med givna åtgärdsförslag öppnas dessutom möjligheten för en högre publikbelastning även om detta är något som måste utredas vidare.

Summary

This is a fire safety evaluation of Örebro Concert Hall, with aim to evaluate the personal safety in event of a fire. The evaluation is performed as a part of the course Fire Safety Evaluation (VBR054) that is given on the third year at the Fire Protection Engineering Program at Lund University. The intention is to combine knowledge and skills from previous courses with new in particular egress safety.

Örebro Concert Hall is one of the top event halls in the region and is resident for the Swedish Chamber Orchestra. The building is built in four levels of which three are available for the public. The report has been limited to cover the public areas of the building. The number of persons varies depending on the event, but the great concert hall has capacity for over 700 guests.

The evaluation is a combination of prescriptive and performance based design where a deterministic scenario analysis has been done and a number of representative fire scenarios have been identified. A preliminary hazard analysis identified thirteen fire scenarios, of which three were chosen for further analysis; fire in the wardrobe, on the stage and in the Wirén Hall. The fire and egress processes for the selected scenarios are modeled with computer programs and time to critical conditions are compared with time for egress.

The evaluation indicates that the egress safety cannot be guaranteed for the visitors at Örebro Concert Hall, critical conditions occurred before the egress was completed. Proposed measures were therefore presented and validated. This resulted in a number of requirements, some of which must be implemented and some of which should be implemented, to ensure the personal safety in case of a fire. The requirements that must be implemented are:

- Make the wardrobes separated from the entrance.
- Increase the capacity of the wardrobes.
- Create at least one more escape route from the entrance.
- Replace the door holder on the door leading from the Wirén Hall to stairwell E with magnetic suspension.
- Fix the carpet around the door leading from the Wirén Hall towards stairwell B.
- Install a fire curtain in combination with fire gas ventilation on the stage.
- Avoid inappropriate placement of materials on the stage.
- Seal penetrations in the firewall separating the stage and the enclosure behind the stage.
- Change the attachments of the doors that lead from stairwell A and B towards the exits at stairwell F and G.
- Replace the exit signs in stairwell A and B on floor one.

The requirements that should be implemented are:

- Install additional indicative markings.
- Relocate the exit signs in stairwell A and B on floor one.
- Provide information regarding the ventilation systems.

If the requirements that must be implemented are done the authors consider the criteria regarding safe egress from public areas to be fulfilled in Örebro Concert Hall. However the requirements that should be implemented are not to be overseen and the recommendation is that even those are addressed to improve the safety even more. Furthermore the possibility for a higher number of visitors opens up with proposed measures even if this is something that requires further investigation.

Nomenklatur

A	Golvarea [m ²]
A_D	Öppningsarea [m ²]
A_f	Area brännbart material [m ²]
A_w	Brandgasernas omslutningsarea [m ²]
$C_{avsv\ddot{a}lning}$	Avsvälningshastighet [kW/s]
C_D	Turbulensfaktor [-]
c_p	Luftens värmekapacitet [kJ/kgK]
E	Energimängd [MJ]
H	Rumshöjd [m]
ΔH_c	Förbränningsentalpi [kJ/kg]
$\Delta H_{c,eff}$	Effektiv förbränningsentalpi [kJ/kg]
h_k	Värmeövergångstal [W/m ² K]
m	Massa [kg]
\dot{m}	Massavbrinningshastighet [kg/s]
P_1	Tryck i undre zonen [Pa]
Q	Frigjord energimängd [kJ]
\dot{Q}	Effektutveckling [kW]
\dot{Q}''	Effektutveckling per areaenhet [kW/m ²]
T_a	Omgivningstemperatur [K]
T_g	Brandgastemperatur [K]
t	Tid [s]
$t_{f\ddot{o}rberedelse}$	Förberedelse tid [s]
$t_{f\ddot{o}rflyttning}$	Förflyttningstid [s]
$t_{kritisk}$	Tid till kritiska förhållanden [s]
$t_{utrymning}$	Utrymningstid [s]
$t_{v\ddot{a}rseblivning}$	Varseblivningstid [s]
V	Rumsvolym [m ³]
\dot{V}	Volymflöde [m ³ /s]
z	Brandgaslagrets höjd [m]
α	Tillväxthastighet [kW/s ²]
ρ_a	Densitet omgivande luft [kg/m ³]

Innehåll

1	<u>INLEDNING.....</u>	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	SYFTE.....	1
1.3	MÅL.....	1
1.4	AVGRÄNSNINGAR.....	1
1.5	BEGRÄNSNINGAR.....	1
1.6	METOD	2
2	<u>OBJEKTSBESKRIVNING.....</u>	3
2.1	HISTORIK.....	3
2.2	VERKSAMHET.....	3
2.3	PERSONAL.....	4
2.4	BYGGNADEN	4
2.5	VENTILATION.....	6
2.6	BEFINTLIGT BRANDSKYDD	6
3	<u>TILLVÄGAGÅNGSSÄTT.....</u>	9
3.1	SCENARIOMETODIK.....	9
3.2	FÖRENKLAD OCH ANALYTISK DIMENSIONERING	10
3.3	SKYDDSMÅL.....	10
3.4	ACCEPTANSKRITERIUM	10
3.5	UTRYMNING OCH KRITERIER FÖR KRITISKA FÖRHÅLLANDEN.....	10
3.6	HANTERING AV OSÄKERHETER.....	12
4	<u>KRAV ENLIGT BBR.....</u>	17
4.1	BRANDTEKNISK KLASS	17
4.2	BRANDCELLER.....	17
4.3	LARMSYSTEM	17
4.4	UTRYMNINGSVÄGAR	17
4.5	VÄGLEDANDE MARKERINGAR.....	17
4.6	NÖDBELYSNING	18
4.7	FRAMKOMLIGHET.....	18
4.8	SLUTSATS	18
5	<u>UTRYMNING</u>	19
5.1	UTRYMNING FRÅN PUBLIKA LOKALER	19
5.2	UTRYMNING FRÅN ÖVRIGA ICKE PUBLIKA OMRÅDEN	21
6	<u>STATISTIK.....</u>	23
7	<u>RISKIDENTIFIERING</u>	25
7.1	BRANDSCENARIO 1: GARDEROB (PLAN 1)	25
7.2	BRANDSCENARIO 2: NOTBIBLIOTEK (PLAN 1)	25
7.3	BRANDSCENARIO 3: KOPIERINGSRUM (PLAN 1).....	25
7.4	BRANDSCENARIO 4: BRÅTE I KORRIDORER (PLAN 1).....	25

7.5	BRANDSCENARIO 5: WIRÉNSALEN (PLAN 2).....	26
7.6	BRANDSCENARIO 6: REPSALEN (PLAN 2)	26
7.7	BRANDSCENARIO 7: SCENEN (PLAN 2)	26
7.8	BRANDSCENARIO 8: SALONGEN OCH LÅKTAREN (PLAN 2 OCH PLAN 3).....	27
7.9	BRANDSCENARIO 9: FOAJÉ (PLAN 2 OCH PLAN 3)	27
7.10	BRANDSCENARIO 10: LJUD- OCH LJUSRUM (PLAN 2).....	27
7.11	BRANDSCENARIO 11: OMRÅDE BAKOM SCEN (PLAN 2).....	27
7.12	BRANDSCENARIO 12: CAFÉ BRYGGAN (PLAN 3).....	28
7.13	BRANDSCENARIO 13: BASTU (PLAN 3)	28
7.14	RISKMATRIS	29
8	<u>UTFÖRLIGARE BESKRIVNING AV BRANDSCENARIER</u>	31
8.1	SCENARIO 1: GARDEROB	31
8.2	SCENARIO 5: WIRÉNSALEN	32
8.3	SCENARIO 7: SCENEN	33
9	<u>URVAL AV UTRYMNINGSSCENARIER.....</u>	35
10	<u>FDS-SIMULERINGAR</u>	37
10.1	FÖRENKLINGAR OCH ANTAGANDEN	37
10.2	GARDEROB.....	38
10.3	WIRÉNSALEN	39
10.4	SCENEN	40
10.5	VERIFIERING OCH VALIDERING	40
11	<u>RESULTAT INNAN ÅTGÄRDER.....</u>	43
11.1	KRITISKA FÖRHÅLLANDEN	43
11.2	UTRYMNINGSTID	43
11.3	RESULTAT	44
12	<u>OSÄKERHETSANALYS AV RESULTAT INNAN ÅTGÄRDER.....</u>	45
12.1	KRITISKA FÖRHÅLLANDEN	45
12.1	VARSEBLIVNINGSTID	45
12.2	FÖRFLYTTNINGSTID.....	46
12.3	RESULTAT OSÄKERHETSANALYS.....	46
13	<u>FÖRSLAG PÅ ÅTGÄRDER</u>	49
13.1	GARDEROB.....	49
13.2	WIRÉNSALEN	50
13.3	SCENEN	51
13.4	ÖVRIGA ÅTGÄRDSFÖRSLAG	52
14	<u>VALIDERING AV ÅTGÄRDSFÖRSLAG.....</u>	55
14.1	GARDEROB.....	55
14.2	WIRÉNSALEN	56
14.3	SCENEN	56
14.4	ÖVRIGA ÅTGÄRDSFÖRSLAG	58

15	<u>DISKUSSION.....</u>	<u>59</u>
16	<u>SLUTSATS</u>	<u>63</u>
17	<u>LITTERATURFÖRTECKNING.....</u>	<u>65</u>
	<u>BILAGA A – BRANDCELLSGRÄNSER.....</u>	<u>67</u>
	<u>BILAGA B – SPRINKLERSYSTEM KALLVIND.....</u>	<u>69</u>
	<u>BILAGA C – DATORPROGRAM.....</u>	<u>71</u>
	<u>BILAGA D – EFFEKTUTVECKLINGSKURVOR.....</u>	<u>75</u>
	<u>BILAGA E – BRÄNSLEKONTROLLERAD EFFEKTUTVECKLINGSKURVA.....</u>	<u>81</u>
	<u>BILAGA F – VENTILATIONSKONTROLLERAD EFFEKTUTVECKLINGSKURVA.....</u>	<u>83</u>
	<u>BILAGA G – SEMI-KVANTITATIV BEDÖMNING AV GARDEROB.....</u>	<u>87</u>
	<u>BILAGA H – CFAST- SIMULERINGAR.....</u>	<u>89</u>
	<u>BILAGA I – JÄMFÖRELSE MELLAN FDS OCH CFAST.....</u>	<u>93</u>
	<u>BILAGA J – VARSEBLIVNINGSTID/TID TILL DETEKTION.....</u>	<u>97</u>
	<u>BILAGA K – FÖRBEREDELSETID.....</u>	<u>99</u>
	<u>BILAGA L – FÖRFLYTTNINGSTID.....</u>	<u>101</u>
	<u>BILAGA M – VALIDERING AV ÅTGÄRDSFÖRSLAG.....</u>	<u>103</u>
	<u>BILAGA N – INDATAFILER FDS.....</u>	<u>109</u>

1 Inledning

I detta kapitel beskrivs bakgrunden till rapporten samt dess syfte och mål. I grova drag beskrivs även metod, avgränsningar och begränsningar.

Följande rapport är en utvärdering av personsäkerheten vid Örebro Konserthus. Rapporten utgör slutresultatet av ett projektarbete i kursen Brandteknisk riskvärdering (VBR054) vid Lunds Tekniska Högskola våren 2011. Kursen ges under tredje året på brandingenjörsprogrammet och syftar till att knyta ihop kunskaper och färdigheter från tidigare kurser med nya inom framför allt utrymningssäkerhet. Under projektets gång har fyra studenter besökt Örebro Konserthus för att samla underlag till en analys och utvärdering i syfte att avgöra om utrymningssäkerheten är tillfredsställande. Till hjälp har gruppen tilldelats en handledare från Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering samt en handledare från Brandskyddslaget AB.

I rapporten redovisas värden på utdata i vissa fall med skenbart hög precision. Detta är ett medvetet val av författarna och är till för att enklare kunna följa och återskapa resultaten.

1.1 Bakgrund

Örebro Konserthus förvaltas av det kommunala fastighetsbolaget Örebroporten. En förfrågan från brukarna har kommit in huruvida en ökning av personantalet är möjlig och frågan om lämplig publikbelastning i lokalerna har därmed lyfts. Detta motiverar en granskning av hur personsäkerheten i byggnaden står sig i dagsläget.

1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att knyta ihop kunskaper och färdigheter från tidigare kurser med nya inom brandsäkerhet och utrymning och ge insikt i hur dessa kunskaper kan tillämpas för att utvärdera personsäkerheten i en byggnad. Syftet är även att öka det analytiska och ingenjörsmässiga tänkandet samt förmågan att bygga och analysera modeller.

1.3 Mål

Rapportens huvudmål är att utvärdera personsäkerheten i händelse av brand i det givna objektet. I detta ingår att avgöra om utrymning kan ske innan kritiska förhållanden uppstår. Målet är även att presentera lämpliga åtgärdsförslag om kravet på säker utrymning inte uppfylls och på nytt utvärdera personsäkerheten. Målet är vidare att dra generella slutsatser om en eventuell ökning av personantalet i byggnaden är möjlig.

1.4 Avgränsningar

För att rapporten inte skall bli alltför omfattande och hålla sig inom tidsramen för kursen (VBR054) avgränsas den till att omfatta publika utrymnen i Örebro Konserthus. I dessa delar befinner sig ett större antal personer utan god lokalkännedom varför utrymning från dessa områden anses vara intressant att utreda vidare.

Rapporten avgränsas även till att endast utvärdera personsäkerheten vid händelse av brand i byggnaden. Ekonomiska aspekter och miljöaspekter beaktas inte och eventuella åtgärdsförslag presenteras utan hänsyn till kostnad för att införa dessa. Inte heller byggnadens bärförmåga beaktas utan utrymning antas vara avslutad innan risk för kollaps föreligger. Följaktligen studeras endast den tidiga delen av brandförloppet då folk förväntas utrymma på egen hand.

1.5 Begränsningar

Någon kvantitativ analys av brandgasspridning via ventilationssystemet görs inte i denna rapport till följd av att tillräcklig information om ventilationssystemet inte går att erhålla från fastighetsägaren. En kvalitativ beskrivning görs utifrån information från driftskort samt information som erhålls vid platsbesök.

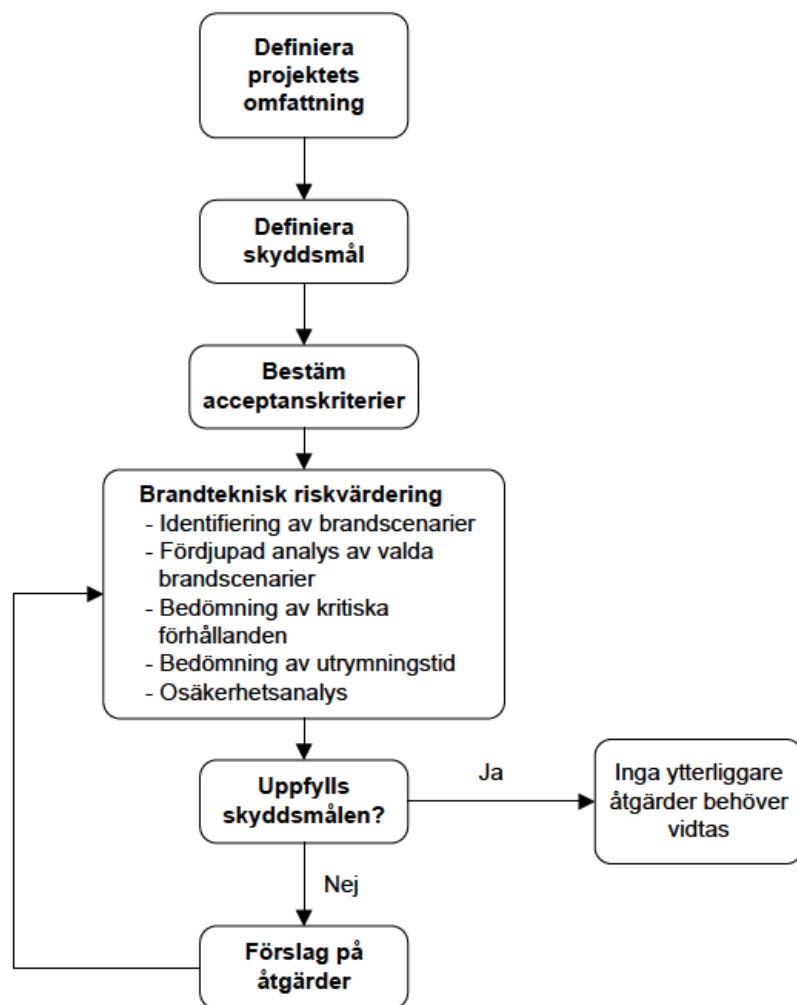
Utrymningstiden baseras på den information om personbelastning och personfördelning i de publika lokalerna som erhålls vid platsbesöket.

1.6 Metod

Projektet inleds med förberedelser och planering av det platsbesök som senare genomförs tillsammans med handledare från Brandteknik LTH och Brandskyddslaget AB. Ritningar granskas och information inhämtas med syfte att få en övergripande bild av objektet. Checklistor samt frågor till personal sammanställs och genomförandet av besöket planeras.

Vid besöket studeras objektet mer ingående och vikt läggs vid att reda ut saker av särskilt intresse för den fortsatta analysen; antal utrymningsvägar och deras placering, brandbelastning, befintligt brandskydd och brister i detta, typ av verksamhet som bedrivs och antal personer som vistas där, personalrutiner med mera. En inventering av dörrar, skyltar och trapphus för samtliga utrymningsvägar genomförs, och slutligen förs en diskussion med handledarna över tänkbara brand- och utrymningsscenarier i anläggningen.

Det efterföljande analysarbetet följer i grova drag den metodik som illustreras i figur 1.1. Projektets omfattning definieras genom lämpliga avgränsningar och målet med analysen fastställs. Vad som menas med säker utrymning, samt acceptanskriterier för kritiska förhållanden, fastställs innan den brandtekniska riskvärderingen genomförs. Troliga brandscenarier identifieras genom grovanalys och ett antal värsta troliga scenarier analyseras vidare. För dessa bestäms effektutvecklingskurvor och därefter tid till kritiska förhållanden. Utrymningstiden bestäms och jämförs med tid till kritiska förhållanden. Om skydds målet inte uppfylls ges förslag på lämpliga åtgärder och utvärdering påbörjas på nytt. Detta kan ses som en form av validering av förslagen.



Figur 1.1. Flödesschema över den metodik som används i rapporten.

2 Objektsbeskrivning

I detta kapitel beskrivs byggnadens historik och verksamhet samt dess planlösning och utformning.

2.1 Historik

Örebro Konserthus började byggas år 1930 och invigdes år 1932 av Prins Eugen, hertig av Närke. Byggnaden är ritad av stadsarkitekten Georg Arn och är numera listad som kulturhistoriskt skyddsvärd¹. Under byggnadens första tid, fram till år 1981, inrymdes Örebro stadsbibliotek i huset. En renovering och tillbyggnad utfördes därefter och år 1986 återinvigdes byggnaden i form av Örebro Konserthus², se bild 2.1. Örebro Konserthus är beläget intill Svartån i centrala Örebro.



Bild 2.1. Till vänster: Örebro Konserthus år 1940 innan renovering och tillbyggnad (Foto: Örebro stadsarkiv/Sam Lindskog). Till höger: Konserthuset år 2011 (Foto: Patrick Ahlgren).

2.2 Verksamhet

I Örebro Konserthus bedrivs verksamhet året runt. Det är ett av regionens största evenemangshus och det är också hemvist för Svenska Kammarorkestern. Varje år anordnas mer än 160 olika evenemang i byggnaden (Örebro Konserthus, 2011). Utöver konserter anordnas även andra tillställningar; allt från skolföreläsningar till konferenser och föredrag. Den stora konsertsalen, som visas i bild 2.2, har plats för 724 sittande gäster. I anslutning till Konsertsalen finns Wirénsalen och Repsalen som används till servering i pauser samt enskilda evenemang. Örebro Konserthus har utskänkningstillstånd och i föreställningspauser kan det förekomma servering i Wirénsalen, Repsalen och entrén³.

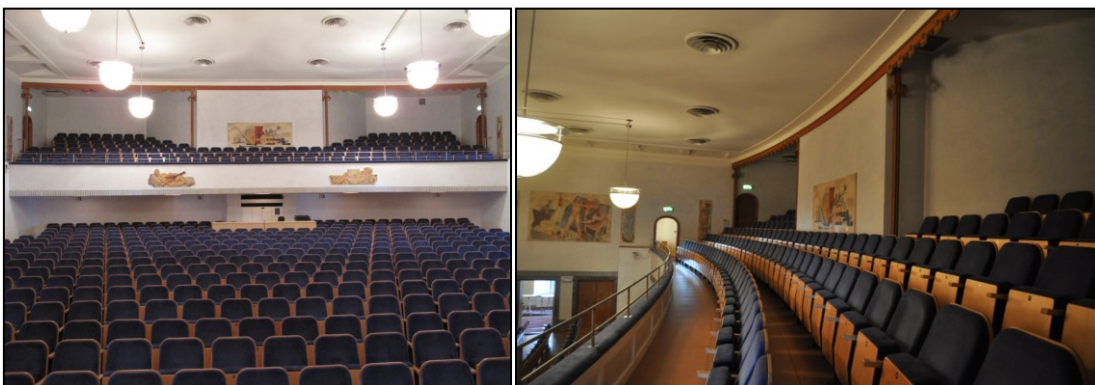


Bild 2.2. Till vänster: vy över Konsertsalen från scenen. Längst bak skymtas teknikerbåset. Till höger: läktaren sedd från sidan (Foto: Henrik Karlsson).

¹ Byggnadsnämnden Örebro kommun, telefonkontakt 2011-05-03

² Informationstavla Örebro Konserthus, platsbesök 2011-02-04

³ Christian Lund, Podieinspicient Örebro Konserthus, platsbesök 2011-02-04

2.3 Personal

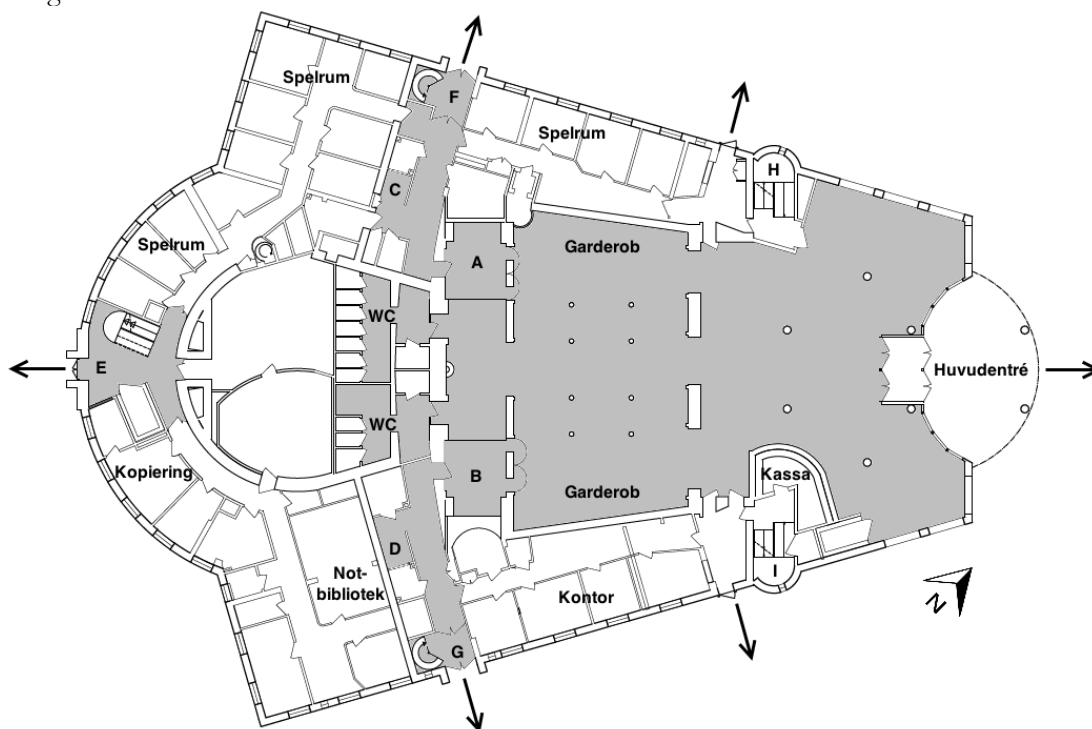
Vid föreställningar i Konsertsalen arbetar minst tio personer med olika uppgifter utspridda i entrén, teknikerbås, ljud- och ljusrum samt område bakom scen. Under normal kontorstid jobbar även administrativ personal i Konserthuset⁴.

2.4 Byggnaden

Örebro Konserthus är uppbyggt i fyra plan samt ett mindre källarutrymme. Byggnadens geometri är komplex med välvda väggar och olika takformationer. Många korridorer och passager sammanbinder byggnaden på de olika våningsplanen. Plan 1-3 är tillgängliga för besökare medan plan 4 och källaren enbart är tillgängliga för personal. Totalt finns nio stycken trapphus som förbinder de olika våningsplanen, i fortsättningen benämns dessa som trapphus A, B, C, D, E, F, G, H och I. Dessa finns utmärkta i figur 2.1-2.3.

2.4.1 Plan 1

När besökare kommer in via huvudentrén möts de av en kassa, loungeavdelning med bord och stolar samt garderob. Totalt finns två stycken garderob, en på vardera sidan av entrén. Längst in i entrén finns två trapphus, A och B, som leder vidare upp mot plan 2 samt toaletter. På plan 1 finns även ett antal kontor och spelrum för musiker, dessa utrymmen är endast tillgängliga för personal och andra behöriga. Totalt finns det sex stycken utgångar direkt ut till det fria från plan 1, se figur 2.1.



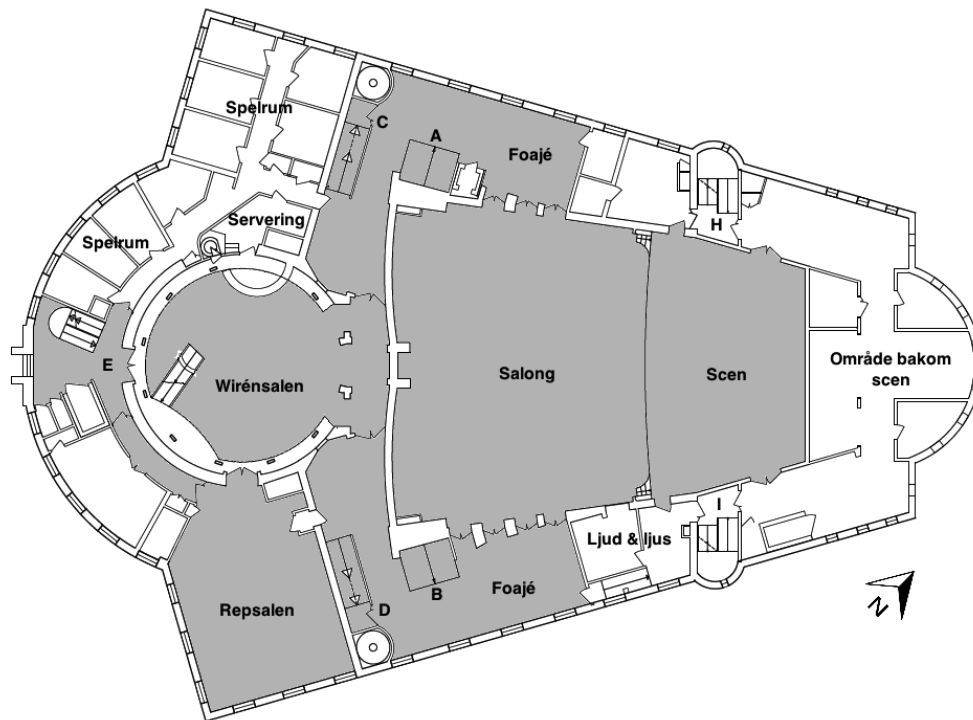
Figur 2.1. Planritning över plan 1 med trapphus och utgångar utmärkta. Publika delar är gråmarkerade.

2.4.2 Plan 2

På plan 2 bedrivs största delen av den publika verksamheten. Konsertsalen med tillhörande scen, Wirénsalen och Repsalen är alla belägna på detta plan. Konsertsalen är öppen upp till plan 3 där en läktardel kompletterar med fler sittplatser. Totalt har de båda, salongen och läktaren, kapacitet för 724 sittande gäster. Scenen inrymmer upp till 300 personer beroende på föreställning. Sittplatsdelen i salongen lutar och därunder finns ett tomt utrymme med några decimeters höjd⁴. Wirénsalen är belägen under kupolen som kan ses i bild 2.1 och den har kapacitet för cirka 150 personer. Salen är cirkulär och den sträcker sig via ett flertal balkonger ända upp till kupolens tak. Även Repsalen har kapacitet för cirka 150 personer.

⁴ Christian Lund, Podieinspicient Örebro Konserthus, platsbesök 2011-02-04

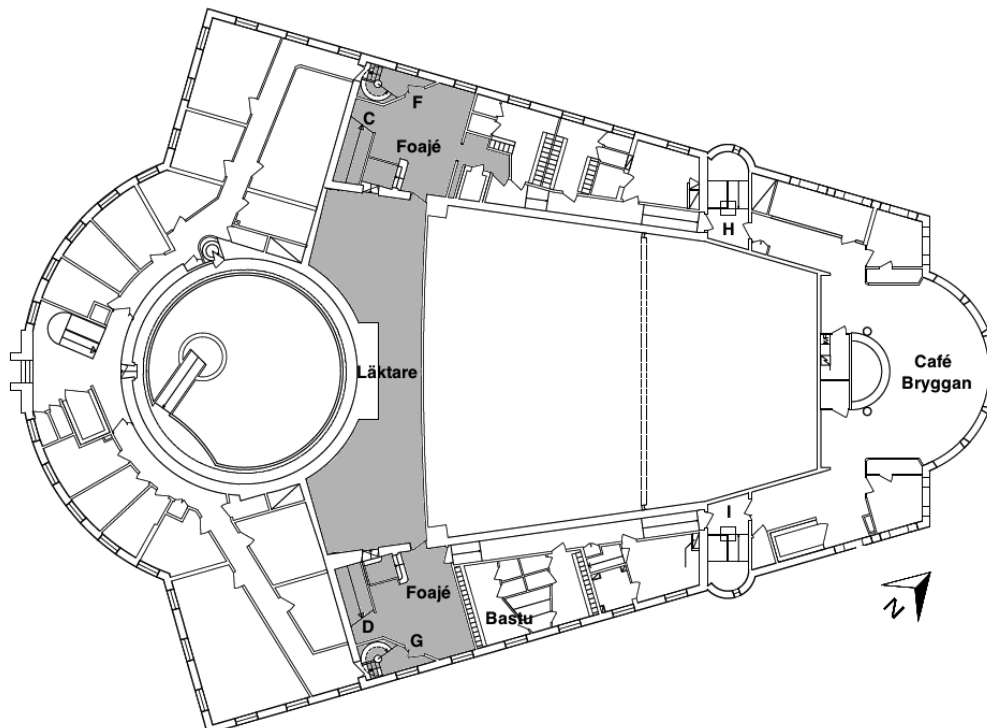
Övriga utrymmen på plan 2 består av ett antal spelrum för musiker, ett ljud- och ljusrum beläget intill scenen samt avställningsplats för instrument och materiel bakom scenen. Dessa utrymmen är endast tillgängliga för personal och behöriga, se figur 2.2.



Figur 2.2. Planritning över plan 2 med trapphus utmärkta. Publika områden är gråmarkerade.

2.4.3 Plan 3

Publika utrymmen på plan 3 utgörs dels av foajéer, dels av Konsertsalens läktare, se bild 2.2. Resterande del är personalutrymmen och de består av ett antal spelrum för musiker, omklädningsrum, bastu och motionsrum samt personalens eget café med tillhörande kök, Café Bryggan. Planritning ses i figur 2.3.



Figur 2.3. Planritning över plan 3 med trapphus utmärkta. Publika utrymmen är gråmarkerade.

2.4.4 Plan 4

På plan 4 finns en kallvind samt tre stycken fläktrum. Utrymmena är endast tillgängliga för personal och behöriga.

2.4.5 Källarplan

Källarplanet är tillgängligt från utsidan av byggnaden och här finns delar av ventilationssystemet placerat. Utrymmena är endast tillgängliga för personal och behöriga.

2.5 Ventilation

Byggnaden ventileras med ett så kallat FTX-system vilket innebär att tilluft och frånluft är separerade i olika kanalsystem. Kanalerna är sammanbundna i värmeväxlare där värmeåtervinning sker mellan tilluft och frånluft. I byggnaden finns tilluftsaggregat placerade i källarplan, på plan 4 samt på taket. Frånluftsfläktar finns på alla plan.

Underlag för bedömning av brandgasspridning i objektets ventilationssystem är tyvärr bristfällig då ventilationsritningar inte kan erhållas. Inte heller drift- och underhållsuppgifter kan uppvisas men utifrån driftkort kan dock vissa slutsatser dras. Ventilationskanalerna går genom brandcellsgränser och våningsplan. Om branddetektor påvisar brand stoppas fläktar via rökdetektorcentralen samtidigt som brandgasspjäll stänger. Vid brand i Konsertsalen öppnar även några tidigare stängda spjäll med syftet att leda ut brandgaserna utan risk för spridning.

2.6 Befintligt brandskydd

Örebro Konserthus har brandskydd i form av aktiva och passiva system. Information om respektive system följer.

2.6.1 Brandcellsgränser

Byggnaden är indelad i ett antal brandceller. Indelningen illustreras i bilaga A.

2.6.2 Brandlarmsystem

Brandlarmsystemet är adresserbart och sektionindelad. Vissa sektioner kan stängas av med timer i centralapparaten. Ett undantag är sektionen som Konsertsalen tillhör vars timer aktiveras från ljud- och ljusrummet. Möjlighet till larmlagring finns, men denna funktion är inte aktiverad. Centralapparaten är placerad i trapphus H på plan 1. Brandförsvarstablåer finns placerade i trapphus I (plan 1), ljud- och ljusrum samt i teknikerbåset.

2.6.2.1 Detektionssystem

De typer av detektorer som används är rökdetektorer och värmedetektorer. Vanligast förekommande är optiska ljusspridningsdetektorer som finns utplacerade i allmänna utrymmen som entrén, foajéer och Repsalen. Optiska linjerökdetektorer används i Konsertsalen och Wirénsalen. Värmedetektorer finns placerade på toaletter, i luftslussen vid entrén samt andra utrymmen där risk för fellarm med rökdetektor är stor.

2.6.2.2 Utrymningslarm

Utrymningslarmet består av akustiska larmdon som aktiveras vid detektion av brand i alla lokaler, förutom Konsertsalen. I Konsertsalen aktiveras larmdonen manuellt av personal, efter beslut om utrymning. Detta föregås av ett talat meddelande till publiken enligt ett fastslaget manus. Vanligtvis är podieinspicienten ansvarig för detta via delegation från ledningen⁵.

2.6.3 Brandgasspridning via ventilationssystem

Brandgasspjäll som stänger vid detektion av brand förekommer men deras exakta position är ej känd, vilket beskrivs i avsnitt 2.5. Överlag saknas tillfredställande information rörande ventilationssystemet.

⁵ Christian Lund, Podieinspicient Örebro Konserthus, platsbesök 2011-02-04

2.6.4 Brandgasventilation

I trapphus E, H och I förekommer brandgasventilation i form av luckor lokaliserade högst upp. Dessa luckor kan inte förväntas öppna i en brands initiala skede då de kräver nyckel för att manövreras. Först när räddningstjänsten anländer kan de öppnas. Manövrering sker på plan 1 i respektive trapphus. Även på kallvinden förekommer brandgasventilation där luckan är magnetupphängd och öppnas med hjälp av en knapp längst upp i trapphus I.

2.6.5 Släcksystem och släckutrustning

I byggnaden finns handbrandsläckare samt fast monterade brandposter. På kallvinden finns ett aktivt släcksystem i form av sprinkler. Detta behandlas dock ej vidare då fokus i rapporten är på utrymnings säkerhet i de underliggande planen. En kvalitativ beskrivning av sprinklersystemet finns i bilaga B.

2.6.6 Systematiskt brandskyddsarbete

En gång per termin sker en säkerhetsgenomgång för samtlig personal i Konserthuset. Vid genomgången informeras personalen om allmänna säkerhetsrutiner samt deras specifika uppgifter vid brandtillbud i byggnaden. Målsättningen är att samtlig personal skall ha god kunskap om sina uppgifter och snabbt kunna agera vid händelse av brand i byggnaden. Exempelvis ansvarar podieinspicienten för att informera besökare om att Konsertsalen skall utrymmas och biljettvaktmästarna för att lotsa ut personer. De senare ansvarar även för att kontrollera säkerheten innan föreställningar enligt en fastställd checklista. Nyanställd personal får även genomgå en kort säkerhetsutbildning⁶.

2.6.7 Räddningstjänst

För Örebro Konserthus har Nerikes Brandkår en insatstid på tio minuter. Någon insatsplan för objektet finns inte. Under de senaste tio åren har åtta automatlarm (ej brand) registrerats i byggnaden⁷. Denna rapport fokuserar på det initiala skedet i en brand och räddningstjänst antas därför inte vara behjälplig.

⁶ Christian Lund, Podieinspicient Örebro Konserthus, platsbesök 2011-02-04

⁷ Ulf Smedberg, vice Brandchef Nerikes Brandkår, skriftlig kommunikation 2011-02-01

3 Tillvägagångssätt

I detta avsnitt presenteras de metoder som används för att analysera personsäkerheten i Örebro Konserthus vid händelse av brand. Även en definition av skyddsmål och acceptanskriterier samt hur osäkerheter hanteras redovisas. Avsnitt 3.6, Hantering av osäkerheter, kan läsas kursivt.

3.1 Scenariometodik

I rapporten används en så kallad scenarioanalys vilket är en deterministisk metod. Riskidentifieringen utgör grunden till scenarioanalysen och gestaltas i rapporten genom en grovanalys. Genom att utgå från nedanstående frågor tas väsentlig information för scenarierna fram:

- Vilken verksamhet bedrivs i byggnaden eller lokalen?
- Hur många personer vistas i byggnaden eller lokalen?
- Vilka utrymningsmöjligheter finns och kvaliteten på dessa?
- Finns det ansamling av material som leder till ett snabbt brandförlopp?
- Finns det ansamling av material som innebär hög brandbelastning?
- Vilka troliga brandförlopp kan identifieras?
- Hur stor är risken för brandgasspridning?

(Davidsson, Haeffler, Ljungman, & Frantzich, 2003)

3.1.1 Grovanalys

Riskidentifieringen syftar till att mynna ut i ett antal bränder som sedan utreds vidare i resten av rapporten. Det är viktigt att så många risker som möjligt identifieras och analyseras eftersom ett icke identifierat brandscenario inte täcks in i analysen. Det kan uppstå ett otal tänkbara bränder i Konserthuset och därför måste en metodik användas för att bryta ned dessa i ett antal representativa bränder. Den kvalitativa metoden PHA (Preliminary Hazard Assessment), även kallad grovanalys, används för detta ändamål.

Grovanalys är en kvalitativ metod för att identifiera och rangordna olika riskscenarier mot varandra. Rangordningen sker genom att skatta en sannolikhet och en konsekvens till varje riskscenario. Brandscenarierna identifieras och skattas utifrån rådande förhållanden vid platsbesök i byggnaden samt statistik från MSB för bränder i liknande lokaler. I många fall är tillgången till statistik begränsad och måste då kompletteras med författarnas subjektiva bedömningar. Utifrån grovanalysen skapas en riskmatris som används som underlag till att välja ut bränder för vidare analys.

3.1.1.1 Bedömning av sannolikhet och konsekvens

Sannolikhet och konsekvens skattas på en femgradig skala enligt *Handbok för riskanalys* (Davidsson, Haeffler, Ljungman, & Frantzich, 2003). Skalan finns översatt i tabell 3.1. Sannolikheterna bestäms med hjälp av statistikunderlag för liknande byggnader samt författarnas egna bedömningar. Ingen hänsyn tas till anlagda bränder då detta innebär alltför stora spekulationer. Konsekvenserna är en subjektiv uppskattning av brandscenariernas potential att påverka personsäkerheten. De olika skattningarna rangordnas i förhållande till varandra och inga absoluta mått sätts på skalan. En hög skattning innebär därmed en hög sannolikhet/konsekvens relativt de andra scenarierna.

Tabell 3.1. Tabellen beskriver hur sannolikhet och potentiell konsekvens bedöms.

	Sannolikhet	Konsekvens
1	Osannolik	Försumbar
2	Låg	Låg
3	Medel	Medel
4	Hög	Hög
5	Mycket hög	Mycket hög

3.2 Förenklad och analytisk dimensionering

Enligt Boverkets byggregler (BBR) finns olika sätt att dimensionera brandsäkerheten i byggnader; förenklad dimensionering, analytisk dimensionering eller en kombination av båda. Förenklad dimensionering innebär att Boverkets regler följs till punkt och pricka och är följaktligen en definition på vad som anses säkert. Analytisk dimensionering innebär att funktionskraven i Boverkets byggregler uppfylls på annat sätt än i de allmänna råden och det används bland annat vid mer komplexa byggnader.

I denna utvärdering används en kombination av ett förenklat och ett analytiskt tillvägagångssätt.

3.3 Skyddsmål

Skyddsmålet i denna rapport är att ingen person befinnandes i Örebro Konserthus ska utsättas för kritiska förhållanden i händelse av brand. Huvudfokus i rapporten ligger på personsäkerheten i de publika delarna av byggnaden.

3.4 Acceptanskriterium

Acceptanskriteriet i denna rapport är att säker utrymning ska kunna ske för samtliga studerade scenarier. Brandskyddet anses således endast vara acceptabelt då ingen människa utsätts för kritiska förhållanden vid händelse av brand.

3.5 Utrymning och kriterier för kritiska förhållanden

Enligt paragraf 5:31 i Boverkets Byggregler (BBR) ska ”byggnader utformas så att tillfredsställande utrymning kan ske vid brand”. Med det menas att samtliga personer som befinner sig i en byggnad ska hinna utrymma ut ur byggnaden, vid händelse av brand, eller förflytta sig till en säker flyktplats innan kritiska förhållanden uppstår (Boverket, 2008).

3.5.1 Kritiska förhållanden

För att säkerställa personsäkerheten bör utrymning ske tidigt i brandförloppet. Omgivande förhållanden får inte bli sådana att kritiska förhållanden överskrids. Med kritiska förhållanden menas ett antal gränsvärden för olika parametrar som utgör vad en person maximalt bör utsättas för i en utrymningssituation. De värden som bör beaktas vid värdering av kritiska förhållanden är siktbarhet, brandgaslagrets höjd, värmestrålning, temperatur, giftiga gaser samt kombinationer av dessa. Boverket har tagit fram följande gränsvärden:

Siktbarhet: För tillfredsställande utrymning krävs tio meter i sikt i okänd miljö eller fem meter i känd miljö.

Brandgaslagrets höjd: Höjden upp till brandgaslagret från golvet bör inte understiga $1,6 + 0,1 \cdot H$ meter, där H är rumshöjden.

Värmestrålning: Utrymnande personer bör inte utsättas för en strålningsintensitet som överstiger $2,5 \text{ kW/m}^2$ eller en maximal kortvarig strålningsintensitet på maximalt 10 kW/m^2 . Förutom det bör personer i en utrymningssituation inte utsättas för en strålningsenergi på över 60 kJ/m^2 utöver bakgrundsstrålningen på 1 kW/m^2 .

Temperatur: Temperaturen bör inte överstiga $80 \text{ }^\circ\text{C}$ i vistelsezonen.

Det räcker att ett av dessa kriterier överskrids för att utrymningsförhållandena ska räknas som kritiska (Boverket, 2008).

Brandskyddshandboken (Bengtsson, et al., 2005) kompletterar även Boverkets gränsvärden med värden angående toxicitet. Det är viktigt att personer i en utrymningssituation inte utsätts för skadliga halter av toxiska brandgaser. De ämnen som anses räcka att ta i beaktande är koldioxid

(CO₂), kolmonoxid (CO) samt syre (O₂). Följande halter anger en miljö där säker utrymning kan utföras:

Toxicitet:	CO < 2000 ppm
	CO ₂ < 5 %
	O ₂ > 15 %

Enligt *Brandskyddshandboken* (Bengtsson, et al., 2005) sammanfaller ofta toxicitetskriteriet med det för brandgaslagrets höjd. Vid beräkningar undersöks därför endast parametern brandgaslagrets höjd av dessa två.

3.5.2 Utrymningstid

För att en tillfredsställande utrymning ska ske måste utrymningstiden understiga tiden det tar tills kritiska förhållanden uppstår. Tiden för utrymning kan delas upp i tre faser:

- Varseblivning
- Förberedelse (beslut och reaktion)
- Förflyttning

Summan av tiderna för de tre faserna ska vara mindre än tiden tills kritiska förhållanden inträffar. Detta kan beskrivas med ekvation 1.

$$t_{kritisk} > t_{varseblivning} + t_{förberedelse} + t_{förflyttning} \quad (1)$$

Det vill säga

$$t_{kritisk} > t_{utrymning}$$

(Boverket, 2006)

3.5.2.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden är den tid det tar för en person att upptäcka att något onormalt har inträffat. Tiden varierar från fall till fall beroende på om personen ifråga ser branden eller inte. Faktorer som påverkar tiden är bland annat aktiva system, byggnadens utformning, vilka personer som vistas i byggnaden samt vilken relation de har till varandra (Boverket, 2006).

Om ett automatiskt brandlarm med tillhörande utrymningslarm finns tillgängligt i lokalen är varseblivningstiden förhållandevis lätt att uppskatta. Den teoretiska aktiveringstiden för en detektor kan beräknas med hjälp av datorprogram, exempelvis DetactQS eller DetactT2, och den tiden kan sedan användas som varseblivningstid. Varseblivningstiden kan variera mellan några få sekunder till flera minuter beroende på var branden startar och någon generell rekommendation finns därför inte (Boverket, 2006).

3.5.2.2 Förberedelsetid

Förberedelsetid, tidigare kallat besluts- och reaktionstid, är tiden det tar för en person att förstå att det brinner, lyssna på utrymningslarm, förbereda sig, hjälpa andra med mera. Faktorer som påverkar tiden är bland annat typ av verksamhet, utrymningslarm, personal, personliga egenskaper och sociala relationer. Förberedelsetiden är den fas som är svårast att uppskatta då den ej går att räkna ut. Istället är utgångspunkten olika experiment och litteratur som finns tillgänglig, vilket medför att förberedelsetiden ofta är förknippad med stora osäkerheter⁸.

3.5.2.3 Förflyttningstid

Förflyttningstid är den tid det tar för en person att förflytta sig ut ur lokalen. Faktorer som påverkar är bland annat byggnadens utformning, belysningsnivå och utrymningsskyltar, antal utgångar och

⁸ Håkan Frantzich, Universitetslektor vid avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Föreläsning – Utrymning och människors beteende 2011-01-18

dess bredd, antal personer och deras fördelning samt personliga egenskaper. Det finns ett antal metoder för att beräkna förflyttningstiden, antingen med handberäkningar eller med hjälp av datorprogram (Boverket, 2006). Exempel på datorprogram som kan användas är Simulex, STEPS, Exodus samt ERM (Nilsson, 2007).

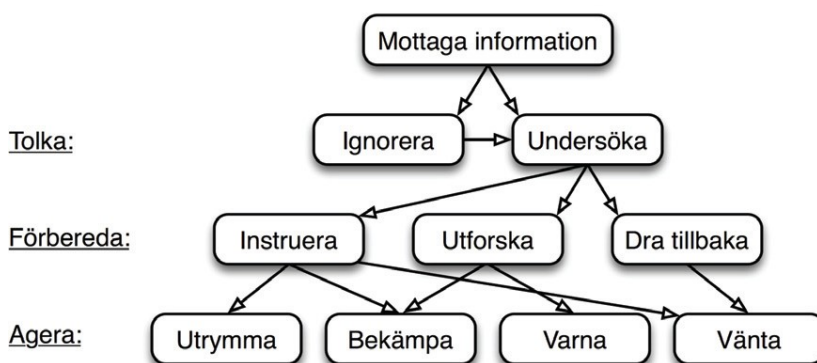
3.5.3 Människors beteende vid brand

Utrymning är för de flesta en främmande händelse som är förknippat med stress och osäkerheter. Flera olika faktorer påverkar hur personer upplever och agerar i situationen. Det finns inget klart sätt att beskriva vad som sker under utrymningen men ett antal generella observationer har gjorts efter inträffade bränder och olika experiment. Liksom utrymningstiden delas upp i tre faser kan en persons beteendemönster vid en nödsituation göra detsamma. Dessa tre faser är mycket snarlika utrymningstidens faser och de är:

- Tolka
- Förbereda
- Agera

Alla beslut som tas under en utrymningssituation passerar genom dessa tre faser. Vilka beslut som tas av personen ifråga bestäms bland annat av sociala relationer. Ofta förväntar sig människor att en auktoritet på plats ska ta befälet och problem kan uppstå om denna person är oförmögen till att göra detta. Detta gör att en persons agerande varierar beroende på situationen (Frantzich, 2001). Man brukar skilja på två typer av social påverkan; informatiell respektive normativ. Informatiell social påverkan kännetecknas av att personer söker information från andra människors beteenden. Normativ social påverkan karakteriseras av att personen ifråga inte vill vara annorlunda och grundar sina beslut därefter⁹.

Det tidiga skedet i en utrymningssituation kännetecknas ofta av osäkerhet, ineffektivitet och missförstånd. Vanligt är att personerna försöker inhämta information om vad som har hänt och därefter beslutar sig för att agera. En generell modell för detta mänskliga beteendemönster vid brand illustreras i figur 3.1.



Figur 3.1. Generell modell över människors beteende vid brand (Nilsson, 2006).

3.6 Hantering av osäkerheter

Denna rapport utreder analytiskt personsäkerheten i byggnaden genom en typ av deterministisk riskanalys. Deterministisk riskanalys kallas även scenarioanalys och innebär att ett fåtal representativa scenarier analyseras för att undersöka dess konsekvenser. Scenarierna ska i möjligaste mån täcka in hela utrymningssituationen/problematiken i byggnaden och utgöra en representativ bild av verkligheten (Bengtsson, et al., 2005). Under genomförandet av en riskanalys finns det flera nivåer av osäkerheter som måste beaktas och inte minst redovisas för att styrka analysens trovärdighet. I slutet av rapporten görs därför en osäkerhetsanalys för att på bästa sätt klarlägga hur osäkerheterna i analysen påverkar dess resultat och de rekommendationer som ges.

⁹ Daniel Nilsson, biträdande universitetslektor vid avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Föreläsning – Bränder och människors beteende 1, 2011-02-11

En vanlig metod som används för att dela upp osäkerheterna presenteras i en artikel av Paté-Cornell (1996) där de beskrivs som antingen stokastiska eller epistemiska. Stokastiska osäkerheter beror på naturlig variation och kan inte reduceras genom att utföra fler undersökningar. Epistemiska osäkerheter kallas även kunskapsosäkerheter och kan minskas genom ytterligare undersökningar. Dessa osäkerheter delas här upp i tre kategorier:

- Modellosäkerhet
- Osäkerhet i indata
- Analysens täckningsgrad

3.6.1 Modellosäkerhet

Modeller ämnar beskriva verkligheten så bra som möjligt men på ett förenklat sätt. Därför uppstår det osäkerheter i luckorna mellan modell och verklighet. I denna rapport utnyttjas ett spann från enklare handberäkningsmodeller till avancerade datormodeller. Datormodellerna finns beskrivna i bilaga C. Enklare modeller är ofta begränsade till sin natur men har ofta fördelen att det är lätt att beakta deras giltighetsområde. Avancerade datormodeller (exempelvis FDS) kan användas för att simulera de flesta brandscenarier. Det gör dock att ett otal indatavariabler måste beaktas, vilket kräver stor kunskap av användaren.

Modellosäkerheten beaktas genom att alla modeller som används i rapporten presenteras övergripande tillsammans med dess giltighetsområde och begränsningar. När det är möjligt jämförs också modeller mot varandra för att verifiera deras rimlighet. Exempelvis används framförallt FDS för att beskriva brandförlopp eftersom det anses vara en av de mer sofistikerade modellerna som finns att tillgå. Resultatet från modellen jämförs med datorprogrammet CFAST (tvåzonsmodell) för att bedöma dess rimlighet. Eftersom utdata från modeller ofta används som indata i andra modeller är det viktigt att vara medveten om att dessa kan fortplanta sig genom hela analysen (Lundin, 1999).

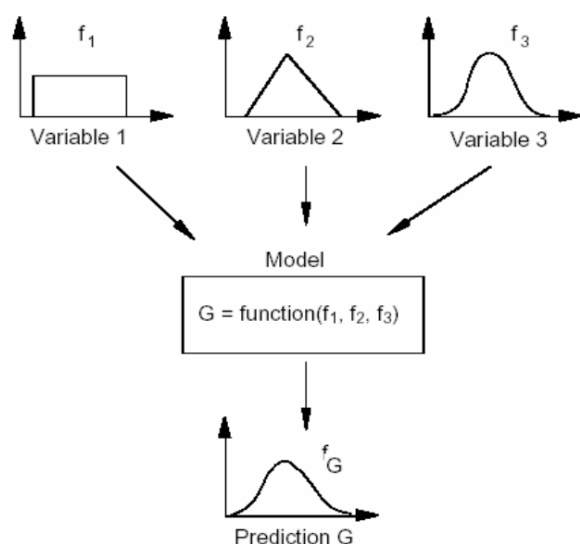
3.6.2 Osäkerhet i indata

För att avgöra om tillfredställande utrymning kan ske i Konserthuset används en enkel och rekommenderad metod som säger att tiden till kritiska förhållanden ska vara större än den totala utrymningstiden (Boverket, 2006). Den totala utrymningstiden kan delas upp i tre variabler, se ekvation 1.

$$t_{kritisk} > t_{varseblivning} + t_{förberedelse} + t_{förflyttning} \quad (1)$$

Parametrarna i ekvation 1 är stokastiska variabler som kan beskrivas med probabilistiska fördelningar. Flertalet av de ingående parametrarna bestäms med datorprogram. Dessa tillåter endast att ingående variabler ansätts som punktskattningar och utdata blir därför helt deterministisk, vilket hanteras genom att datorsimuleringar görs ett flertal gånger för att få fram fördelningar. Antalet simuleringar samt rapportens omfattning växer mycket snabbt när det är flera indata till parametern som ska ansättas och prövas. Därför bestäms först, genom en känslighetsanalys, vilka indata till parametrarna som är intressanta att variera.

Med hjälp av ackumulerad utdata kan sedan parametrarna i ekvation 1 ansättas till probabilistiska fördelningar och simuleras med Monte Carlo-analys för att få fram en sannolikhetsfunktion över andelen personer som klarar av att utrymma utan att utsättas för kritiska förhållanden. Figur 3.2 visar illustrativt hur denna typ av analys fungerar. I princip innebär en Monte Carlo-simulering att den deterministiska beräkningen görs om flera gånger, men med ingångsvärden från parametrarnas fördelningar (Öberg, 2009).



Figur 3.2. Schematisk bild av hur en Monte Carlo-analys fungerar.
Källa: (Frantzych, Magnusson, & Harada, 1996).

Det är viktigt att känna till grundantagandet att det i Monte Carlo-simulering antas oberoende mellan ingående variabler/parametrar. I ekvation 1 är parametrarna "tid till kritiska förhållanden" och "tid till detektering" korrelerade genom att de båda starkt beror av tillväxtfaktorn α . Därför går det inte att simulera de båda parametrarna separat i olika datormodeller med olika brandtillväxtkoefficient, ansätta fördelningar och sedan simulera med Monte Carlo-analys. Ett sådant förfarande leder till fel som är svårt att urskilja i slutresultatet (Öberg, 2009).

För att komma till bukt med problemet kan en så kallad korrelationsmatris upprättas. Lösningen anses dock mycket svår att göra eftersom beroendet mellan parametrarna är okänt. Problemet kan också kringgås genom att alltid referera tillbaka till samma ursprungsvariabel α i alla parametrar. Tyvärr är även detta omöjligt eftersom variabeln α simuleras separat i olika datorprogram. Enda möjliga sättet är att simulera variabeln α , eller annan korrelerad variabel, i separata försök i datorprogrammen och hantera det som ett scenario (Öberg, 2009).

Indataosäkerhet uppstår också när parametrarna i ekvation 1 simuleras i datormodeller. I dessa modeller kan en stor mängd indatavariabler ansättas; allt ifrån bränsle- till materialegenskaper. För att återskapa en så korrekt bild som möjligt av verkligheten i modellen eftersträvas att använda så tillförlitliga referenser som möjligt för indata.

3.6.3 Analysens täckningsgrad

Eftersom denna analys utgår från ett antal utvalda brandscenarier ligger det i analysens natur att inte kunna täcka in alla möjliga utfallscenarier. Det är därför viktigt att urvalet av brandscenarier görs på ett noggrant sätt och att de utvalda scenarierna speglar och täcker in utrymningsproblematiken på bästa sätt. För att förbättra täckningsgraden är det viktigt att arbeta systematiskt och gärna efter checklistor så att all önskad information beaktas (Bengtsson, et al., 2005). Därför läggs stor vikt vid att förbereda det platsbesök som genomförs för att systematiskt hämta hem all nödvändig information, samt få bra en bild av utrymningssäkerheten i byggnaden. Den inledande riskidentifieringen är alltså mycket viktig eftersom all information som förbises aldrig beaktas senare i analysen.

3.6.4 Nivåer av osäkerhetsanalys

Det är viktigt att ett övervägande görs över nivå av detaljeringsgrad och vilken mängd information som behövs för att fatta beslut om åtgärder. I en artikel av Paté-Cornell (1996) föreslås att riskanalysens omfattning ska bestämma omfattningen på osäkerhetsanalysen. I många fall kan det räcka att osäkerheterna beskrivs genom punktskattningar eller kvalitativa resonemang. Det bästa sättet behöver inte alltid vara det mest avancerade.

När det görs sig möjligt är det dock viktigt att en mer noggrann osäkerhetsanalys genomförs. Ingående parametrar testas kvantitativt genom att ansätta sannolikhetsfördelningar och utföra Monte Carlo-analys som beskrivs i avsnitt 3.6.2. Säkerhetsmarginalen i ekvation 1 blir då probabilistiskt fördelad och parametrarnas osäkerhet kan också kopplas till dess påverkan på resultatet. Det ska tydliggöras att i denna deterministiska analys beaktas i huvudsak konsekvensen av ett brandscenario. Sannolikheten att scenariot inträffar beaktas inte i samma utsträckning och därför antas att tekniska system såsom dörrstängare och brandlarm fungerar felfritt. Det är därför viktigt att förvaltaren av Konserthuset arbetar noggrant med sitt systematiska brandskyddsarbete enligt Lagen om Skydd mot Olyckor (2003:778).

4 Krav enligt BBR

I detta kapitel jämförs existerande brandskydd mot föreskrifter i BBR (2008) för att undersöka hur pass tillfredställande befintligt brandskydd är i dagsläget. Informationen används för att identifiera problemområden som sedan tas med i den vidare analysen.

Örebro Konserthus är byggt 1930, ombyggt 1986, och dagens byggregler gäller därmed inte. De kan dock fungera som vägledning och därför genomförs en enklare avstämning mot dagens krav. Samtliga föreskrifter i BBR (2008) beaktas ej. Endast de som anses tillföra analysen ändamålsenlig information kontrolleras mot befintligt brandskydd.

4.1 Brandteknisk klass

Byggnader ska utföras i brandteknisk klass Br1, Br2 eller Br3. Vid bestämning av brandteknisk klass tas hänsyn till faktorer som påverkar utrymningsmöjligheterna och risken för personskador (Boverket, 2008).

Örebro Konserthus innefattar fyra plan samt ett mindre källarutrymme. På plan 1, 2 och 3 bedrivs verksamhet för allmänheten. Samlingslokaler är lokaliserade på plan 1, 2 och 3. Krav ställs därmed att byggnaden skall uppfylla brandteknisk klass Br1 enligt Boverkets byggregler.

4.2 Brandceller

Byggnader ska delas in i brandceller åtskilda av byggnadsdelar som hindrar spridning av brand och brandgaser. Brandcellen skall avskiljas i omslutande väggar och bjälklag. I samlingslokaler där en större scen förekommer ska den utformas som en egen brandcell (Boverket, 2008).

Örebro Konserthus uppfyller ej kraven. I den brandcellsavskiljande väggen mellan scenen och det bakomvarande området förekommer genomföringar som ej är täta. Scenen är inte heller utformad som en egen brandcell. För illustration över brandcellerna se bilaga A.

4.3 Larmsystem

I byggnader där krav på tidig upptäckt av brand ställs ska automatiskt brandlarm installeras. Detektering ska om möjligt ske med rökdetektorer (Boverket, 2008).

Nämnda krav anses uppfylla. För mer information om larm- och detektionssystem i Örebro Konserthus se avsnitt 2.6, *Befintligt brandskydd*.

4.4 Utrymningsvägar

Med utrymningsväg menas väg från en brandcell till det fria. Minst två av varandra oberoende utrymningsvägar ska finnas och de ska vara utformade på ett sådant sätt att de möjliggör betryggande utrymning av lokalen. Det är också önskvärt att i så stor utsträckning som möjligt använda de normala gångvägarna som utrymningsvägar då det är dessa som är mest kända. Samlingslokaler avsedda för fler än 600 personer skall ha minst tre av varandra oberoende utrymningsvägar (Boverket, 2006). *Brandskyddshandboken* kompletterar med att om läktare förekommer i en samlingslokal skall denna ha tillgång till minst två av varandra oberoende utrymningsvägar (Bengtsson, et al., 2005).

Nämnda krav på antal utrymningsvägar uppfylls inte i Örebro Konserthus. I entrén finns endast en utrymningsväg att tillgå vid händelse av brand. Utrymningsvägarna i objektet redovisas mer ingående i kapitel 5.

4.5 Vägledande markeringar

Utrymningsskyltar skall finnas i lokaler där utrymningsvägarna inte är välkända. Vägledande markeringar ska finnas i sådan utsträckning att utrymning inte försvåras på grund av svårigheter att

orientera sig i byggnaden. Till och i utrymningsvägar, samt i anslutning till utgångsdörrar skall skyltar, antingen belysta eller genomlysta, placeras (Boverket, 2008).

Örebro Konserthus uppfyller inte ovan nämnda krav. Efterlysande skyltar finns på enstaka ställen i byggnaden.

4.6 Nödbelysning

Inne i samlingslokaler och motsvarande, samt i deras utrymningsvägar, skall nödbelysning finnas. Vid strömavbrott skall nödbelysningen fungera i minst 60 minuter (Boverket, 2008).

I Konserthuset finns nödbelysningsarmaturer uppsatta. De har dokumenterats på väsentliga platser och kravet anses vara uppfyllt.

4.7 Framkomlighet

Utrymningsvägar ska utformas med sådan rymlighet och framkomlighet att de kan betjäna det antal personer de är avsedda för. Dörrbredden i en utrymningsväg bör inte understiga 0,9 meter. Dörrar i utrymningsvägar från brandceller avsedda för fler än 150 personer bör inte understiga bredden 1,2 meter. En dörr till eller i en utrymningsväg ska vara utåtgående i utrymningsriktningen och väl synbar (Boverket, 2008).

Brandskyddshandboken kompletterar Boverkets regler ytterligare: om dubbelbladiga dörrar används som utrymningsväg bör båda dörrbladen öppnas samtidigt. I samlingslokaler avsedda för fler än 150 personer bör dörrar förses med nödöppningsbeslag. Panikreglar bör användas om lokalerna är avsedda för fler än 300 personer. Spanjolethandtag får inte användas. Vidare skall dörrar till eller i utrymningsvägar från samlingslokaler utrustas med självstängare (Bengtsson, et al., 2005).

Örebro Konserthus uppfyller ej kraven. I trapphus A och B är dörrarna i utrymningsvägarna inte utåtgående i utrymningsriktningen.

4.8 Slutsats

En kort genomgång av föreskrifterna i BBR (2008) visar att en del av dessa ej uppfylls. Föreskrifter som inte uppfylls gäller brandcellsgränser, utrymningsvägar, vägledande markeringar och framkomlighet. Funktionskraven anses inte kunna garanteras även om ovanstående brister åtgärdas, varför vidare analys görs med analytiskt tillvägagångssätt.

5 Utrymning

I detta kapitel beskrivs utrymningsförutsättningarna i Konserthuset. Dessa utnyttjas senare som underlag för riskidentifiering och utrymnings-simuleringar.

5.1 Utrymning från publika lokaler

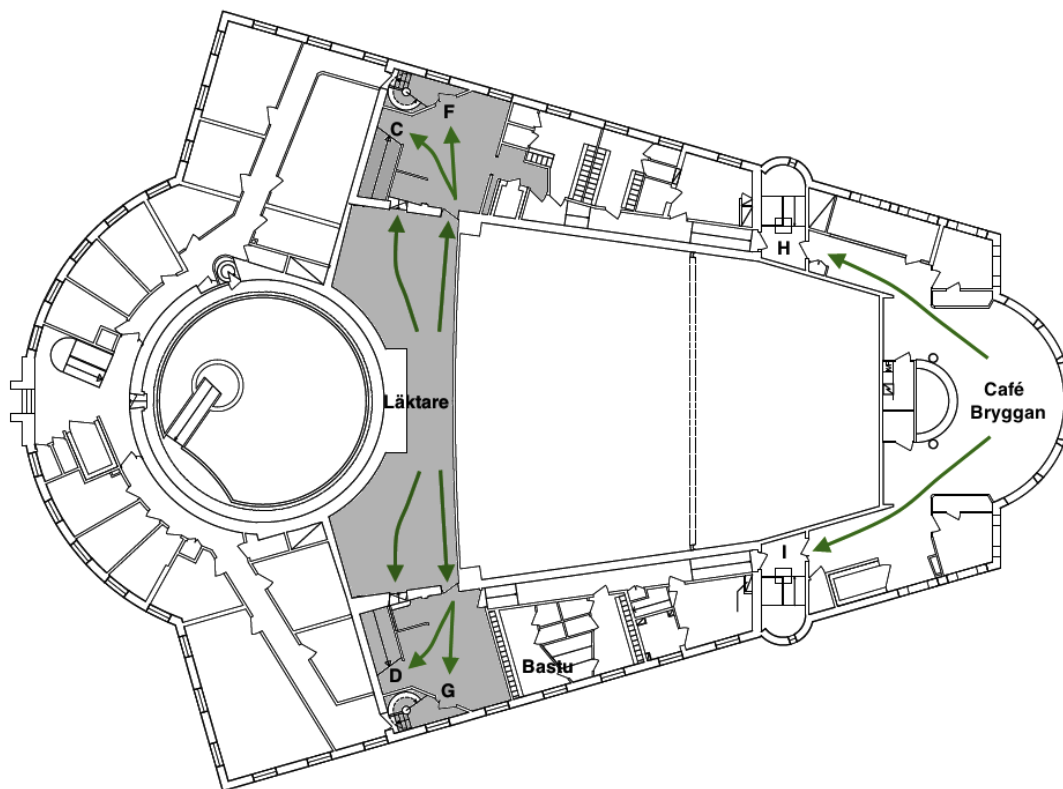
Till publika lokaler i Konserthuset räknas entrén, Konsertsalen, Wirénsalen, Repsalen samt foajéer på plan 2 och 3. Folk som vistas i dessa lokaler antas ha dålig lokalkännedom. Utrymningsvägarna finns illustrerade med pilar i figur 5.1-5.3. Samtliga utrymningsvägar är markerade med utrymningsskyltar.

5.1.1 Läktaren

Läktaren, med kapacitet för 181 sittande gäster, har tillgång till två av varandra oberoende utrymningsvägar. Dessa utgörs av fyra dörrar, två på vardera sidan av läktaren, som leder ut till foajéerna på plan 3.

5.1.2 Foajéer plan 3

På plan 3 kan besökare antingen välja att använda trapphus C/D som leder vidare ner till foajén på plan 2 eller spiraltrappa i trapphus F/G som leder ned till plan 1 och vidare ut till det fria.



Figur 5.1. Utrymningsvägar från läktaren via foajéer på plan 3.

5.1.3 Konsertsalen

Konsertsalen har en sammanlagd kapacitet på 724 sittande gäster, varav 181 finns på läktaren. Personer sittandes på läktaren använder utrymningsvägar på plan 3. Scenen inrymmer upp till 300 personer beroende på föreställning.

Personer som befinner sig på plan 2 har tillgång till fyra av varandra oberoende utrymningsvägar; två i salongen och två uppe på scenen. Utrymningsvägarna i salongen utgörs av sju stycken dörrar fördelade längs lokalens långsidor. Dessa leder ut till foajéerna på plan 2. På scenen utgörs utrymningsvägarna av två dörrar, en på vardera sidan av scenen. Dessa leder vidare till trapphus H

och I. Scenen är upphöjd och för att nå utrymningsvägarna från salongen måste två smala trappor användas. Det förekommer att personer med nedsatt rörelseförmåga befinner sig i Konsertsalen. En yta framför scenen är avsedd för dem och vid utrymning kan de ta sig ut i foajéerna på plan 2, men behöver därefter hjälp att ta sig ned till plan 1. I normala fall finns tillgång till hiss, men denna bör inte användas vid brandtillbud i byggnaden.

5.1.4 Repsalen

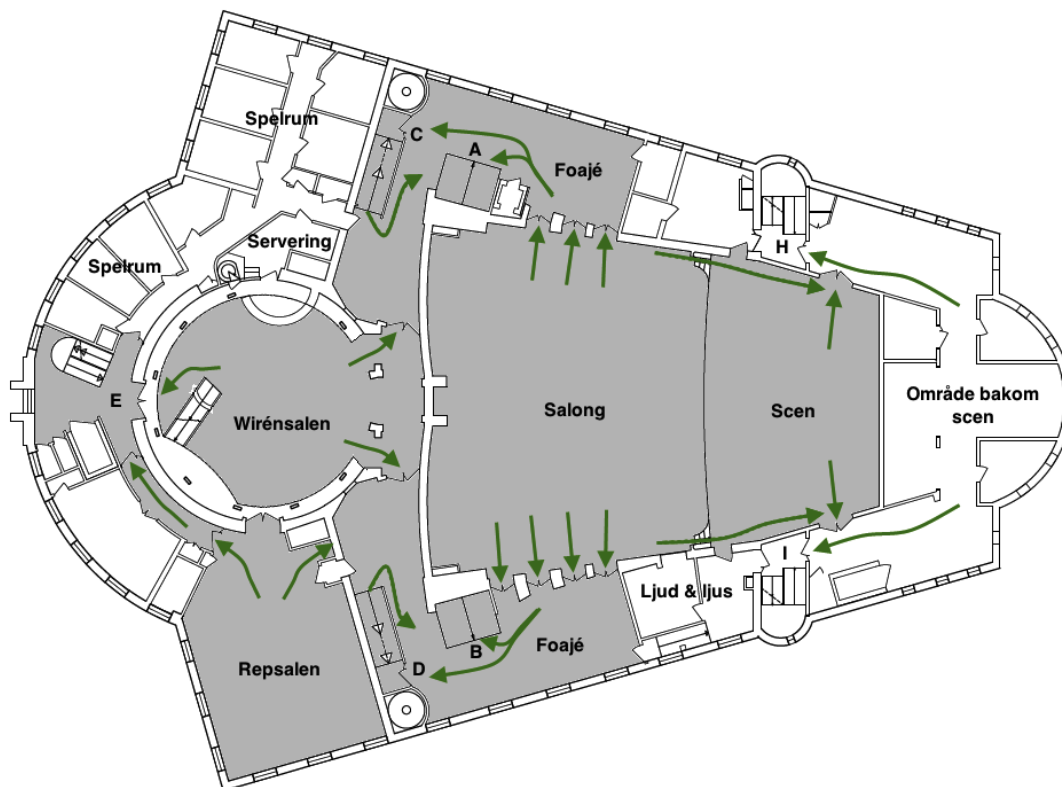
Repsalen har kapacitet för 150 personer. Dessa kan utrymma via två av varandra oberoende utrymningsvägar. Den ena leder via en dörr och korridor vidare till trapphus E och den andra ut till foajén. En tredje dörr leder till Wirénsalen, men är inte skyltad som utrymningsväg.

5.1.5 Wirénsalen

Wirénsalen har precis som Repsalen kapacitet för 150 personer. I salen finns tre av varandra oberoende utrymningsvägar fördelade på fyra dörrar. Två dörrar leder vidare ut till foajéerna på plan 2 och två dörrar till trapphus E. En av de två senare mynnar ut på våning 3 och nås via Wirénsalens balkong.

5.1.6 Foajéer plan 2

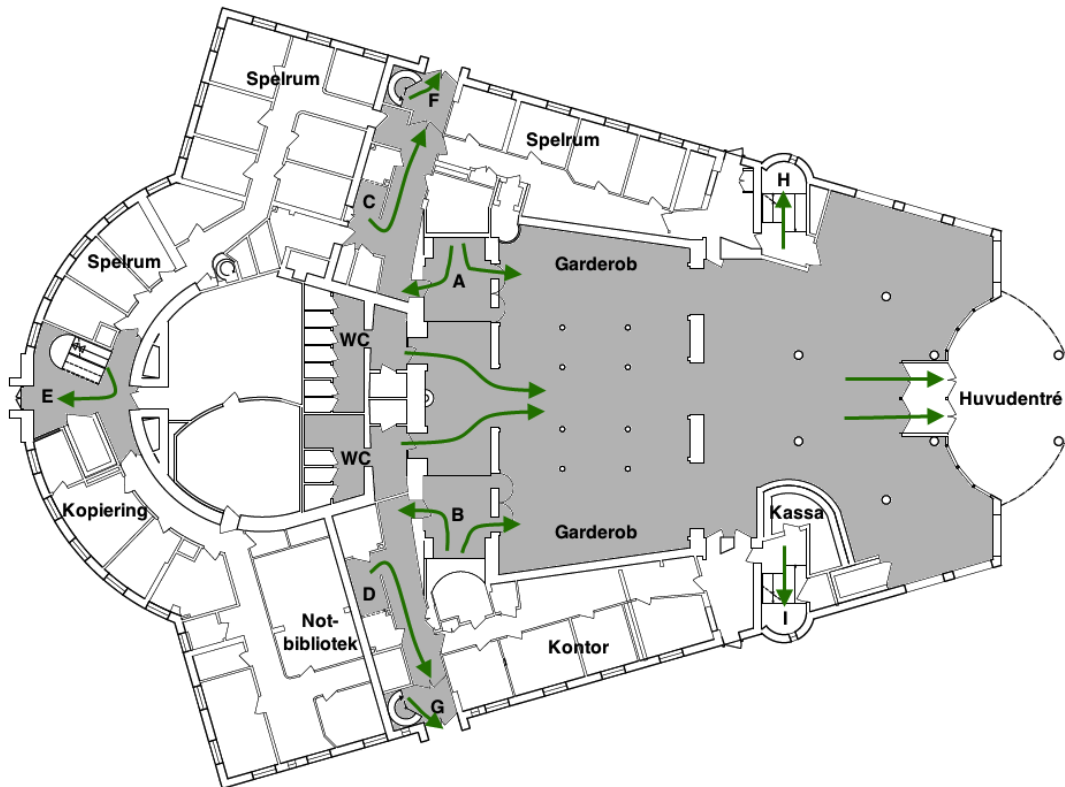
Från foajéerna på plan 2 leder trapphus A/B ned till plan 1. Från foajéerna leder även trapphus C/D ner till plan 1 och vidare ut till det fria via trapphus F/G.



Figur 5.2. Utrymningsvägar från publika lokaler på plan 2.

5.1.7 Entré plan 1

Personer som befinner sig i entrén samt på toaletten har, under förutsättningen att brandlarm aktiveras och dörrar ut mot trapphus A/B stänger, endast tillgång till en utrymningsväg via huvudentrén. Detta på grund av att dörrarna mot trapphus A/B endast går att öppna från trapphussidan.



Figur 5.3. Utrymningsvägar från publika lokaler på plan 1.

5.2 Utrymning från övriga icke publika områden

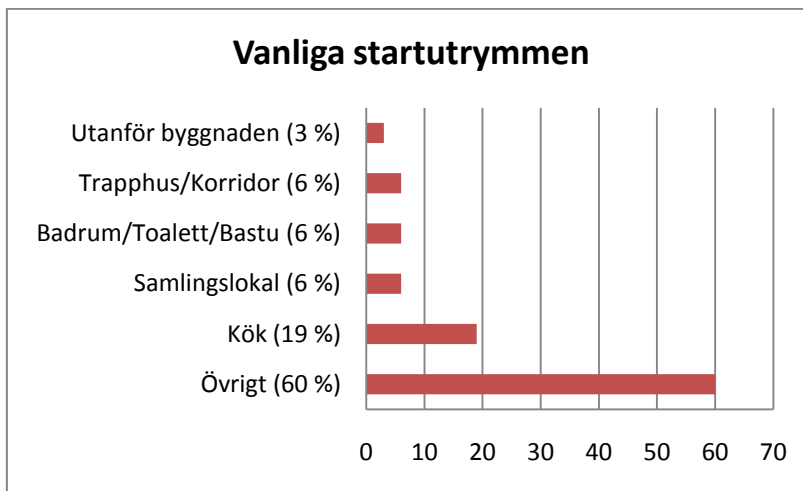
Till icke publika områden räknas lokaler som inte är avsedda för besökare; personalrum, kontor, övningsspelrum med mera. Personer i dessa lokaler antas ha god lokalkännedom och själva kunna sätta sig i säkerhet. Personer utan god lokalkännedom som vistas i dessa lokaler, exempelvis gästande ensembler, antas ha personal med god lokalkännedom i närheten.

6 Statistik

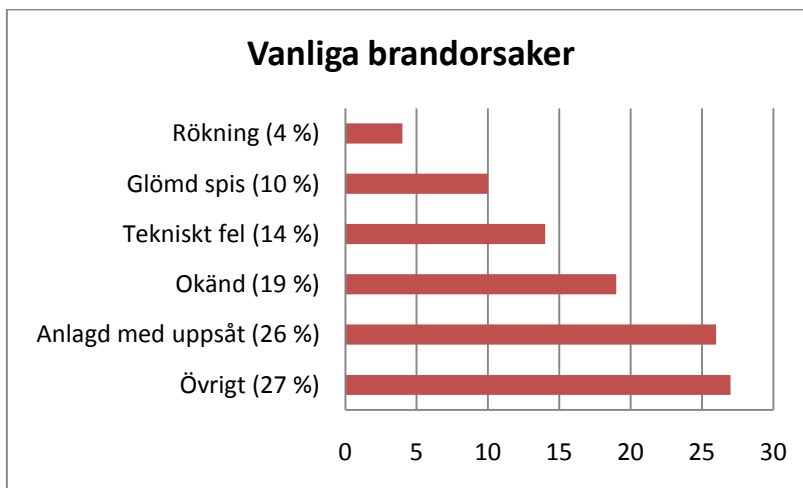
I detta kapitel redovisas statistik för bränder i allmänna byggnader. Faktaunderlaget används till kommande identifiering av brandscenarier.

Myndigheten för Samhällskydd och Beredskap (MSB) redovisar statistik från Räddningstjänstens insatser i Sverige åren 1996-2009. Informationen visar bland annat vanliga brandorsaker och startutrymmen för olika typer av byggnader och verksamheter.

Statistiken visar att den vanligaste startmiljön för brand i allmän byggnad är kök, se figur 6.1, och att den vanligaste brandorsaken är anlagd med uppsåt, se figur 6.2. Nästan en femtedel av alla bränder i allmän byggnad har kök som startutrymme under denna tidsperiod och drygt en fjärdedel av alla bränder är anlagda med uppsåt (MSB, 2010).



Figur 6.1. Startutrymmen för brand i allmän byggnad i Sverige åren 1996-2009.



Figur 6.2. Brandorsaker för brand i allmän byggnad i Sverige åren 1996-2009.

Statens Haverikommission har sammanställt data från åtta stycken bränder som krävt flera människors liv i Europa och USA. Utredningar och analyser från dessa bränder visar att det finns vissa likheter i brand- och utrymningsförlopp bränderna emellan. Några av dessa likheter är:

- I samtliga fall har branden startat i ett obemannat, och till den stora lokalen angränsande, utrymme.
- I samtliga fall har branden vuxit sig stor i detta utrymme. Utrymmet har saknat eller haft icke fungerande brandlarms- och släcksystem.

- Brandgasspridning till den stora lokalen har gått mycket snabbt när branden väl brutit igenom en brandteknisk eller annan avskiljning eller när en dörr öppnats. I fem av de åtta fallen har brandspridning underlättats på grund av brännbara ytskikt.
- I sju av de åtta fallen har larm om utrymning och varseblivning om faran fungerat otillfredsställande.
- I fem av de åtta fallen har utrymningsvägarna varit otillräckliga, låsta eller blockerade eller i ett tidigt skede blockerade av brandgaser.
- I fyra av de åtta fallen har människorna varit desorienterade och istället för utrymningsvägar valt vägar till toaletter, kapprum eller andra utrymmen som saknat utrymningsväg. Efteråt har de ej klarat att komma vidare från dessa utrymmen utan omkommit av giftiga brandgaser.
- I sju av de åtta fallen omkom offren primärt av rökförgiftning.

(Statens Haverikommission, 2001)

7 Riskidentifiering

I detta kapitel redovisas identifierade brandscenarier och för dessa skattas värden på sannolikhet och potentiell konsekvens. Skattade värden sammanställs i en riskmatrix, ur vilken scenarier väljs ut för vidare analys.

Grovanalysen har identifierat 13 troliga brandscenarier i byggnaden. Illustreringar av brandsceniernas placering finns i figur 7.1-7.3. Det ska återigen poängteras att skattningarna av sannolikhet och konsekvens är författarnas egna bedömningar.

7.1 Brandscenario 1: garderob (plan 1)

I pauser samt före och efter föreställningar befinner sig mycket folk i entrén. En brand i en eller flera av garderoberna kommer därför att påverka många personer. I och med att dörrar ut till trapphus A och B stänger och går i lås automatiskt vid detektion kommer trycket på den enda tillgängliga utrymningsvägen via huvudentrén att bli stort. Dessutom kommer branden påverka utrymningsförutsättningar från övriga publika delar, då en av de mest kända utrymningsvägarna blir obrukbar. Mängden brännbart material är stor och brandbelastning bedöms som hög, samtidigt som brandtillväxten kan ske snabbt. Sammantaget gör detta att den potentiella konsekvensen bedöms som hög (4). Sannolikheten för en brand bedöms som medel (3) eftersom materialet är lättantändligt men direkta antändningskällor saknas.

7.2 Brandscenario 2: notbibliotek (plan 1)

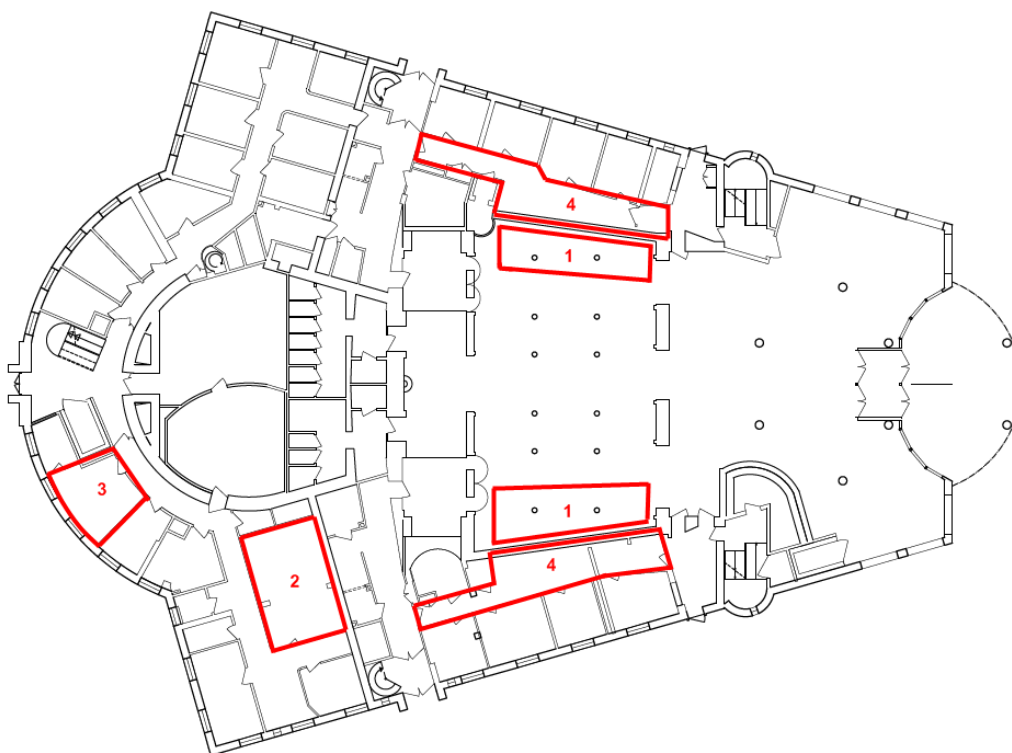
Notbiblioteket ligger i en icke publik del av Konserthuset. En betydande del brännbart material finns förvarat och brandbelastningen är hög. En brand begränsas dock till brandcellen och någon spridning till publika delar förväntas inte ske. Endast ett mindre antal personer med god lokalkännedom påverkas därför av branden och den potentiella konsekvensen bedöms som låg (2). Sannolikheten bedöms som medel (3) eftersom materialet är lättantändligt men direkta antändningskällor saknas.

7.3 Brandscenario 3: kopieringsrum (plan 1)

I samma brandcell som notbiblioteket ligger ett kopieringsrum. Den potentiella konsekvensen av en brand i kopieringsrummet bedöms som låg (2) då denna begränsas till brandcellen enligt det resonemang som fördes kring notbiblioteket. Ett tekniskt fel i kopianer utgör en brandrisk och sannolikheten för detta bedöms som hög (4). Tekniska fel utgör cirka 15 procent av brandorsakerna i allmänna byggnader i Sverige enligt figur 6.2.

7.4 Brandscenario 4: bråte i korridorer (plan 1)

Bråte i två icke publika korridorer på plan 1 utgör brandrisker. Den potentiella konsekvensen av brand i någon av korridorerna bedöms som låg (2) eftersom brandspridning begränsas till brandcellen och mängden brännbart material är begränsad. Sannolikheten bedöms i likhet med brandscenario 2 och 3 som medel (3).



Figur 7.1. Illustration över brandscenarier på plan 1.

7.5 Brandscenario 5: Wirénsalen (plan 2)

Wirénsalen är en samlingslokal med kapacitet för 150 personer, vilket innebär att en brand i utrymmet riskerar att skada ett stort antal personer. Ännu större blir konsekvenserna om brandgaser sprids till angränsande utrymmen; trapphus E och foajéer på plan 2. Dessa utgör viktiga utrymningsvägar för personer i Repsalen och Konsertsalen och en rökfylld av dessa utrymmen riskerar att påverka utrymningsmöjligheterna i stor utsträckning. Om både foajén på plan 2 och trapphus E rökfylls försvinner utrymningsmöjligheterna för folk i Repsalen och utrymning försvåras för folk i Konsertsalen. Potentiell konsekvens bedöms därför som mycket hög (5). Med hänvisning till kapitel 6 bedöms sannolikheten som medel (3) dels för att det rör sig om en samlingslokal, dels för att det finns en mindre köksdel.

7.6 Brandscenario 6: Repsalen (plan 2)

Repsalen är precis som Wirénsalen en samlingslokal med kapacitet för cirka 150 personer. Brännbart material utgörs främst av bord och stolar och brandbelastningen är måttlig. Brandscenariot anses inte vara lika allvarligt som brand i Wirénsalen och den potentiella konsekvensen bedöms därför som medel (3). Personer i Repsalen riskerar inte att få samtliga utrymningsvägar blockerade i detta scenario. Sannolikheten bedöms som låg (2).

7.7 Brandscenario 7: scenen (plan 2)

Konsertsalen utgör en stor samlingslokal med upp till 724 sittande gäster. En brand på scenen riskerar att skada ett stort antal personer om den inte upptäcks och begränsas i ett tidigt skede. Vid föreställningar har både publik och personal uppsikt över scenen och släckutrustning finns i angränsande ljud- och ljusrum. Några garantier för att personal hinner upptäcka och begränsa branden finns dock inte. Detta tillsammans med mängden brännbart material som kan finnas på scenen gör att den potentiella konsekvensen bedöms som hög (4). Sannolikheten bedöms även den som hög (4); elektronik förekommer i betydande mängd på scenen och enligt Figur 6.2 är tekniska fel en vanlig orsak till bränder i allmänna byggnader. I sällsynta fall används dessutom pyroteknik på scenen¹⁰.

¹⁰ Christian Lund, Podieinspicient Örebro Konserthus, platsbesök 2011-02-04

7.8 Brandscenario 8: salongen och läktaren (plan 2 och plan 3)

En brand i salongen eller på läktaren har liknande potentiella konsekvenser som en brand på scenen och bedöms som hög (4). Sannolikheten för brand bedöms däremot som låg (2), eftersom någon teknisk utrustning inte förekommer i direkt anslutning till stolarna. Stolarna har även en tändskyddad beklädnad vilket försvårar antändning¹¹.

7.9 Brandscenario 9: foajé (plan 2 och plan 3)

Foajéer utgör angränsande utrymmen till Wirénsalen, Repsalen och Konsertsalen. Under pauser samt innan och efter föreställningar vistas personer i dessa utrymmen och en brand riskerar att påverka ett stort antal. Mängden brännbart material består främst av soffor, bord och stolar samt golvbeläggningen som utgörs av heltäckningsmattor. Brandbelastningen bedöms som måttlig. Under föreställningar begränsas en brand till att påverka utrymningsmöjligheter från nämnda lokaler. I samtliga av dessa finns alternativa utrymningsvägar. Foajéerna är dock obevakade under föreställningar och förutsättningar finns för att en brand skall kunna tillväxa utan att begränsas i ett tidigt skede. Sammantaget bedöms den potentiella konsekvensen som medel (3), även sannolikheten bedöms som medel (3).

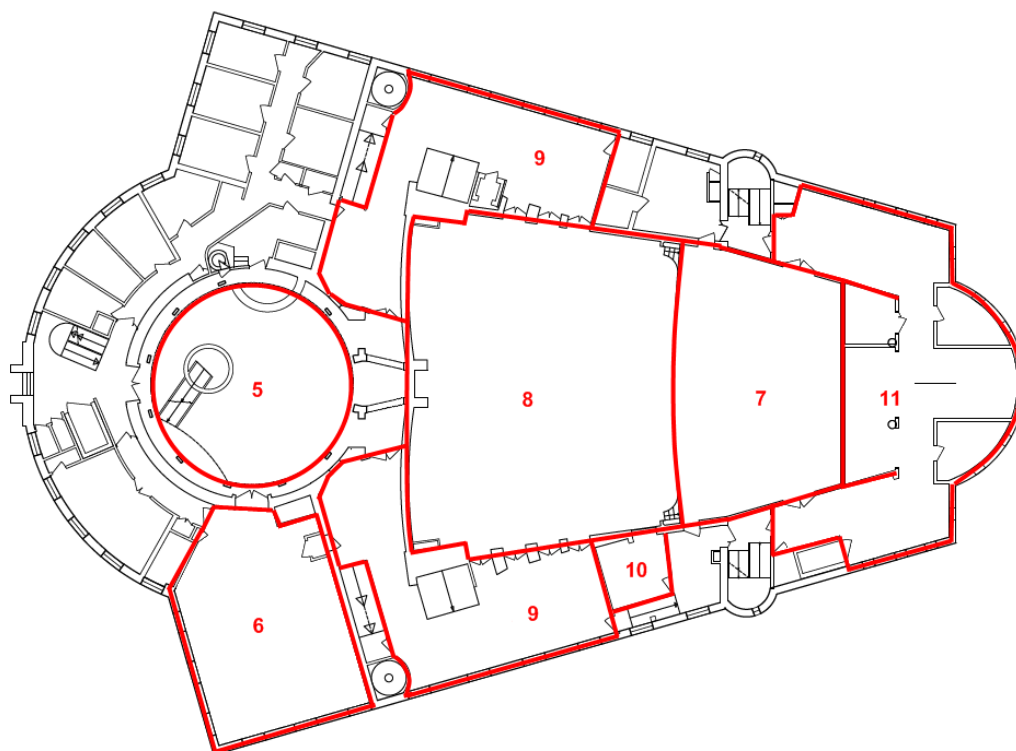
7.10 Brandscenario 10: ljud- och ljusrum (plan 2)

Ljud- och ljusrummet angränsar till Konsertsalen. Brandbelastningen bedöms som låg men risken för brand som desto större på grund av den stora mängden teknisk utrustning. Enligt figur 6.2 utgör fel i teknisk utrustning en av de vanligaste orsakerna till brand i allmän byggnad och sannolikheten bedöms som hög (4). Under föreställningar är ljud- och ljusrummet bemannat och en brand bör upptäckas i ett initialt skede och dessutom begränsas och släckas då goda möjligheter till manuell släckinsats finns. Viss risk för brandgasspridning till scenen och Konsertsalen föreligger dock eftersom rummet inte är brandtekniskt avskilt. Den potentiella konsekvensen bedöms därför som medel (3).

7.11 Brandscenario 11: område bakom scen (plan 2)

Området bakom scenen fungerar som förvaringsplats för material och utrustning. Mängden brännbart material är stor och brandbelastningen hög. Utrymmet utgör egen brandcell, men brandcellsavskiljande vägg i bakkant av scenen är inte tät i nederkant och en brand riskerar att spridas mellan brandcellerna. Viss risk för brandgasspridning föreligger med bedöms som liten då hela området bakom scenen först måste rökfyllas. Branden påverkar även utrymningsförutsättningarna för folk i Konsertsalen, främst de på scenen som inte kan utrymma via ordinarie utrymningsvägar, utan måste samsas om resterande med övriga besökare. Belastningen på dessa kommer därför bli högre. Den potentiella konsekvensen bedöms som medel (3) och sannolikheten bedöms som låg (2).

¹¹ Christian Lund, Podieinspicient Örebro Konserthus, platsbesök 2011-02-04



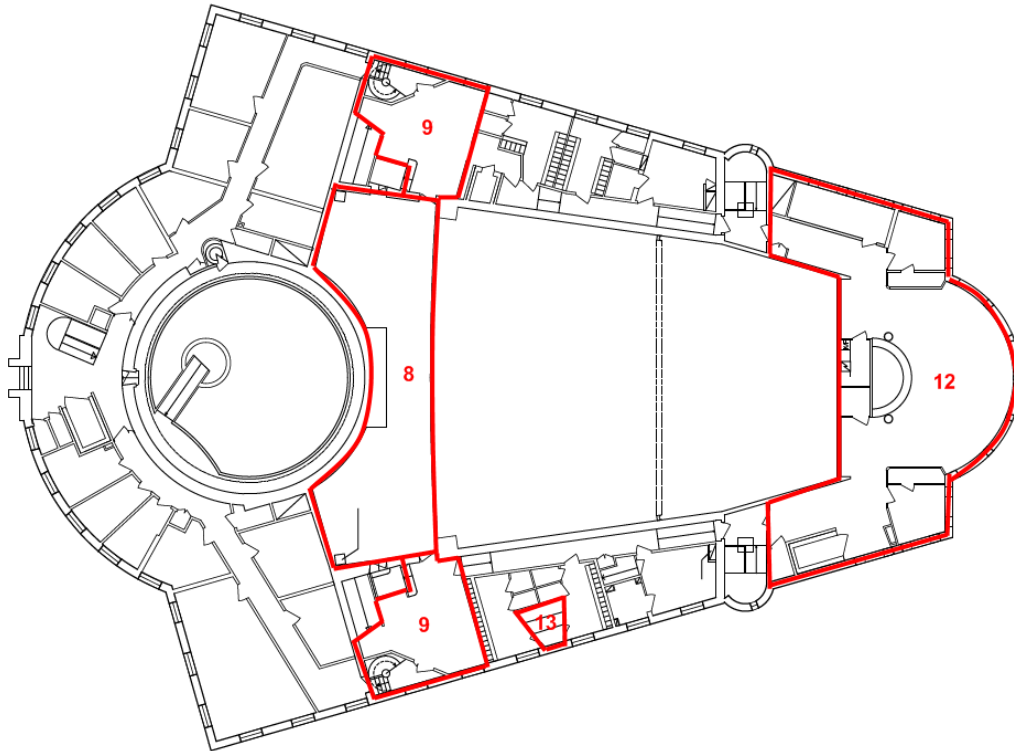
Figur 7.2. Illustration av brandscenarier på plan 2.

7.12 Brandscenario 12: Café Bryggan (plan 3)

I Café Bryggan vistas endast behörig personal. Utrymmet består av en matsal med ett mindre kök. Brännbart material utgörs främst av bord och stolar och brandbelastningen bedöms som måttlig. En brand i utrymmet påverkar inte utrymningsmöjligheterna för personer i publika delar och potentiell konsekvens bedöms som låg (2). Sannolikheten bedöms som mycket hög (5). Enligt kapitel 6 utgör kök 19 procent av alla startutrymmen för bränder i allmänna byggnader och en glömd spis tio procent av alla startorsaker.

7.13 Brandscenario 13: Bastu (plan 3)

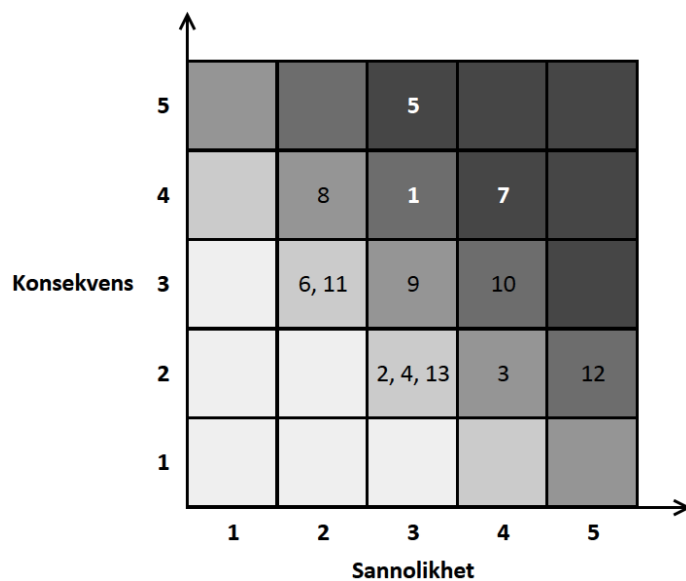
Personal har tillgång till två omklädningsrum med en gemensam bastu. En brand i denna del är begränsad till brandcellen och förväntas inte påverka något större antal personer, framför allt inte personer i publika delar. Den potentiella konsekvensen bedöms som låg (2). Sannolikheten för att en brand startar i bastun bedöms som medel (3). Enligt figur 6.1 utgör badrum/toalett/bastu sex procent av alla startutrymmen i allmän byggnad.



Figur 7.3. Illustration av brandscenarier på plan 3.

7.14 Riskmatris

Riskscenarierna sammanställs i en riskmatris, se figur 7.4. Risken illustreras genom en sammanvägning av konsekvens och sannolikhet. Matrisen visar att fem scenarier innebär en högre risk än övriga: garderob (1), Wirénsalen (5), scenen (7), ljud- och ljusrum (10) samt Café Bryggan (12). Scenario (10) täcks till stor del in av scenario (7) och utreds därför ej vidare. Scenario (12) drabbar inte publika delar i samma utsträckning som scenario (1) har potential att göra och därför väljs det senare scenariot bort. De scenarier som slutligen väljs ut för vidare utredning i rapporten är garderob (1), Wirénsalen (5) samt scenen (7).



Figur 7.4. Riskmatris över identifierade brandscenarier.

8 Utförligare beskrivning av brandscenarier

I detta kapitel studeras utvalda brandscenarier mer ingående. Geometri och brännbart material beskrivs och effektutvecklingskurvor presenteras.

8.1 Scenario 1: Garderob

I entrén finns två garderober placerade längs lokalens båda långsidor, en på vardera sidan. Varje garderob består av två garderobsutrymmen åtskilda av en skärmvägg, se bild 8.1. Brandspridning mellan utrymmena är möjlig och en brand förväntas involvera hela garderoben. Mängden brännbart material varierar beroende på publikbelastning och årstid. Vintertid ökar mängden ytterkläder i och med att folk klär sig varmare. Vid riktigt högt publiktryck vintertid räcker garderoberna inte alltid till och ytterkläder placeras på övriga ytor i entrén, se bild 8.1. Varje garderobsutrymme uppskattas rymma 100 jackor, vilket medför 200 stycken per garderob. Avståndet mellan garderoberna är stort och någon brandspridning till garderoben på andra sidan entrén förväntas inte ske. En brand förväntas involvera en garderobsdel med två utrymmen och sammanlagt 200 jackor. Detta anses vara värsta troliga scenario för entrén.

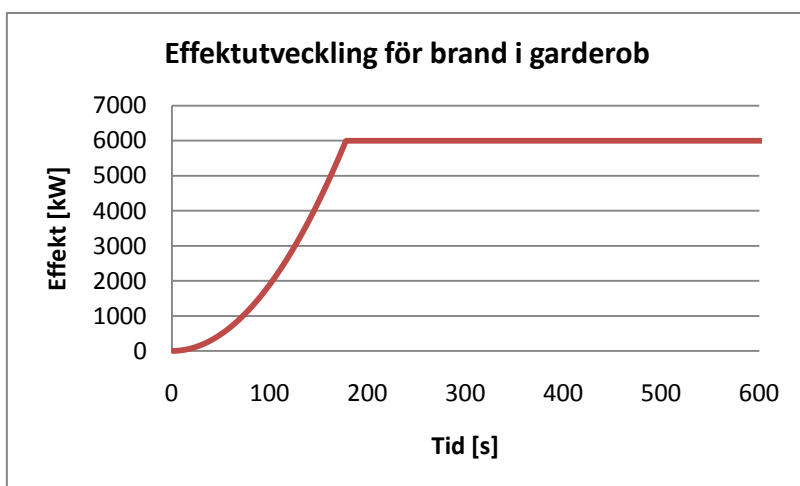


Bild 8.1. Till vänster ses två garderobsutrymmen som tillsammans utgör en garderob och till höger visas hur kläder vid vissa tillfällen placeras på övriga ytor i entrén (Foto: Daniel Lillienberg).

Den stora mängden textilier i garderoben medför risk för ett mycket snabbt brandförlopp om branden väl får fäste i tillväxtfasen. Den låga takhöjden tillsammans med bränsletypen medför stor risk för en snabb rökfyllnad av entrén.

8.1.1 Effektutveckling

Försök har genomförts av NIST (National Institute of Standards and Technology) och Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering vid LTH för liknande garderobsbränder. Försöken skiljer sig dock i en del avseenden från de förutsättningar som råder i entrén, men kan ändå användas som riktlinjer för att ta fram en effektutvecklingskurva för garderobsbranden. NIST tar ingen hänsyn till återstrålning från brandgaslager och omgivande konstruktion då försöket genomfördes i en stor lokal under en huv. Brandteknik LTH å sin sida utförde försök i en container med hög återstrålning från brandgaslager och omgivande väggar. Informationen kompletteras med fakta från rapporten *Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler* (Abrahamsson, 1997). I figur 8.1 presenteras en effektutvecklingskurva för brand i garderob, för fullständiga resonemang och beräkningar hänvisas läsaren till bilaga D.



Figur 8.1. Effektutvecklingskurva för brand i garderob. Branden tillväxer ultrasnabbt till maxeffekt.

8.2 Scenario 5: Wirénsalen

I Wirénsalen bedrivs serveringsverksamhet i föreställningspauser. Salen sträcker sig genom flera våningsplan och avslutas med ett kupoltak cirka 16 meter upp. Tre balkonger finns på olika höjder längs lokalens sidor, men endast den nedersta är tillgänglig för publik. Salen är möblerad med bord och stolar som delvis är utplacerade på golvet och delvis uppstaplade vilket kan ses i bild 8.2. Mängden varierar beroende på verksamhet i lokalen men uppskattningsvis finns ett 40-tal stolar och ett 10-tal bord. I lokalen finns även en mindre bardisk med ett angränsade serveringskök, en flygel samt diverse andra träföremål. Delar av golvet är försett med heltäckningsmatta.

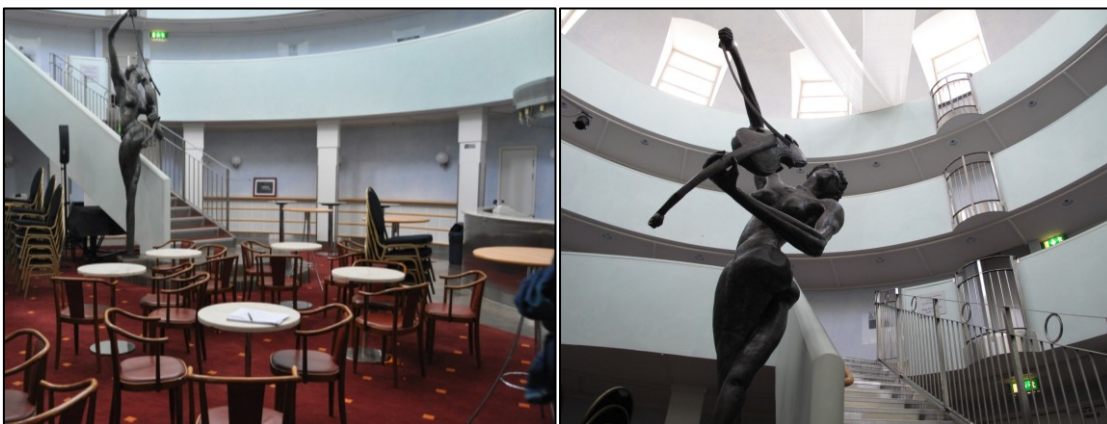
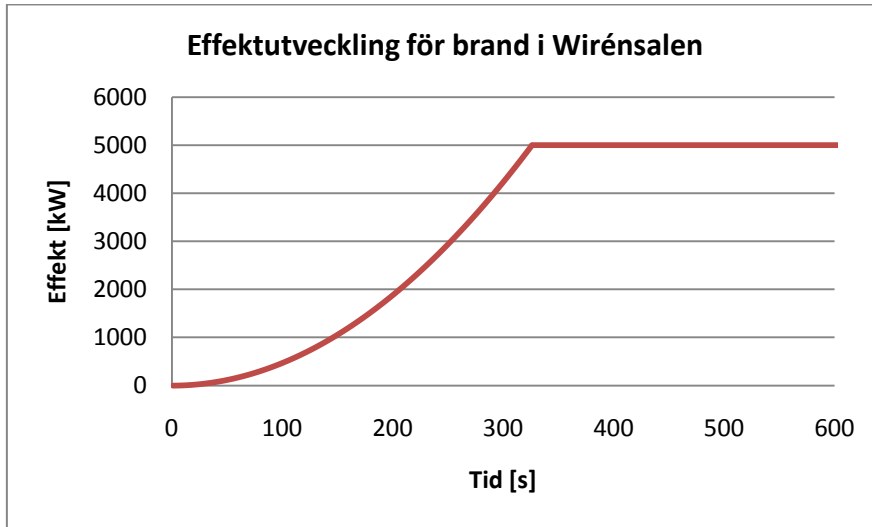


Bild 8.2. Till vänster: Wirénsalen, möblerad med bord och stolar. I bakgrunden skymtar uppstaplade stolar och flygeln samt bardisken. Till höger: balkonger som sträcker sig upp mot kupoltaket (Foto: Henrik Karlsson).

8.2.1 Effektutveckling

I figur 8.2 presenteras effektutvecklingskurva för brand i Wirénsalen. För diskussion och beräkningsgång hänvisas läsaren till bilaga D.



Figur 8.2. Uppskattad effektutvecklingskurva för brand i Wirénsalen. Branden tillväxer snabbt till maxeffekt.

8.3 Scenario 7: Scenen

Konsertertsalen består av tre delar: scenen, salongen och läktaren. Scenen är upphöjd cirka en meter över golvet vid den främre bänkraden vilket kan uttydas i bild 8.3. Ett mindre hålrum finns mellan scengolvet och underliggande bjälklag och viss teknisk utrustning kan fällas in i golvet. Några större förvaringsmöjligheter för rekvisita och annat finns dock inte utan upphöjningen utgörs till största del av ett en högre takhöjd i entrén. Takhöjden i Konsertsalen är cirka 7 meter, även för scenen, vilket innebär att en takklack förekommer i övergången mellan scen och salong. Scenen är dock försedd med takplattor för att dölja tekniska installationer i taket och någon nivåskillnad är inte synlig från salongen.



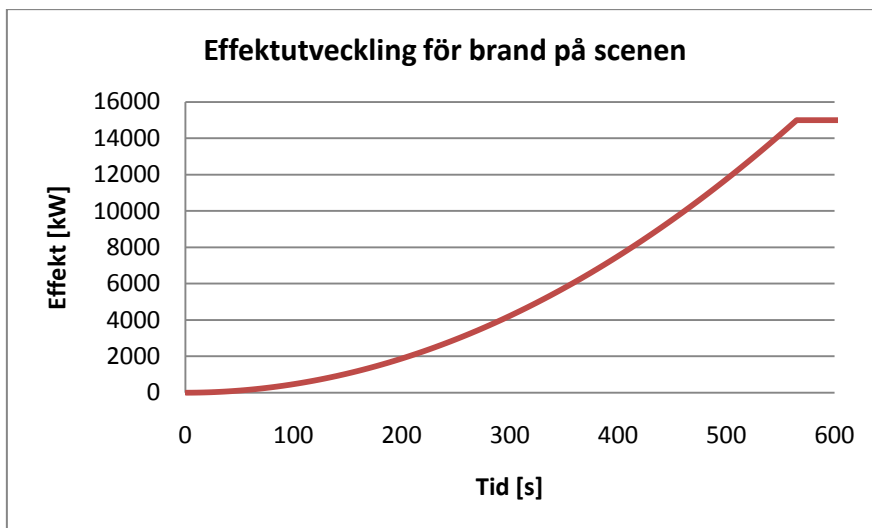
Bild 8.3. Vy över scenen från läktaren (Foto: Daniel Lillienberg).

Brännbart material utgörs främst av kulisser och rekvisita. Olika föreställningar använder olika typer av rekvisita och en brandbelastning är svår att uppskatta. Generellt förekommer brännbart material i tillräcklig mängd för att en brand skall kunna växa sig stor. Volymen i lokalen är omfattande, men

trots detta finns risk att personer på läktaren utsätts för kritiska förhållanden tidigt i brandförloppet, då dessa endast sitter cirka tre meter under taket.

8.3.1 Effektutveckling

I figur 8.3 presenteras effektutvecklingskurva för brand på scenen. För diskussion och framtagning av kurvan hänvisas läsaren till bilaga D.



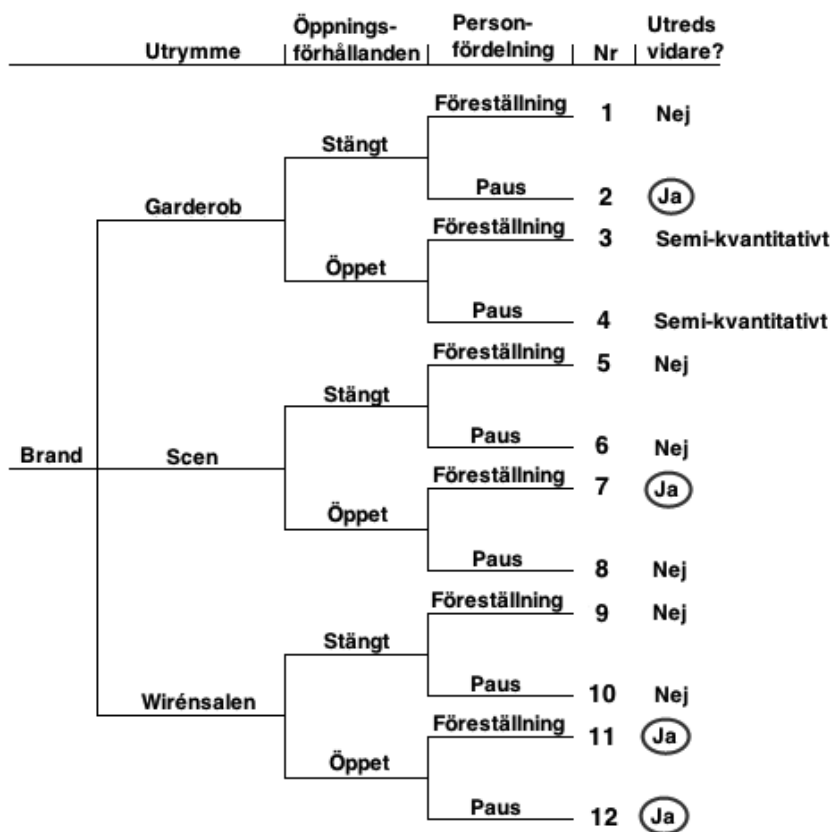
Figur 8.3. Uppskattad effektutvecklingskurva för brand på scenen. Branden tillväxer snabbt till maxeffekt.

9 Urval av utrymningsscenarier

I detta kapitel delas brandscenarierna upp i olika utrymningsscenarier som ligger till grund för vidare analys.

Rapporten har hittills identifierat tre bränder som ska utredas vidare. Beroende på olika omständigheter kommer dessa bränder leda till olika utrymningsscenarier. För att strukturera upp dessa scenarier delas bränderna in i de två omständigheter som anses ha störst påverkan på utrymningsförloppet och är möjliga att simulera vidare. Omständigheterna är öppningsförhållanden och personfördelning.

Öppningsförhållanden beskriver huruvida brandcellen stänger eller inte vid brand. I normalfallet ska en brandcell stänga till vid detektion för att hindra brandspridning, men det finns omständigheter som utgör risk för att vissa dörrar är uppställda under en brand. Utrymningsförloppet kommer också i hög grad bero på hur personfördelningen i byggnaden ser ut. Vid paus är besökarna utspridda i alla publika delar i Konserthuset medan de under en föreställning endast befinner sig i Konsertsalen och eventuellt Repsalen. Denna tankegång sammanställs lämpligtvis i ett händelsetråd för att illustrera vilka slutscenarier detta leder vidare till, se figur 9.1.



Figur 9.1. Händelsetråd över vilka slutscenarier som väljs för vidare utredning.

Händelsetrådet visar att endast fyra av totalt tolv utrymningsscenarier kommer utredas vidare kvantitativt. Detta beror på att vissa scenarier är ointressanta förutsatt att brandcellen stänger samt att vissa scenarier utrymningstekniskt täcker in flera andra. I garderoben utreds inte nummer 1 eftersom den täcks in av nummer 2. Personer kan under föreställning vistas i entrén, men under paus kommer ännu fler vistas där. Blir det kritiskt då kommer åtgärder alltså vidtas för ett mer kritiskt scenario och därför täcker nummer 2 in nummer 1. Vidare är dörrarna till trapphus A och B utrustade med magnetuppställare, vilka antas fungera. Detta gör att en brand i garderoben blir begränsad till entrén. Samtidigt är trapphus A och B samt entrén den huvudsakliga utrymningsvägen som de utrymnande kommer söka sig till. Därför är det intressant att utreda vad som kan hända om magnetuppställarna ändå inte skulle fungera. Därför kommer nummer 3 och 4 utredas semi-kvantitativt, se bilaga G.

En brand på scenen är utrymningstekniskt endast intressant när det finns besökare i lokalen och därför utreds inte utrymning under paus. Konsertsalens samtliga dörrar är utrustade med dörrstängare och brandgaser anses därför normalt inte sprida sig härifrån. Dock kommer dörrarna vara öppna under en utrymning och därför måste det utredas vidare om detta leder vidare till kritiska förhållanden i andra lokaler. Eftersom nummer 7 täcker in nummer 5 utrymningstekniskt utreds alltså endast nummer 7 vid brand på scen.

Wirénsalen används normalt som serveringslokal under paus i föreställningar. Vagg i vagg med Wirénsalen ligger Repsalen, som också kan tjäna som serveringslokal alternativt hyras/lånas ut separat. Besökare kan alltså vistas i Repsalen under såväl föreställning som under paus. Dörrarna utifrån Wirénsalen är utrustade med dörrstängare och bör stänga vid larm. Dock finns ett dörrstopp monterat på dörren till trapphus E som kan hindra dörrstängning. Även dörren ut till foajén (mot Repsalen) kan hindras från stängning eftersom golvmattan intill dörren släppt från underlaget och bildat en uppbuktning. Om dessa två dörrar inte skulle stänga kan det leda till att utrymningsvägarna från Repsalen hindras av brandgaser. Eftersom nummer 11 och 12 täcker in utrymningsproblematiken i nummer 9 och 10 utreds de senare inte vidare.

Fyra utrymningsscenarier kommer alltså utredas vidare kvantitativt. Dessa förtydligas i punktlistan nedan.

- **Scenario nummer 2:** benämns i fortsättningen Garderob (paus). Scenariot innefattar brand i garderob under paus i föreställning och stängt entréplan. 300 personer antas befinna sig i entrén (toaletterna inkluderade).
- **Scenario nummer 7:** detta scenario delas upp i tre underscenarier som i fortsättningen benämns Scenen (föreställning – scen), Scenen (föreställning – läktare) samt Scenen (föreställning – salong). I alla tre scenarier antas Konsertsalen vara fullsatt, 724 personer, och dörrarna utifrån salen öppna.
 - *Scenen (föreställning – scen):* brand på scenen under föreställning. Tid till kritiska förhållanden mäts på själva scenen där 50 personer antas befinnas.
 - *Scenen (föreställning – läktare):* scenariot täcker brand på scen under föreställning. 181 personer befinner sig på läktaren och tid till kritiska förhållanden mäts med hänsyn till dessa.
 - *Scenen (föreställning – salong):* scenariot innefattar brand på scen under föreställning. Tid till kritiska förhållanden mäts i salongen där 543 personer befinner sig.
- **Scenario nummer 11:** benämns i fortsättningen som *Wirénsalen (föreställning – Repsalen)*. Scenariot innefattar brand i Wirénsalen under föreställning. Konsertsalen antas vara fullsatt, 724 personer, och likaså Repsalen, 150 personer. Tid till kritiska förhållanden undersöks vid Repsalens utrymningsvägar.
- **Scenario nummer 12:** detta scenario delas upp i två underscenarier som från och med nu benämns *Wirénsalen* samt *Wirénsalen (paus – Repsalen)*. I båda scenarierna antas 150 personer befinnas i Wirénsalen och 150 personer i Repsalen.
 - *Wirénsalen:* detta scenario täcker brand i Wirénsalen under föreställningspaus och syftar till att undersöka tid till kritiska förhållanden inne i lokalen.
 - *Wirénsalen (paus – Repsalen):* scenariot innefattar brand i Wirénsalen under föreställningspaus och kompletterar scenariot *Wirénsalen* genom att undersöka tid till kritiska förhållanden vid Repsalens utrymningsvägar

10 FDS-simuleringar

I detta kapitel presenteras de indata som används och de förenklingar och antaganden som görs vid simuleringar i FDS. Tid till kritiska förhållanden för de olika scenarierna redovisas och slutsatser kring dessa dras.

FDS (version: 5.5.3) används för att simulera de olika brandförloppen. För närmare beskrivning av programmet se bilaga C och för exempel på indatafiler som använts se bilaga N. Simuleringarna syftar till att åskådliggöra brandförloppet och bestämma tider till dess att kritiska förhållanden uppstår för ett antal olika parametrar, definierade enligt avsnitt 3.5. På grund av att tiderna inte uppstår simultant tas intervall fram för de parametrar som uppnår kritiska nivåer tidigast. Tidsintervallet används senare i en osäkerhetsanalys.

Som utdata för samtliga simuleringar tas brandgaslagrets höjd, temperatur-, strålnings- och siktbarhetsmätningar. Toxicitetsberäkningar utförs ej då detta kriterium sammanfaller väl med brandgaslagrets höjd (Bengtsson, et al., 2005).

10.1 Förenklingar och antaganden

Under arbetets gång görs ett antal antaganden för att förenkla simuleringarna. De förenklingar som görs kan mestadels hänföras till byggnadens geometri och brändernas utformning. Förenkningarna är nödvändiga då all information som finns i byggnaden omöjligt kan föras in som indata. Det är dessutom till ingen nytta att återskapa en exakt och detaljrik miljö om inte cellerna är små nog att rekonstruera dessa detaljer. Antaganden angående bränderna presenteras under respektive scenario medan förenklingar kring geometrin presenteras nedan.

10.1.1 Geometri

I simuleringarna används ett rutnät med en cellstorlek på tio centimeter. Detta medför att detaljer mindre än tio centimeter inte beaktas i simuleringen. Beslutet att inte använda mindre celler grundas i byggnadens omfattning, ett finare rutnät medför helt enkelt för långa simuleringstider. Tio centimeter anses dock enligt författarna vara tillräckligt litet för att få med tillräckligt med information.

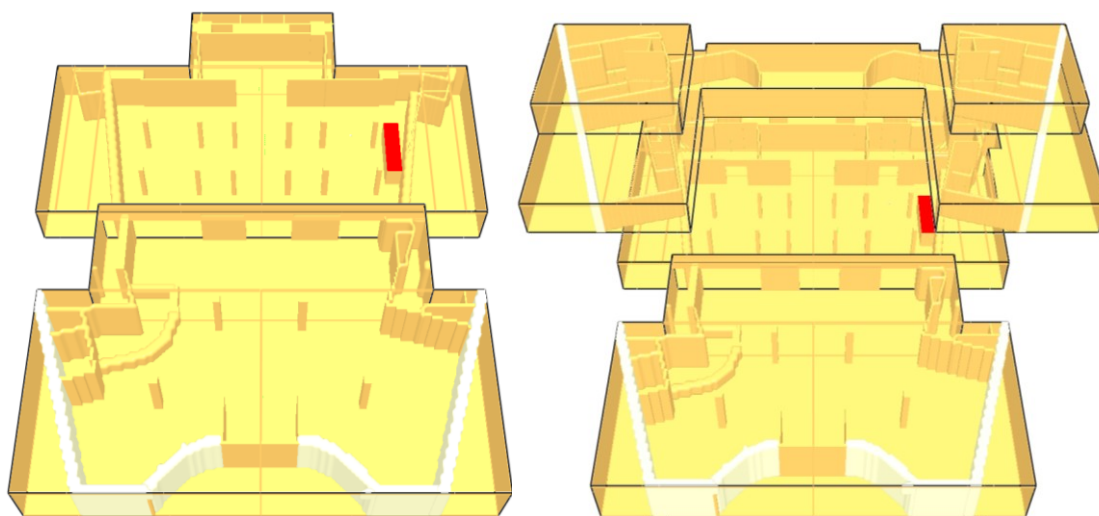
Örebro Konserthus är som tidigare nämns en omfattande byggnad med komplex geometri. Ett antal välvda väggar förekommer och Wirénsalen har dessutom ett kupolformat tak. FDS kan inte simulera denna typ av geometrier utan kräver räta vinklar. Det medför att ett antal förenklingar får göras. Obstruktioner som inte ligger i enhet med rutnätet byggs istället upp i sicksackmönster bestående av mindre delar. FDS programmeras dock att inte återskapa den turbulens som naturligt uppstår vid blocken vilket gör att förenklingen förmildras något. Kupoltaket i Wirénsalen approximeras att vara platt. Taket placeras på en något högre höjd än höjden för kupolens bas för att ta hänsyn till volymen i lokalen.

Vid simulering tas endast de delar av byggnaden som påverkas av branden med i geometrin. Utrymmen som befinner sig bakom dörrar och väggar, och därmed ej berörs av branden, försummas för att minska antalet celler. Alla fönster i byggnaden approximeras även att vara väggar eftersom de inte anses ha någon påverkan på brandförloppet i det tidiga skedet.

En typ av indata i FDS är väggarnas materialegenskaper. I simuleringarna ansätts samtliga väggar till att bestå av betong. Materialegenskaperna erhålls från *Enclosure Fire Dynamics* (Karlsson & Quintiere, 2000). Alla ytterväggar ges tjockleken 0,5 meter och alla innerväggar ges tjockleken 0,2 meter. Taken/golven på de olika våningsplanen ges även de tjocklekarna 0,2 meter.

10.2 Garderob

Garderobsbranden simuleras för två olika fall; ett med helt stängt entréplan och ett med trapphus A och B öppna upp mot foajéerna på plan 2 och 3. Fallet med stängda dörrar till trapphusen utgör huvudfallet och kommer att behandlas mer ingående. Geometrierna för fallen ses i figur 10.1.



Figur 10.1. Geometrier som används vid brand i garderob. Stängt entréplan till vänster och öppet upp mot foajéerna på plan 2 och 3 till höger.

Eftersom det är brand i kläder som simuleras är det mestadels bomull och olika plaster som brinner. FDS kan enbart simulera brand i ett bränsle. Polyester bedöms vara mest representativt för garderobsbranden och till följd av detta väljs det ut som det brännbara materialet. Materialegenskaper för polyester, såsom kemisk struktur och sotpotential, hämtas från *SFPE* (Tewarson, 2002). En brännare med höjden 1,5 meter placeras för att simulera brand i kläder hängande på galgracketer. Effektkurvan för garderobsbranden, se avsnitt 8.1, används som effektkurva i simuleringen.

En förenkling av brandens tillväxt görs. Branden antas från tiden noll innefatta en total area på fyra kvadratmeter och sedan brinna med den basarean under hela brandförloppet. Denna förenkling medför att effektutvecklingen i brandens tidiga skede kan skilja sig något mot effektkurvan den grundar sig på. Simplifieringen anses dock vara godtagbar då tillväxthastigheten är ultrasnabb vilket innebär att brandens bas kommer växa snabbt. Ingen hänsyn tas heller till eventuell brandspridning till föremål utanför garderoben.

Vid stängt entréplan visar simuleringarna att det är brandgaslagrets höjd som först uppnår kritiska förhållanden. För huvudentrén uppnås detta efter 108 sekunder. För tid till kritiska nivåer för samtliga parametrar se tabell 10.1.

Tabell 10.1. Tid till kritiska nivåer för olika parametrar i garderobsbranden (stängt entréplan).

Parameter	Entrén [s]
Siktbarhet	130
Brandgaslagrets höjd	90;108;125
Värmestrålning	286
Temperatur	280

I fallet med öppet entréplan är liksom tidigare brandgaslagrets höjd den kritiska parametern. Efter 108 sekunder uppnås kritiska nivåer vid huvudentrén. Tiden är identisk med den från fallet stängt entréplan. För tid till kritiska nivåer för samtliga parametrar se tabell 10.2.

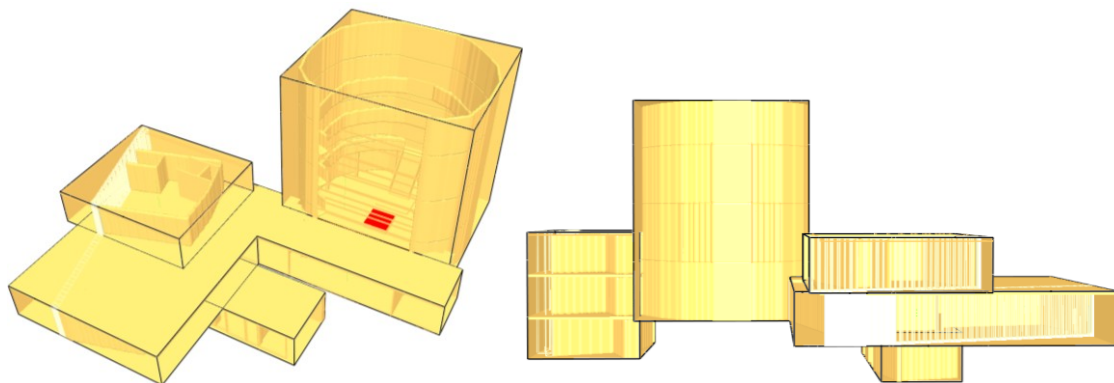
Tabell 10.2. Tid till kritiska nivåer för olika parametrar i garderobsbranden (öppet entréplan, plan 1-3).

Parameter	Entrén [s]	Foajé P2 [s]	Foajé P3 [s]	Trp A/B [s]
Siktbarhet	130	220	470	175
Brandgaslagrets höjd	92; 108 ;124	270	-	155
Värmestrålning	320	-	-	400
Temperatur	-	-	-	170

Tider med fet text i tabellerna 10.1-10.4 är de punktskattningar som kommer analyseras vidare. Intervallen kring dessa används senare i en osäkerhetsanalys. I fallet garderobsbrand med öppet entréplan förs ingen vidare kvantitativ analys, scenariot behandlas istället semi-kvantitativt i bilaga G.

10.3 Wirénsalen

Brand i Wirénsalen simuleras med två dörrar öppna från lokalen; en ut till trapphus E och en ut till foajén utanför Repsalen. Geometrin innefattar, förutom Wirénsalen, även foajéer på plan 2 och 3 samt trapphus E i tre plan. Trapphus A går hela vägen ned till plan 1. För illustration se figur 10.2.



Figur 10.2. Geometrier som används vid brand i Wirénsalen.

I Wirénsalen involveras en stor mängd träföremål i branden. Eftersom FDS endast kan simulera ett bränsle väljs cellulosa som brännbart material då det anses vara mest representativt. Materialegenskaper för cellulosa hämtas från *SFPE* (Tewarson, 2002). Bränslet placeras på en obstruktion en halv meter över marken. Effektkurvan för branden i Wirénsalen, se avsnitt 8.2, används som effektkurva i simuleringen. I likhet med branden i garderoben ansätts branden att omfatta sin maximala area (4 m²) redan från tiden noll.

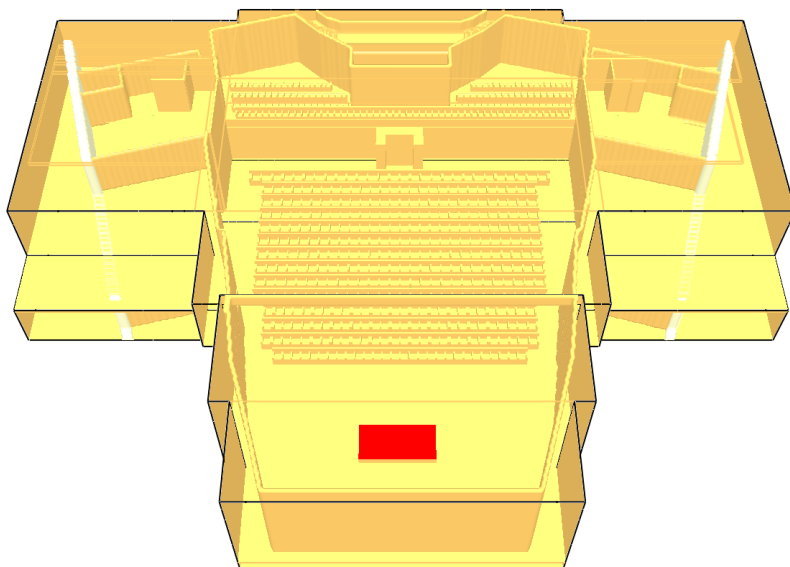
Simuleringarna visar att det efter 275 sekunder uppstår kritiska förhållanden utanför Repsalen. Parametern som uppnår kritisk nivå är siktbarhet. Efter 230 sekunder uppnår sikten kritiska nivåer inne i Wirénsalen. För tid till kritiska nivåer för samtliga parametrar se tabell 10.3.

Tabell 10.3. Tid till kritiska nivåer för olika parametrar vid brand i Wirénsalen.

Parameter	Wirénsalen [s]	Foajé P2 [s]	Foajé P3 [s]	Trp E P2 [s]	Trp E P3 [s]	Trp E P1 [s]	Trp B [s]
Siktbarhet	215; 230 ;240	255; 275 ;285	405	270	370	>500	>500
Brandgaslagrets höjd	295	300	355	222	322	422	442
Värmestrålning	300	-	-	-	-	-	-
Temperatur	300	-	-	-	-	-	-

10.4 Scenen

Brand på scen simuleras med öppen Konsertsal, det vill säga med öppna dörrar ut mot foajéerna på plan 2 och 3. Trapphus A och B är öppna ända ner till plan 1. Den geometri som används ses i figur 10.3.



Figur 10.3. Geometri som används vid brand på scenen.

Liksom i fallet Wirénsalen antas mestadels träföremål utgöra bränsle och cellulosa väljs som brännbart material. Samma materialegenskaper används och hämtas från *SFPE* (Tewarson, 2002). Bränslet placeras på en obstruktion 0,4 meter över marken och cirka fyra meter från scenens kant. Branden ansätts även här att omfatta maximal area (8 m²) redan från början. Effektkurvan för branden på scenen, se avsnitt 8.3, används som effektkurva i simuleringen.

Simuleringen visar att kritiska förhållanden uppstår efter 210 sekunder på scenen, 215 sekunder i salongen och 125 sekunder på läktaren. I alla fallen är det brandgaslagrets höjd som uppnår kritiska nivåer. För tid till kritiska nivåer för samtliga parametrar se tabell 10.4.

Tabell 10.4. Tid till kritiska nivåer för olika parametrar vid brand på scenen.

Parameter	Scenen [s]	Salongen [s]	Läktaren [s]	Foajéer P2 [s]	Foajéer P3 [s]	Trp A/B P1 [s]
Siktbarhet	250	320	125	305	175	500
Brandgaslagrets höjd	190;210;225	190;215;235	118;125;138	303	165	420
Värmestrålning	300	320	-	-	-	-
Temperatur	335	430	290	-	375	-

10.5 Verifiering och validering

För att undersöka simuleringarnas noggrannhet krävs verifiering och validering av resultaten. Trots att utvecklarna av FDS publicerar verifikations- och valideringsstudier är det upp till användaren att undersöka om modellen är applicerbar för givet fall eller inte.

Praxis är att undersöka cellernas inverkan på resultatet, det vill säga kontrollera att cellstorleken ej har inverkan på utdata. På grund av de långa simuleringstiderna genomförs inte någon sådan studie. Önskvärt är även att variera indataparametrar, såsom sotpotential och tillväxthastighet, som en sorts känslighetsanalys. Av samma skäl som tidigare undersöks endast hur tillväxthastigheten inverkar på resultatet. Sotpotentialen anses även vara representativ för valda bränslen. Granskningen görs bara för garderobsbranden, se tabell 10.5.

Tabell 10.5. Jämförelse av tid till kritiska nivåer för olika parametrar för brand i garderob med olika tillväxthastigheter.

Parameter	Entrén [s]	
	Ultrasnabb	Snabb
Siktbarhet	130	175
Brandgaslagrets höjd	108	126
Värmestrålning	286	410
Temperatur	280	-

Som det går att utläsa ur tabell 10.5 påverkar tillväxthastigheten tiden tills dess att kritiska nivåer uppstår endast marginellt. Med snabb tillväxt på branden ökar tiden tills kritiska förhållanden uppstår med 18 sekunder i entrén. Även om tillväxthastigheten som används är överskattad kommer kritiska förhållanden likväl uppstå inom snarlik tid.

För att bedöma resultatens rimlighet genomförs en jämförelse med CFAST. Denna återfinns i bilaga I.

11 Resultat innan åtgärder

I detta kapitel redovisas tider till dess att kritiska förhållanden uppstår. Även utrymningstidens olika faser för respektive scenario redovisas. Tid till kritiska förhållanden och utrymningstid jämförs och diskussion förs om säker utrymning anses kunna ske.

11.1 Kritiska förhållanden

Tiden till dess att kritiska förhållanden uppstår redovisas i kapitel 10. Resultaten sammanställs i tabell 11.1. För definition av de olika scenarierna se kapitel 9.

Tabell 11.1. Punktskattningar av tid till kritiska förhållanden.

Scenario	Tid till kritiska förhållanden [s]
Garderob (paus)	108
Wirénsalen	230
Wirénsalen (föreställning - Repsalen)	275
Wirénsalen (paus - Repsalen)	275
Scenen (föreställning - läktare)	125
Scenen (föreställning - salong)	215
Scenen (föreställning - scen)	210

11.2 Utrymningstid

Tiden för utrymning delas upp i tre faser; varseblivningstid, förberedelsetid och förflyttningstid. En sammanställning av resultaten presenteras i tabell 11.2-11.4.

11.2.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden definieras som den tid som åtgår från dess att branden startar till dess att de riskutsatta personerna förstår att någonting har hänt. Varseblivningstiden för de olika scenarierna som analyseras i rapporten redovisas i tabell 11.2. I bilaga J redovisas hur dessa tider erhålls.

Tabell 11.2. Punktskattningar av varseblivningstider.

Scenario	Varseblivningstid [s]
Garderob (paus)	11
Wirénsalen	38
Wirénsalen (föreställning - Repsalen)	38
Wirénsalen (paus - Repsalen)	38
Scenen (föreställning - läktare)	60
Scenen (föreställning - salong)	60
Scenen (föreställning - scen)	60

11.2.2 Förberedelsetid

Generella rekommendationer för representativ förberedelsetid passande aktuella scenarier förekommer inte i tillräcklig mängd. Tiden är beroende av en mängd faktorer och önskvärt vore att försökskontrollera den för varje specifik lokal, verksamhet och besöksklientel. På grund av arbetsbördan som motsvarande test skulle innebära är de icke genomförbara inom projektets tidsram. Subjektiva bedömningar har, tillsammans med visst faktaunderlag, utgjort grunden för skattning av förberedelsetiden. Resonemanget redovisas i bilaga K och resultatet för de olika scenarierna i tabell 11.3.

Tabell 11.3. Punktskattningar av förberedelsetider.

Scenario	Förberedelsetid [s]
Garderob (paus)	60
Wirénsalen	60
Wirénsalen (föreställning - Repsalen)	240
Wirénsalen (paus - Repsalen)	60
Scenen (föreställning - läktare)	60
Scenen (föreställning - salong)	60
Scenen (föreställning - scen)	60

11.2.3 Förflyttningstid

Förflyttningstiden definieras här som den tid som åtgår från att personerna påbörjar utrymningsförflyttning till dess att den sista personen är i säkerhet. Förflyttningstiden simuleras med programmet Simulex, för indata hänvisas läsaren till bilaga L. Se bilaga C för allmän information om Simulex. Erhållna tider redovisas i tabell 11.4.

Tabell 11.4. Punktskattningar av förflyttningstider.

Scenario	Förflyttningstid [s]
Garderob (paus)	95
Wirénsalen	50
Wirénsalen (föreställning - Repsalen)	105
Wirénsalen (paus - Repsalen)	155
Scenen (föreställning - läktare)	65
Scenen (föreställning - salong)	200
Scenen (föreställning - scen)	20

11.3 Resultat

Tiden till dess att kritiska förhållanden uppstår jämförs med totala utrymningstiden, ekvation 1 används. Om marginalen ($t_{\text{kritisk}} - t_{\text{utrymning}}$) är positiv förväntas säker utrymning kunna ske. En viss säkerhetsmarginal ska dock finnas och marginalen ska inte accepteras utan eftertanke. Framtagna marginaler redovisas i tabell 11.5.

Tabell 11.5. Sammanställning av framtagna punktskattningar samt medförande tidsmarginal.

Scenario	t_{kritisk} [s]	$t_{\text{varseblivning}}$ [s]	$t_{\text{förberedelse}}$ [s]	$t_{\text{förflyttning}}$ [s]	Marginal [s]
Garderob (paus)	108	11	60	95	-58
Wirénsalen	230	38	60	50	82
Wirénsalen (föreställning - Repsalen)	275	38	240	105	-108
Wirénsalen (paus - Repsalen)	275	38	60	155	22
Scenen (föreställning - läktare)	125	60	60	65	-60
Scenen (föreställning - salong)	215	60	60	200	-105
Scenen (föreställning - scen)	210	60	60	20	70

11.3.1 Diskussion resultat

Tidsmarginalen skiljer sig åt mellan Wirénsalen (paus – Repsalen) och Wirénsalen (föreställning – Repsalen). Skillnaden kan tyckas anmärkningsvärd eftersom det är fler personer som direkt påverkas i det första fallet, men förklaras av att förberedelse tiden i det senare fallet bedöms vara längre.

Marginalen erhålls med punktskattningar av de ingående parametrarna. Dessa innehåller osäkerheter och därför genomförs en osäkerhetsanalys där punktskattningarna ersätts med fördelningar för att kontrollera om utfallet blir detsamma. Kravet är att säker utrymning ska kunna ske i 100 procent av fallen och osäkerhetsanalysen utförs därför endast på scenarier med positiv tidsmarginal. Scenarier med uppvisad negativ marginal ligger redan inom intervallet för möjliga utfall och därför tillför en osäkerhetsanalys på dessa ingen ny information.

12 Osäkerhetsanalys av resultat innan åtgärder

I detta kapitel redovisas en osäkerhetsanalys av resultat innan åtgärder. Analysen används till att undersöka osäkerheterna i framtagna tidsmarginaler.

Osäkerheter finns i framtagna tider då dessa bland annat grundas på förenklingar och subjektiva bedömningar. För att ta hänsyn till och uppskatta innebörden av dessa osäkerheter genomförs en osäkerhetsanalys. Programmet @RISK används, allmän information om detta program redovisas i bilaga C. Den vanliga arbetsgången är att beräkna tidsmarginalen och på så sätt avgöra om säker utrymning kan ske. I uttrycket för att ta fram denna är förberedelse tiden den parameter som är svårast att skatta. Kritiska förhållanden tas fram med FDS. Varseblivningstiden och förflyttningstiden kan skattas med mätbara variabler så som detektoraktivering, förflyttningssträcka och persontäthet; simuleringsprogram används mestadels även för detta. Förberedelse tiden kan inte uppskattas på samma sätt och osäkerhetsanalysen väljs att belysa denna variabel. Frågan som skall besvaras är vilken maximal förberedelse tid som kan anses vara acceptabel och om den är rimlig utifrån förutsättningarna i scenarierna. Kravet är att säker utrymning skall kunna ske i 100 procent av fallen.

En omskrivning av ekvation 1 ger följande samband:

$$t_{\text{förberedelse}} < t_{\text{kritiskt}} - t_{\text{varseblivning}} - t_{\text{förflyttning}} \quad (1)$$

Säker utrymning anses kunna ske om sambandet uppfylls, men samma krav på säkerhetsmarginal som nämns i avsnitt 11.3 gäller. Tiderna som används i @RISK presenteras i tabell 12.1-12.3.

12.1 Kritiska förhållanden

Variablerna som kontrolleras i FDS är brandgaslagrets höjd, siktbarhet, strålning och temperatur. I Wirénsalen är det siktbarheten som först ger upphov till kritiska förhållanden, medan det på scenen är brandgaslagrets höjd. Då lokalerna är relativt stora uppstår dessa förhållanden ej simultant i hela utrymnet utan viss tidsskillnad förekommer, varför ett intervall tas fram. Tidsintervallet anges som min- och maxtider och dessa redovisas i tabell 12.1. I @RISK ansätts en triangulär fördelning.

Tabell 12.1. Trolig tid med tidsintervall till kritiska förhållanden.

Scenario	Trolig tid [s]	Min/Max [s]
Wirénsalen	230	215/240
Wirénsalen (paus - Repsalen)	275	255/285
Scenen (föreställning - scen)	210	190/225

12.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden uppskattas med hjälp av olika metoder så som DetactQS, FDS och förväntad visuell detektionstid, se bilaga J. Detektortypen i Wirénsalen (optisk linjerökdetektor) innebär att FDS är lämpligt att använda. I denna sal prövas olika detektorplaceringar. Syftet är att kontrollera innebörden av brandens placering i förhållande till detektorn. Simulering görs med detektor placerad rakt ovanför och vid sidan om branden, medan detektorns höjd motsvarar den verkliga i samtliga fall. Detektion för brand på scenen antas ske snabbast visuellt. Trolig tid är då effektutvecklingen motsvarar brand i två papperskorgar (≈ 200 kW). Variationen görs i intervallet en halv papperskorg till fyra papperskorgar. Utifrån effektutvecklingskurvan i figur 8.3 motsvarar detta ett intervall om +/- 30 sekunder. Tider redovisas i tabell 12.2 och i @RISK ansätts en triangulär fördelning.

Tabell 12.2. Trolig tid med tidsintervall för varseblivningsfasen.

Scenario	Trolig tid [s]	Min/Max [s]
Wirénsalen	38	27/48
Wirénsalen (paus - Repsalen)	38	27/48
Scenen (föreställning - scen)	60	30/90

12.2 Förflyttningstid

Förflyttningstiden simuleras med programmet Simulex, indata redovisas i bilaga L. Troliga tider erhålls då personerna i Simulex definieras med blandad åldersfördelning. Alternativ tid erhålls då personerna definieras som skolbarn. Vid brand på scenen sammanfaller trolig och alternativ tid eftersom gångsträckan till utrymningsvägen är kort, varför flödet genom dörren blir linjärt. Tider redovisas i tabell 12.3. I @RISK ansätts en likformig fördelning.

Tabell 12.3. Trolig och alternativ tid för förflyttningsfasen.

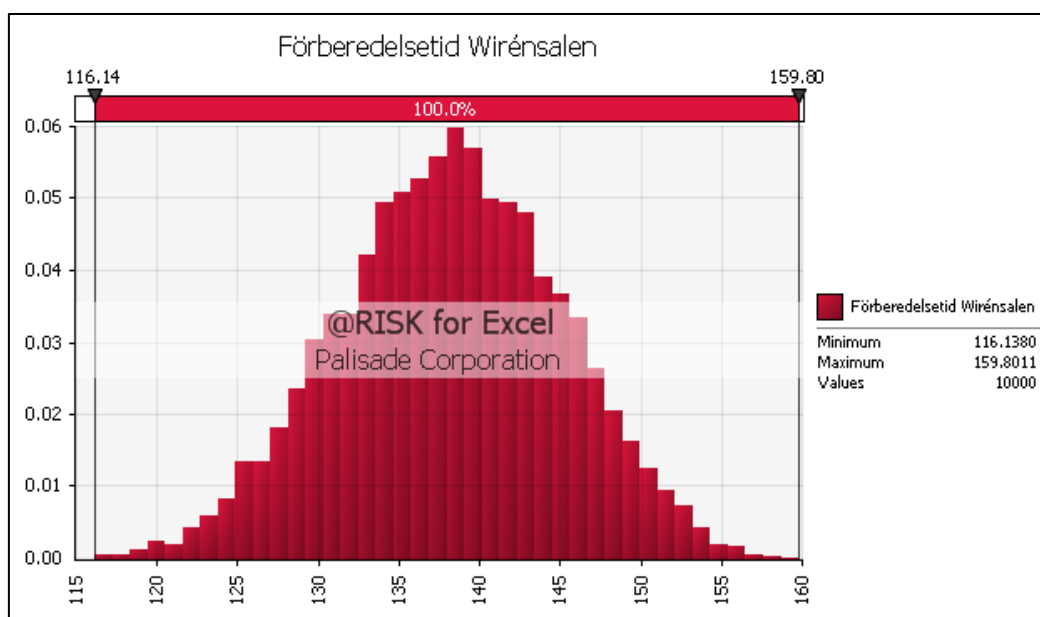
Scenario	Trolig tid [s]	Alternativ tid [s]
Wirénsalen	50	55
Wirénsalen (paus - Repsalen)	155	165
Scenen (föreställning - scen)	20	20

12.3 Resultat osäkerhetsanalys

Nedan presenteras och diskuteras tillgänglig förberedelsestid för de studerade scenerierna.

12.3.1 Wirénsalen

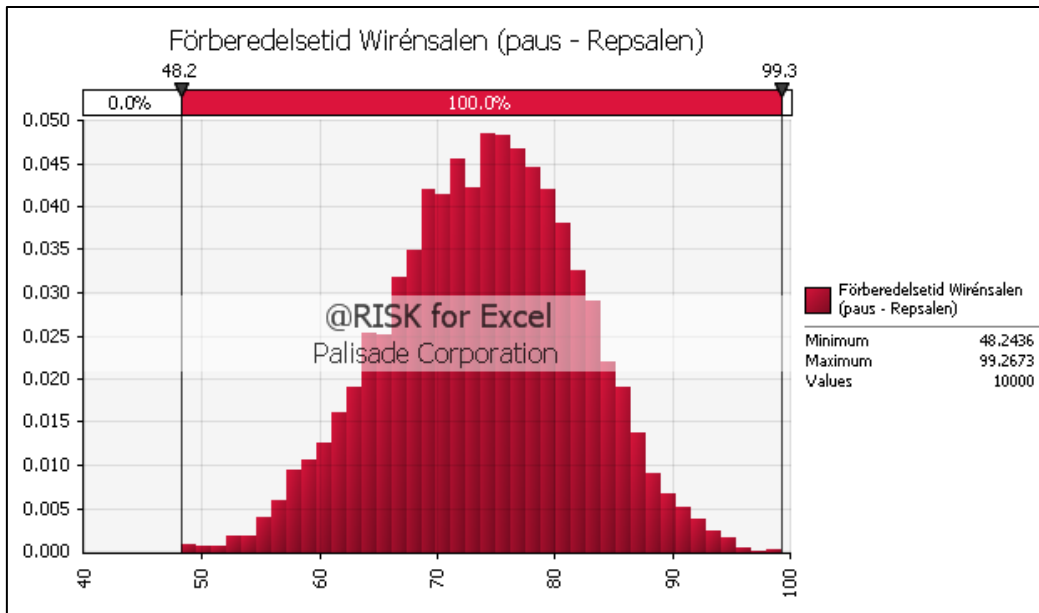
Vid brand i Wirénsalen, då personer endast vistas i Wirénsalen, krävs en förberedelsestid på ungefär 115 sekunder för att en säker utrymning ska kunna ske till 100 procent, se figur 12.1. Tiden är med marginal längre än den som redovisas som trolig, 60 sekunder, och en säker utrymning bedöms kunna ske. Åtgärder behöver därför ej vidtas.



Figur 12.1. Förberedelsestid för Wirénsalen.

12.3.2 Wirénsalen (paus - Repsalen)

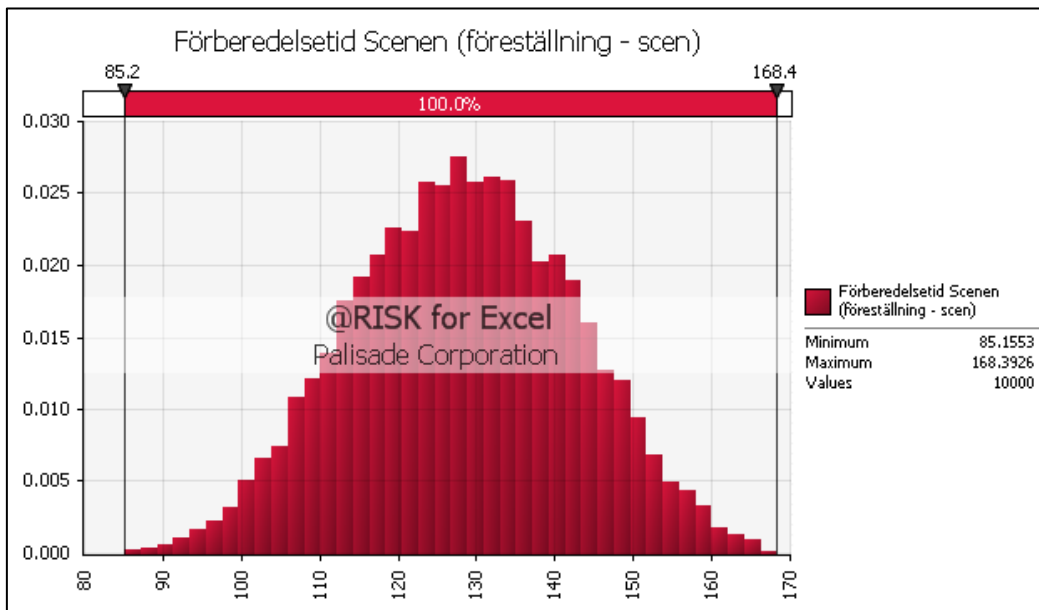
Vid brand i Wirénsalen (paus – Repsalen), då personer förekommer i både Wirénsalen och Repsalen, krävs en förberedelsestid på ungefär 50 sekunder för att en säker utrymning ska kunna ske till 100 procent, se figur 12.2. Tiden är lägre än den som redovisas som trolig, 60 sekunder, och en säker utrymning kan ej garanteras. Åtgärder behöver därför vidtas.



Figur 12.2. Förberedelsetid för Wirénsalen (paus – Repsalen).

12.3.3 Scenen

Vid brand på scenen krävs en förberedelsetid på drygt 80 sekunder för att en säker utrymning ska kunna ske till 100 procent, se figur 12.3. Tiden är längre än den som redovisas som trolig, 60 sekunder, och en säker utrymning bedöms kunna ske. Åtgärder behöver därför ej vidtas.



Figur 12.3. Förberedelsetid för Scenen (föreställning – scen).

12.3.4 Slutsats

Osäkerhetsanalysen visar att av de studerade scenarierna är det endast Wirénsalen (paus – Repsalen) som riskerar att leda till en negativ marginal. Därför kommer detta scenario adderas till de redan utvalda som skall utredas vidare i rapporten. Förslag på åtgärder presenteras i kapitel 13.

13 Förslag på åtgärder

I detta kapitel diskuteras åtgärdsförslag med syftet att förbindra att kritiska utrymningsförhållanden uppstår för de scenarier som studeras. Anslutningsvis diskuteras övriga åtgärdsförslag.

13.1 Garderob

I rapporten konstateras att en brand i garderob kan leda till kritiska utrymningsförhållanden. Orsaken är främst snabb brandtillväxt och hög brandbelastning. Andra förhållanden som försvårar är att garderoben är placerad i den huvudsakliga och mest kända utrymningsvägen i byggnaden. Eftersom dörrarna till trapphus A och B också låser när de stängs kan endast huvudentrén utnyttjas som utrymningsväg, för besökare i entrén, vid brand. Förslag rörande garderoben presenteras nedan.

- Gör garderoberna brandtekniskt avskilda från entrén eller montera sprinkler.

För att erhålla godtagbara utrymningsförhållanden i entrén måste brandgasspridningen begränsas. I huvudsak kan detta göras på två sätt; avskärma branden eller bekämpa den. Avskärmning kan ske genom att garderoberna byggas in i en permanent avskiljande konstruktion, alternativt att de omsluts av brandgardiner. Om det tidigare alternativet väljs ska garderoberna bland annat förses med dörrar som stänger automatiskt vid detektion. Det senare alternativet möjliggör att garderoberna kan behålla sin nuvarande utformning men garderoberna måste då kunna omslutas från golv till tak.

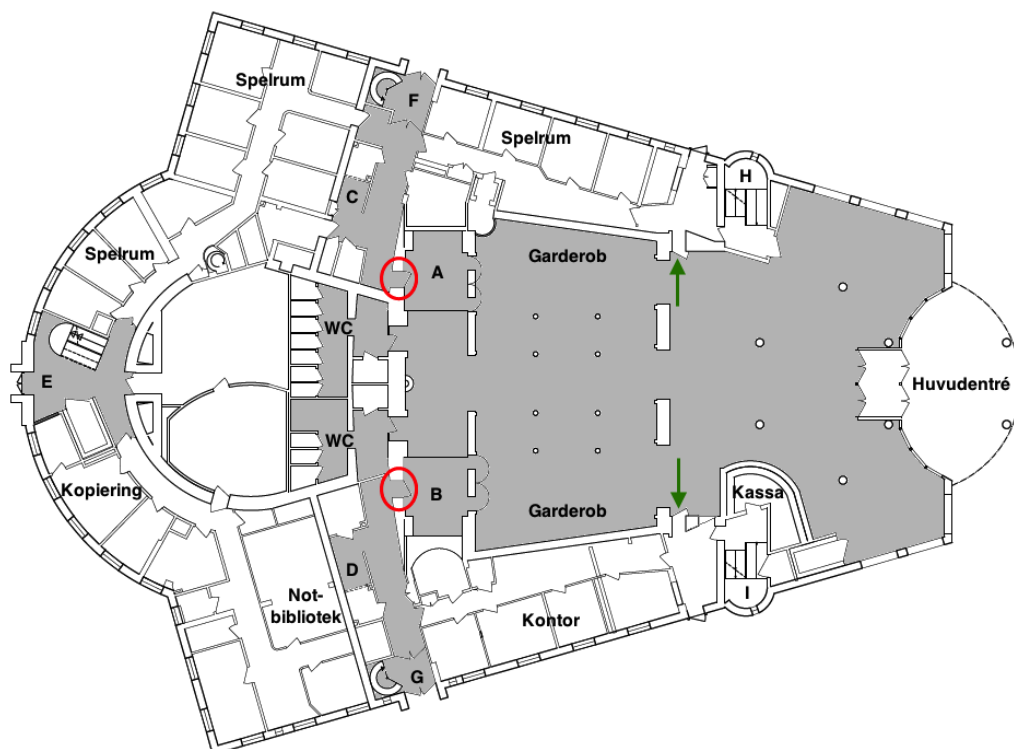
Omfattningen på eventuellt sprinklersystem går att diskutera; sprinklers kan monteras i hela entrén eller enbart som punktskydd ovanför garderoberna. Fördelen med att montera sprinkler i hela entrén är att även en brand som uppstår utanför garderobsutrymmena kan bekämpas. Detta alternativ blir dock mer ekonomiskt kostsamt än punktskydd.

- Utöka garderobskapaciteten.

I dagsläget är inte garderoberna dimensionerade för antalet besökare. Det förekommer att kläder placeras i högar i entrén vilket innebär en onödig brandrisk som kan påskynda brandspridning samt skapa hinder i utrymningsvägen. Om kapaciteten utökas förhindras detta. För att nå önskad effekt från föregående åtgärdsförslag, förutom vid heltäckande sprinklersystem, är dessutom detta ett krav då det förutsätter att alla kläder är i garderoberna.

- Utforma minst en ny utrymningsväg.

Anledningen till att dörrarna till trapphus A och B ej kan öppnas från entrésidan då de stängs är att neka obehöriga tillträde till plan 2. Konserthuset antas vilja ha kvar denna funktion eftersom den kan vara tillämpbar exempelvis innan föreställningsstart. Då låsningen inträffar även vid detektion krävs ytterligare en utrymningsväg för att uppfylla kraven enligt BBR (2008 §5:311) om minst två av varandra oberoende utrymningsvägar. En idé är att utnyttja de låsta dörrarna som förekommer längs vardera långsida i entrén, se figur 13.1. Dessa dörrar leder, via vindfång, ut till det fria. Istället för att ha låsningen på dörrarna i entrén kan de monteras på dörrarna i vindfånget som leder till personalutrymmena. På så sätt erhålls ytterligare två utrymningsvägar samtidigt som obehöriga fortfarande nekas tillträde till personalutrymmena. I dagsläget är dörrarna dock felhängda och öppnas in mot entrén. För att användas som utrymningsvägar behöver dörrhängningen ändras. Dörrarna ska skyltas enligt BBR (2008 §5:351).



Figur 13.1. Förslag på nya utrymningsvägar i entrén är markerade med pilar.

Om låsfunktionen på dörrarna till trapphus A och B istället tas bort kan dessa användas som oberoende utrymningsvägar och ovanstående åtgärd behöver ej genomföras. Utrymningsvägarna via trapphus A och B måste i så fall förses med utrymningsskyltar.

- Montera extra vägledande markeringar.

Om nya utrymningsvägar utformas efter byggnadens långsidor bör extra vägledande markeringar monteras mellan utgångarna.

13.2 Wirénsalen

I rapporten konstateras att en brand i Wirénsalen kan leda till kritiska utrymningsförhållanden. Kritiska förhållanden uppstår i trapphus E och i foajén tillhörande trapphus B under tiden personer köar för fortsatt förflyttning. Förslag rörande Wirénsalen presenteras nedan.

- Ersätt dörruppställare på dörr mot trapphus E med magnetupphängning. Befintlig dörruppställare visas i bild 13.1.



Bild 13.1. Befintlig dörruppställare mot trapphus E från Wirénsalen (Foto: Daniel Lillienberg).

Magnetupphängningen skall vara kopplad till brandlarmcentralen. Denna åtgärd gör att dörren kan förväntas stänga vid detektion av brand.

- Åtgärda heltäckningsmattan kring den magnetupphängda dörren mot trapphus B.

Dörren är svärstängd eftersom golvmattan är lös från underlaget och buktar upp. Om det säkerställs att mattan inte hindrar dörrstängarens funktion kan denna antas stänga vid detektion.

13.3 Scenen

I rapporten framkommer att en brand på scenen leder till kritiska utrymningsförhållanden i Konsertsalen. Förslag rörande scenen dimensioneras utifrån en personbelastning på 300 personer och presenteras nedan.

- Installera brandgardin i framkanten av scenen.

En brandgardin kan utformas för att förhindra brandgasspridning ut i salongsdelen, alternativt för att fördröja densamma. För att förhindra spridning behöver gardinen sträcka sig från golv till tak. Eftersträvas bara en fördröjning kan den utformas för att endast sänkas en kortare sträcka.

För information ställer BBR (2008 §5:673) idag krav på att större scen i samlingslokal, utan hänsyn till scenöppningen, skall utformas som egen brandcell. Vidare nämns det att scenens öppning bör avskärmas med en brandgardin. Om detta visar sig vara en analytisk godtagbar lösning skall senare validering ge svar på.

- Installera brandgasventilation ovanför scenen.

Brandgasventilation kan installeras ovanför scenen för att hålla brandgaserna ovan kritisk nivå. Ventilationen förlänger tiden till kritiska förhållanden uppstår. Flätkapaciteten kan dimensioneras för hela brandförloppet eller endast tiden det tar att utrymma lokalen.

- Installera brandgardin i kombination med brandgasventilation ovanför scenen.

Om förslagen rörande brandgardin och brandgasventilation inte visar sig fungera föreslås en kombination av de båda.

- Om brandgardin monteras bör den kompletteras med ridåsprinkler.

För en scen större än 120 m² rekommenderar BBR (2008 §5:673) en ridåsprinkler. Scenen i Örebro Konserthus är med marginal större än 120 m².

Rekommendation av BBR antas endast gälla brandgardin/ridå som går från golv till tak. Tidigare förslag om gardin som ej når ända ner till golvet anses inte vara kombinerbar med ridåsprinkler. Anledningen är att en ridåsprinkler förväntas kyla brandgaserna och på så sätt minska deras lyftkraft. Resultatet blir en tidigare spridning ut i salongsdelen då brandgaserna snabbare sjunker under brandgardinen. Ridåsprinkler undersöks därför enbart i kombination med heltäckande brandgardin.

- Undvik olämplig placering av material på scenen.

Det förekommer att till exempel större blomkrukor placeras precis ovanför trapporna som förbinder scenen med salongen, se bild 13.2. Material på detta ställe begränsar framkomligheten i trapporna. En fri yta ska lämnas i trappornas närhet.



Bild 13.2. Krukväxt som förhindrar framkomligheten upp till scenen (Foto: Daniel Lillienberg).

13.4 Övriga åtgärdsförslag

I detta avsnitt ges åtgärdsförslag som inte passar in i under övriga delavsnitt.

- Täta genomföringar i brandcellsavskiljande vägg mellan scenen och bakomliggande utrymme.

Genomföringar finns i brandcellsavskiljande vägg mellan scenen och bakomvarande utrymme. För att avskiljande funktion ska uppfyllas skall genomföringar tätas på ett sådant sätt att den avskiljande funktionen säkerställs.

- Ändra dörrhängning på dörrarna som leder från trapphus A och B mot utgångarna vid trapphus F och G.

Dörrarna antas utgöra utrymningsvägar huvudsakligen för personer som genomför förflyttning i trappuppgång A och B. Enligt BBR 2008 (§5:342) ska dörrar till eller i utrymningsvägar vara utåtgående i utrymningsriktningen, vilket ej är fallet idag. Förslagsvis roteras karmarna 180 grader runt sin vertikala axel, samt skiftas mellan trapphus A och B. På så sätt kan befintliga dörrar brukas. För förtydligande av vilka dörrar som avses se ringarna i figur 13.1.

- Ersätt och omplacera utrymningsskyltar i trapphus A och B på plan 1.

I dagsläget förekommer efterlysande markeringar. Enligt BBR 2008 (§5:351) ska vägledande markeringar i samlingslokaler vara belysta eller genomlysta. Då trappuppgångarna utgör utrymningsväg från samlingslokaler ska skyltarna vara belysta eller genomlysta. Vidare skall vägledande markeringar vara väl synliga. I nuläget är skyltarna placerade i 90 graders vinkel mot personer som förflyttar sig ner i trapporna. En bättre placering är att utrymmande personer ser skyltarna rakt framifrån.

- Ta fram underlag rörande ventilationssystemet.

I dagsläget finns inte tillräckligt med underlag för att göra en bedömning av brandgasspridning via ventilationssystemet. För att möjliggöra detta, och säkerställa att personsäkerheten inte påverkas, behövs mer information om systemet. I samband med detta ska det säkerställas att årlig obligatorisk ventilationskontroll genomförs.

14 Validering av åtgärdsförslag

I detta kapitel genomförs valideringar av de respektive åtgärdsförslagen. Målet är att undersöka om givna åtgärdsförslag är tillräckliga för att säkerställa att säker utrymning kan ske.

14.1 Garderob

- Gör garderoberna brandtekniskt avskilda från entrén eller montera sprinkler.

Två åtgärdsförslag ges för att brandtekniskt avskilja garderoberna. Garderoberna kan omkonstrueras alternativt behålla nuvarande utformning. Det senare förutsätter montering av brandgardiner som vid detektion omsluter garderobsutrymmena från golv till tak. Fullständig validering av dessa åtgärdsförslag redovisas i bilaga M. Valideringen visar att förslagen leder till att säker utrymning kan genomföras och därmed är båda åtgärdsförslagen godtagbara. Exempel på brandgardinplacering illustreras i figur 14.1.



Figur 14.1. Illustration av hur en brandbeständig gardin skulle kunna monteras i taket utanför garderobsutrymmena. I figuren visas en delvis nedsänkt gardin.

Gällande förslaget om sprinklersystem eftersträvas en snabb aktivering för att erhålla gynnsamma utrymningsförhållanden. Validering sker med ett system som har låg aktiveringstemperatur (57°C) och ett lågt RTI-värde ($30 \text{ (m}\cdot\text{s)}^{1/2}$). Till skillnad från de avskärmande åtgärdsförslagen kommer branden fortsätta sprida brandgaser även efter aktivering. Tiden till kritiska förhållanden kommer dock att bli längre jämfört med om ingen sprinkler används.

Simuleringsresultat i FDS visar att om viss tolerans ges på kriteriet brandgaslagrets höjd kan säker utrymning ske, annars inte. Valideringen redovisas fullständigt i bilaga M. Observeras skall dock att FDS ej tar hänsyn till eventuell kylning av brandgaserna och efterföljande omblandning. Försiktigheter bör därför vidtas och en djupare utredning rekommenderas innan åtgärden genomförs. Eftersom förslagen rörande avskiljning av garderoben fungerar utreds inte sprinklerförslaget vidare.

- Utöka garderobskapaciteten.

I dagsläget är inte garderoberna dimensionerade för antalet besökare och det förekommer att kläder placeras i högar i entrén, se bild 8.1. Om garderobskapaciteten utökas avlägsnas problemet.

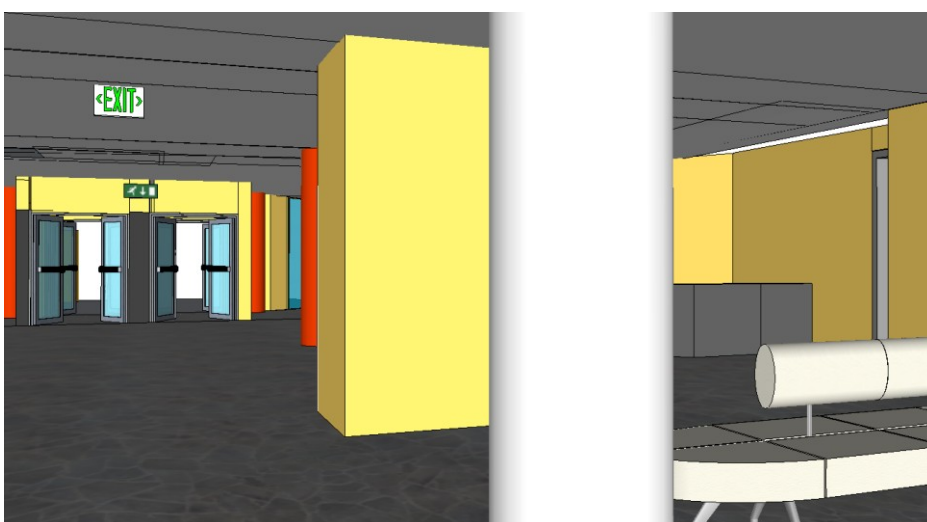
Det ska återigen poängteras att en utökning ska ske i kombination med ovanstående åtgärdsförslag; omkonstruktion eller installation av brandgardin.

- Utforma minst en utrymningsväg till.

I dagsläget föreligger risk att en brand kan slå ut den enda utrymningsvägen i huvudentrén. Om en extra utrymningsväg utformas avlägsnas problemet. Förflyttningsfasens bidrag till total utrymningstid kommer att minska vilket är eftersträvansvärt. Endast en minskning av förflyttningstiden bedöms dock inte, utifrån tiderna i avsnitt 11.3, vara tillräcklig för att säker utrymning ska kunna garanteras.

- Montera extra vägledande markeringar.

Om nya utrymningsvägar utformas efter byggnadens långsidor bör extra vägledande markeringar monteras mellan utgångarna. Behov av detta anses föreligga då dörrarna från flera positioner skymms på grund av entréns geometri. Förslag på skyltplacering illustreras i figur 14.2.



Figur 14.2. Förslag på placering av extra vägledande markering. Utrymningsskylten i mitten uppfyller inte krav på utformning enligt Arbetsmiljöverket utan illustrerar endast lämplig placering.

14.2 Wirénsalen

- Ersätt dörruppställare på dörr mot trapphus E med magnetupphängning.

Om dörren mellan Wirénsalen och trapphus E förses med magnetupphängning kopplad till brandlarmcentralen antas dörren stänga vid detektion. Med denna åtgärd anses säker utrymning kunna genomföras via trapphus E.

- Åtgärda heltäckningsmattan kring den magnetupphängda dörren mot trapphus B.

Om det säkerställs att mattan inte hindrar dörrstängarens funktion kan denna antas stänga vid detektion. Om så sker anses säker utrymning kunna genomföras genom foajén invid trapphus B.

14.3 Scenen

- Installera brandgardin i framkanten av scenen.

Två alternativ nämns i åtgärdsförslagen; en brandgardin som sträcker sig från golv till tak och en som endast sträcker sig en kortare sträcka. Det första alternativet förhindrar brandgasspridning ut i salongsdelen, efter fullständig nedsänkning, medan det senare bara förlänger tiden till dess att kritiska förhållanden uppstår i salongsdelen. I fortsättningen benämns de alternativ 1 och 2.

Åtgärdsförslagen prövas i FDS. Simuleringar visar att alternativ 1 förhindrar brandgasspridning ut i salongsdelen och att kritiska förhållanden endast uppstår på scenen. Av denna anledning kan marginalen endast tas fram för personer på scenen. Marginalen är så pass negativ att någon osäkerhetsanalys inte bedöms förändra slutsatsen; lösningen är icke godtagbar och en säker utrymning kan ej garanteras. Valideringen redovisas fullständigt i bilaga M.

Alternativ 2 visar sig vara en icke godtagbar lösning då kritiska förhållanden uppstår innan fullständig utrymning genomförs. Valideringen redovisas fullständigt i bilaga M.

- Installera brandgasventilation ovanför scenen.

I åtgärdsförslagen nämns två alternativ angående brandgasventilation; ett system med kapacitet att hantera brandens maximala effekt på 15 MW och ett system dimensionerat att hålla brandgaserna på konstant nivå under utrymningsförloppets tid.

För att räkna på denna lösning används Yamana-Tanakas tvåzonsmodell för mekanisk brandgasventilation. Samtliga beräkningar, samt en förklaring av modellen, finns utförligt beskrivna i bilaga M. Den bästa lösningen ur både utrymnings säkerhets- och brandspridningssynpunkt är att installera ventilation med kapacitet att hantera brandens fulla effekt, 15 MW. Denna lösning leder dock till att en mycket stor kapacitet krävs av fläktarna (100 m³/s) och att tilluften blir svår att lösa på ett praktiskt sätt. För att erhålla nödvändig tilluftsmängd måste ett flertal fönster utanför Konsertsalen förses med automatiska öppnare. Lösningens omfattning anses inte vara varken praktiskt rimlig eller tillräckligt tekniskt pålitlig för att rekommenderas. En idé skulle kunna vara att använda kraftiga tilluftsfläktar, men det anses inte heller praktiskt möjligt att installera dessa i salongen på grund av brist på utrymme. Tilluftsfläktar kan inte heller placeras på scenen, nära branden, eftersom det riskerar att förvärra rökfyllnadsprocessen (Milke, 2002).

Ett annat scenario, som istället kräver lägre fläktkapacitet, innebär att brandgaserna ska hållas ansamlade ovanför takklacken under den totala utrymningstiden för hela Konsertsalen (320 sekunder). Beräkningar visar att fläkten kräver en kapacitet på 45 m³/s vilket är praktiskt hanterbart. Även här kommer dock tillufts kravet att bli ett problem. Det krävs att samtliga dörrar i Konsertsalen (plan 2) öppnas i kombination med flertalet fönster. Enligt samma resonemang som tidigare rekommenderas inte denna lösning.

- Installera brandgardin i kombination med brandgasventilation ovanför scenen.

Eftersom åtgärdsförslagen med enbart brandgardin eller brandgasventilation ej är godtagbara testas en kombination av dessa. Valideringen redovisas fullständigt i bilaga M. Systemet bygger på att brandgardinen håller kvar brandgaserna på scenen medan brandgasventilationen ventilerar ut dessa. Syftet är att förhindra att kritiska förhållanden uppstår under utrymningsförloppet, vilket innebär den tid det tar för 300 personer på scenen att utrymma (250 sekunder). Beräkningar visar att fläkten kräver en kapacitet på 8 m³/s. Detta anses vara en rimlig ventilationsstorlek att installera ovanför scenen. Tilluftsflödet går att lösa genom att de två utrymningsvägarna från scenen öppnar automatiskt vid detektion, tillsammans med ett antal fönster i anslutande utrymme. Tryckskillnaden över dörrarna blir 3,5 Pa och anses vara godtagbar. Valideringen visar att kombinationen av brandgardin och brandgasventilation löser problemen och rekommenderas därför som åtgärd.

- Om brandgardin monteras bör den kompletteras med ridåsprinkler.

Ventilationen arbetar med att hålla brandgaserna på en säker nivå ovan golvet. Om ridåsprinkler installeras kommer dock denna effekt att motverkas på grund av den kylning av brandgaser som kommer uppstå. Brandgaserna förlorar sin termiska stigningskraft och riskerar att sjunka till en kritisk nivå. Förslaget avfärdas därför som en lämplig åtgärd.

- Undvik olämplig placering av material på scenen.

Om utrymning ur Konsertsalens salongsdel behöver ske via scenen är det viktigt att trapporna kan utnyttjas som det är tänkt. Ytterligare motivering anses inte vara nödvändig.

14.4 Övriga åtgärdsförslag

- Tätta genomföringar i brandcellsavskiljande vägg mellan scenen och bakomliggande utrymme.

Fullständig kontroll av brandcellsgränsen har inte utförts, men för att avskiljande funktion ska uppfyllas måste åtminstone genomföringar tätas. Ytterligare motivering anses inte vara nödvändig.

- Ändra dörrhängning på dörrarna som leder från trapphus A och B mot utgångarna vid trapphus F och G.

Om resonemanget i åtgärdsförslaget är korrekt, att dörrarna vid utrymningsbehov huvudsakligen är tänkta för personer från trappuppgångarna A och B, uppfylls kravet om åtgärdsförslaget följs.

- Ersätt och omplacera utrymningsskyltar i trapphus A och B på plan 1.

Om skyltarna ersätts med belysta eller genomlysta skyltar uppfylls kraven enligt BBR. Om de dessutom omplaceras görs de mer synliga för personer som utrymmer från trapphus A och B.

- Ta fram underlag rörande ventilationssystemet.

För att kunna yttra sig om huruvida brandgaser sprids via ventilationssystemet krävs information om systemet. Ytterligare motivering anses inte vara nödvändig.

15 Diskussion

I detta kapitel förs en diskussion kring delar som ej hanteras löpande i rapporten eller som behöver betonas extra. Syftet är att ge läsaren mer information kring antaganden och resonemang som anses viktiga för analysen.

15.1 Avgränsningar och begränsningar

I rapporten har det inte tagits någon hänsyn till brandgasspridning via ventilationssystemet. Ett huvudantagande har varit att brandgasspjäll stänger vid detektion och på detta sätt förhindrar brandgasspridning. Om detta antagande skulle visa sig vara felaktigt anses det ändå inte leda till betydande konsekvenser för tiden till kritiska förhållanden. FDS-simuleringar visar nämligen att kritiska förhållanden uppstår i ett tidigt skede av brandförloppet.

Förflyttningstiden baseras på den information om personbelastning i de publika lokalerna som erhöles vid platsbesök. Överskrids denna personbelastning kan inga säkra slutsatser dras utifrån denna rapport om utrymnings säkerheten. Det ska dock tilläggas att åtgärdsförslagen är utformade för 300 personer på scenen eftersom det under vissa omständigheter förekommer större ensembler. Dessutom är scenen Konserthusets hjärta och bör därför utformas för att säkert kunna hålla många personer.

15.2 Konservatism

När det råder osäkerhet kring indata är det vanliga förfarandet att välja värden som konsekvent innebär ogynnsamma förhållanden, så kallade ”worst credible case”, för att ligga på säkra sidan. Något som ibland glöms bort är att en sådan ansats i slutändan leder till oralistiska riskuppskattningar. Denna osäkerhet växer i storlek med modellen som används. En modell med fyra parametrar som multipliceras, där osäkerheten är $\pm 30\%$, kan exempelvis leda till att den högsta skattningen skiljer sig $(1,3)^4 = 2,9$ gånger från den bästa skattningen (Öberg, 2009). Risker är att analysen så småningom utreder ett scenario som inte representerar de förhållanden som faktiskt råder. Problemet har beaktats i rapporten och vikt har lagts vid att i så stor utsträckning som möjligt välja väl underbyggda parametrar. I vissa fall är dock antaganden ofrånkomliga och ofta är dessa konservativa. I denna rapport anses ändå de val som gjorts inte vara orimligt konservativa.

Samma resonemang som ovan ligger till grund för att exakta utdata har utnyttjats i modellerna. Det kan verka konstigt att använda utdata med exakt noggrannhet, men det görs för att undvika osäkerheter som fortplantar sig i analysen.

15.3 Tid kritiska förhållanden

Tid till kritiska förhållanden för de olika scenarierna kan upplevas som väl konservativ. Enbart brandgaslagret i sig medför inte kritiska förhållanden utan det är först i kombination med kritiska nivåer på till exempel siktbarhet, temperatur, strålning eller toxicitet som förhållandena blir kritiska. Eftersom det är förenat med stora osäkerheter att simulera toxicitet i FDS görs förenklingen att kritiska toxiska nivåer uppnås när brandgaslagrets höjd blir kritiskt. Denna förenkling görs med hänvisning till *Brandskyddshandboken* (Bengtsson, et al., 2005). Författarna är medvetna om att detta är ett konservativt antagande.

Tider som redovisas till kritiska förhållanden tas fram med datorprogram som, utöver egna begränsningar, påverkas av indataosäkerheter. En viktigt indata är bland annat effektutveckling över tiden och anmärkningsvärt är den maximala effektutvecklingen som redovisas för brand på scen; 15 MW. Effekten baseras på schablonvärden och resonemang men kan anses vara hög. Det är dock viktigt att poängtera att effekten som utvecklas under utrymningsförloppet är betydligt lägre än maxeffekten. Därför är inte maxeffekten avgörande för slutsatsen att säker utrymning ej kan garanteras i nuläget. Eftersom den maximala effektutvecklingen uppnås sent i brandförloppet, långt efter att kritiska förhållanden uppstår, är tillväxthastigheten en viktigare parameter. Detta bör beaktas framförallt vid användande av rekvisita på scenen. Cellplast (frigolit) har generellt ultrasnabb tillväxthastighet och kulisser eller rekvisita av detta material bör begränsas.

Detsamma gäller även för brand i garderob och i Wirénsalen. I inget av fallen uppnås den givna maximala effekten innan tid till kritiska förhållanden uppstår. Maxeffekten har således mindre betydelse. Med tanke på de förhållandevis långa tider det tar tills bränderna begränsas av mängden syre, se bilaga F, kan slutsatsen dras att inte heller detta fenomen påverkar tid till kritiska förhållanden.

15.4 Val av fördelningar

Parametrarna i utrymningsekvationen (ekvation 1) har ansatts till triangulära eller likformiga fördelningar. Bakgrunden till detta är att komplicerade fördelningar har försökt undvikas eftersom dessa kräver större kunskaper bakom parametrarnas variation, exempelvis skevhet eller kurtosis (toppighet). Dessutom finns inga generella riktlinjer utformade, utan det kan variera från fall till fall. Huvudscenariot är att det mest sannolika utfallet ansätts som ett medelvärde som de mindre/mer gynnsamma utfallen är fördelade triangulärt omkring. För att ansätta bättre fördelningar krävs att mer insamlat dataunderlag finns tillhanda, varvid statistiska test kan genomföras för att dra slutsatser om lämpliga fördelningar (Öberg, 2009). Detta har ej genomförts på grund av den mängd arbete som krävs och fokus har istället varit på andra delar som anses viktigare för analysens utfall.

15.5 Utrymningstider

I samtliga scenarier uppskattas varseblivningstiderna med hjälp av datorprogram. Eftersom branden kan starta på ett flertal positioner i berörda utrymmen genomförs flera simuleringar, förutom i fallet brand på scen då visuell detektion antas ske snabbast. De olika simuleringarna syftar till att ge en bild av differensen som kan finnas gällande tid till detektion. Tiden som ansätts som troligt värde baseras på de indata som anses som mest troliga omständigheter. Detta är en grov uppskattning och i verkligheten kan fördelningen vara viktad på ett annat sätt. Påverkan på resultatet kontrolleras ej eftersom den anses vara liten i jämförelse med andra faktorer som bortses från, exempelvis förbrinntiden. Varseblivningstiden i speciellt fallet brand i garderob kan upplevas som låg. Huvudsakliga anledningen är brandens ultrasnabba tillväxt, detektorns placering samt begränsningarna i programmet DetactQS. Då säker utrymning inte kan garanteras med vald tid kan det garanterat inte göras med en längre varseblivningstid. Slutsatserna förblir således desamma.

Förberedelsetiderna som redovisas kan diskuteras. Vid brand på scenen är förberedelsetiden satt till en minut för personer befinnandes i Konsertsalen. Tiden är tagen från litteratur och kan upplevas som hög relativt tid till kritiska förhållanden. Detta gäller främst på läktaren där tid till kritiska förhållanden inträffar fem sekunder innan förflyttning påbörjas. Resultatet blir ett osannolikt utrymningsscenario. Tiderna i kapitel 11 visar dock att säker utrymning inte kan garanteras även med kortare förberedelsetid. För att den deterministiska analysen ska ge en positiv tidsmarginal måste förberedelsetiden vara negativ. Den valda tiden har således ingen inverkan på resultatet.

Risk finns även att personer i salongen och på läktaren i Konsertsalen inväntar instruktioner innan de agerar. Beteendet är vanligt förekommande och beskrivs närmare i avsnitt 3.5. Med tanke på att personal muntligt informerar åhörarna i Konsertsalen vid händelse av brand är det viktigt att detta sker på ett snabbt och tydligt sätt.

Förflyttningstiden simuleras med Simulex och ingen hänsyn tas till personer med nedsatt förflyttningförmåga. Tidsmarginaler som presenteras är således ej representativa om personer med förflyttning begränsande handikapp berörs. Innan åtgärdskrav vidtas kan inte säker utrymning garanteras för fullt rörliga personer och därmed inte heller för personer med förflyttningssvårigheter. Emellertid innebär flera åtgärdsförslag att kritiska förhållanden undviks och således kan säker utrymning även genomföras av personer med förflyttningssvårigheter, förutom i fallet brand på scen. Om personerna med förflyttning begränsningar befinner sig på scenen vid scenbrand kan utrymningsförhållandena bli utmanande. Ett möjligt lösningsförslag är att dimensionera om brandgasventilationen och på så sätt erhålla en längre tid till kritiska förhållanden. Ytterligare en dimensionering måste genomföras för att verifiera detta men det ligger utanför projektets tidsram.

15.6 Åtgärdsförslag

Framtagna åtgärdsförslag löser utrymningsproblematiken av berörda delar i Örebro Konserthus. Förslagen medför dock inte att bränderna bekämpas utan enbart begränsas. För att bekämpa bränderna krävs ett aktivt system. Ett alternativ som till stora delar löser problematiken är att installera ett heltäckande sprinklersystem i byggnaden. Även om ett sprinklersystem inte alltid förhindrar att kritiska förhållanden uppstår kan det innebära en rad andra positiva effekter på brandsäkerheten. Sett i ett längre tidsperspektiv kan ett sprinklersystem exempelvis leda till ett mindre allvarligt brandförlopp, att egendom skyddas och att räddningstjänstens insats underlättas. Lösningen är dock kostsam och eftersom givna förslag medför säker utrymning behandlas inte detta i rapporten.

15.6.1 Garderob

Ett åtgärdsförslag är att utöka garderobskapaciteten. Detta ska ske i kombination med att garderoben görs brandtekniskt avskild från entrén. En större kapacitet medför högre brandbelastning vilket i sig medför potential för en större brand. Eftersom garderoberna avskiljs medför dock inte detta något problem. Branden kommer dessutom bli ventilationskontrollerad i ett tidigare skede.

15.6.2 Scenen

Ett initialt åtgärdsförslag, som inte visade sig fungera, var att installera heltäckande brandgardin framför scenen. Marginalen för personer befinnandes på själva scenen blev negativ och säker utrymning kunde därför inte garanteras. Tidsmarginalen bygger emellertid på att 300 personer befinner sig på scenen och genom att minska detta antal kan förflyttningstiden minskas och därmed marginalen ökas. Prövningar av detta genomfördes och simuleringar visade att gränsen för positiv/negativ marginal går när 100 personer befinner sig på scenen. Det ska förtydligas att marginalen vid detta tillfälle är lika med noll och det därmed inte finns något utrymme för förhinder i utrymningen.

Eftersom det är en deterministisk lösning som enbart bygger på punktskattningar anses osäkerheten för stor för att lösningen ska rekommenderas. Punktskattningarna kan i verkligheten variera och att anta att utrymningen sker exakt efter de framtagna tiderna är inte acceptabelt. Denna åtgärd avfärdas därför och en kombination av brandgardin och brandgasventilation föreslås istället.

15.7 Kulturnatten

En gång per år förekommer evenemanget *Kulturnatten* i Örebro Konserthus. Det är det mest etablerade kulturevenemanget i Örebro och under hela kvällen/natten samlas deltagare för att presentera sin konst och kultur för de besökande. Under denna tillställning är samtliga samlingslokaler öppna i Örebro Konserthus och det förekommer att Konsertsalen, Wirénsalen, Repsalen och även entrén fylls till bredden med besökare.

Informationen rörande *Kulturnatten* kom till rapportskrivarnas kännedom sent i arbetet. Någon analys av specifika brandscenarier under just denna natt har därför ej genomförts. Om de åtgärdsförslag som presenteras i kapitel 16 implementeras bedöms förutsättningar finnas för att öka publikbelastningen och fortsätta med *Kulturnatten*. En utökad analys bör dock genomföras för att avgöra hur mycket folk som kan vistas i de olika delarna av byggnaden.

16 Slutsats

I detta kapitel redovisas slutsatser rörande personsäkerheten i Örebro Konserthus. Krav på vad som skall och vad som bör åtgärdas presenteras och resonemang kring möjlig ökning av personbelastning i byggnaden förs.

I dagsläget kan personsäkerheten inte garanteras besökare i Örebro Konserthus och en ökning av personbelastningen är således inte heller lämplig. Med givna åtgärdsförslag anses dock utrymnings säkerheten vara uppfylld och möjligheten för en högre publikbelastning öppnas även upp. Det senare är dock något som måste utredas vidare för att avgöra personfördelningens inverkan på utrymningstiden och evenemanget *Kulturnatten* bör således inte fortgå utan vidare utredning.

16.1 Krav på åtgärder

Flertalet åtgärdsförslag nämns i rapporten. Av de åtgärder som i valideringen visar sig fungera skall vissa genomföras, medan andra är önskvärda. Nedan diskuteras kravnivån gällande vad som skall åtgärdas och vad som bör åtgärdas. Förslagen som ligger under *Övriga åtgärder* hör inte specifikt till de studerade scenarierna. De förbättrar dock säkerheten och anses samtidigt vara lätta att genomföra. För mer detaljerad beskrivning av åtgärderna hänvisas läsaren till kapitel 13, *Förslag på åtgärder*, samt kapitel 14, *Validering av åtgärdsförslag*.

16.1.1 Skall åtgärdas

Under detta avsnitt redovisas vilka åtgärder som skall genomföras.

Garderob

- Gör garderoberna brandtekniskt avskilda från entrén.
- Utöka garderobskapaciteten.
- Utforma minst en utrymningsväg till.

Wirénsalen

- Ersätt dörruppställare på dörr mot trapphus E med magnetupphängning.
- Åtgärda heltäckningsmattan kring den magnetupphängda dörren mot trapphus B.

Scenen

- Installera heltäckande brandgardin i kombination med brandgasventilation.
- Undvik olämplig placering av material på scenen.

Övriga åtgärder

- Täta genomföringar i brandcellsavskiljande vägg mellan scenen och bakomliggande utrymme.
- Ändra dörrhängning på dörrarna som leder från trapphus A och B mot utgångarna vid trapphus F och G.
- Ersätt utrymningsskyltar i trapphus A och B på plan 1.

16.1.2 Bör åtgärdas

Under detta avsnitt redovisas vilka åtgärder som bör genomföras.

Garderob

- Montera extra vägledande markeringar.

Övriga åtgärder

- Omplacera utrymningsskyltar i trapphus A och B på plan 1.
- Ta fram underlag rörande ventilationssystemet.

17 Litteraturförteckning

- Abrahamsson, M. (1997). *Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler*. Lund: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Bengtsson, S., Blomqvist, J., Danielsson, T., Delin, M., Fagergren, T., Frantzich, H., et al. (2005). *Brandskyddshandboken Rapport 3134*. Lund: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Boverket. (2006). *Utrymningsdimensionering*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket. (2008). *Boverkets Byggregler*. Karlskrona: Boverket.
- British Standards Institution. (2003). *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings - Part1: Initiation and development of fire within the enclosure of origin*. London: British Standards Institution.
- Davidsson, G., Haeffler, L., Ljungman, B., & Frantzich, H. (2003). *Handbok för riskanalys*. Karlstad: Räddningsverket.
- Forney, G. P., Jones, W. W., Peacock, R. D., & Reneke, P. A. (2008). *CFAST - Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6)*. NIST.
- Frantzich, H. (1998). *Användarmanual till Simulex ver 1.2*. Lund: Lunds Universitet.
- Frantzich, H. (2001). *Tid för utrymning vid brand*. Karlstad: Räddningsverket.
- Frantzich, H., Magnusson, S. E., & Harada, K. (1996). Fire Safety Design Based on Calculations: Uncertainty Analysis and Safety Verification. *Fire Safety Journal* , 305-334.
- Holmstedt, G., & Nilsson, D. (2008). *Kompendium i Aktiva system - Detektion*. Lund: Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola.
- Johansson, B. (2004). *Analys av utrymningssäkerheten vid brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå*. Lund: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton: CRC Press LLC.
- Lundin, J. (1999). *Model uncertainty in Fire Safety Engineering*. Lund: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Martínez de Aragón, J., Rey, F., & Chica, J. (u.d.). *DIFISEK-programvara för branddimensionering*. Bilbao, Spain: LABEIN, Teknologiskt centrum.
- Milke, J. A. (2002). Smoke Management in Covered Malls and Atria. i P. J. DiNenno (Red.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (3rd uppl.). Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association.
- MSB. (den 13 februari 2010). *IDA statistikdatabas*. Hämtat från IDA-portalen: <http://ida.msb.se/port61/main/> den 13 februari 2010.
- NFPA 92 B. (1999). *Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces*. Quincy: NFPA.
- Nilsson, D. (2007). *Datorsimulering av utrymning vid brand - inventering av tre angreppssätt*. Lund: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.

Nilsson, D. (2006). *En modell av det inledande utrymningsförloppet*. Lund: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.

NIST. (2001). *Fire Tests of Men's Suits on Racks*. Gaithersburg: U.S Department of Commerce.

NIST. (den 22 augusti 2006). *Fire Research Division, Fire Modeling Program*. Hämtat från <http://www.bfrl.nist.gov/866/fmabbs.html#DETECTQS> den 19 november 2010.

NIST. (den 29 mars 2011). *Fire Dynamics Simulator and Smokeview (FDS-SMV)*. Hämtat från <http://www.fire.nist.gov/fds/> den 20 april 2011.

NIST. (den 20 april 2011). *Fire Dynamics Simulator and Smokeview (FDS-SMV)*. Hämtat från FDS and Smokeview Discussions: <http://groups.google.com/group/fds-smv> den 20 april 2011.

Nystedt, F. (2010). *Verifying design alternatives in buildings with fire sprinkler systems*. Lund: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.

Paté-Cornell, E. M. (1996). Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment. *Reliability Engineering and System Safety* .

Previs Brandskydd AB. (den 20 april 2011). *Previs Brandskydd AB*. Hämtat från <http://www.previs.se/index.asp> den 20 april 2011.

Staffansson, L. (2010). *Selecting design fires*. Lund: Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola.

Statens Haverikommission. (2001). *Brand på Herkulesgatan i Göteborg, O län, den 29-30 oktober 1998*. Stockholm: Statens Haverikommission.

Tewarson, A. (2002). Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires. i P. J. DiNenno (Red.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (3rd uppl.). Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association.

Viking Group Inc. (den 20 april 2011). *Viking Group Inc*. Hämtat från <http://www.vikinggroupinc.com/sv/home> den 20 april 2011.

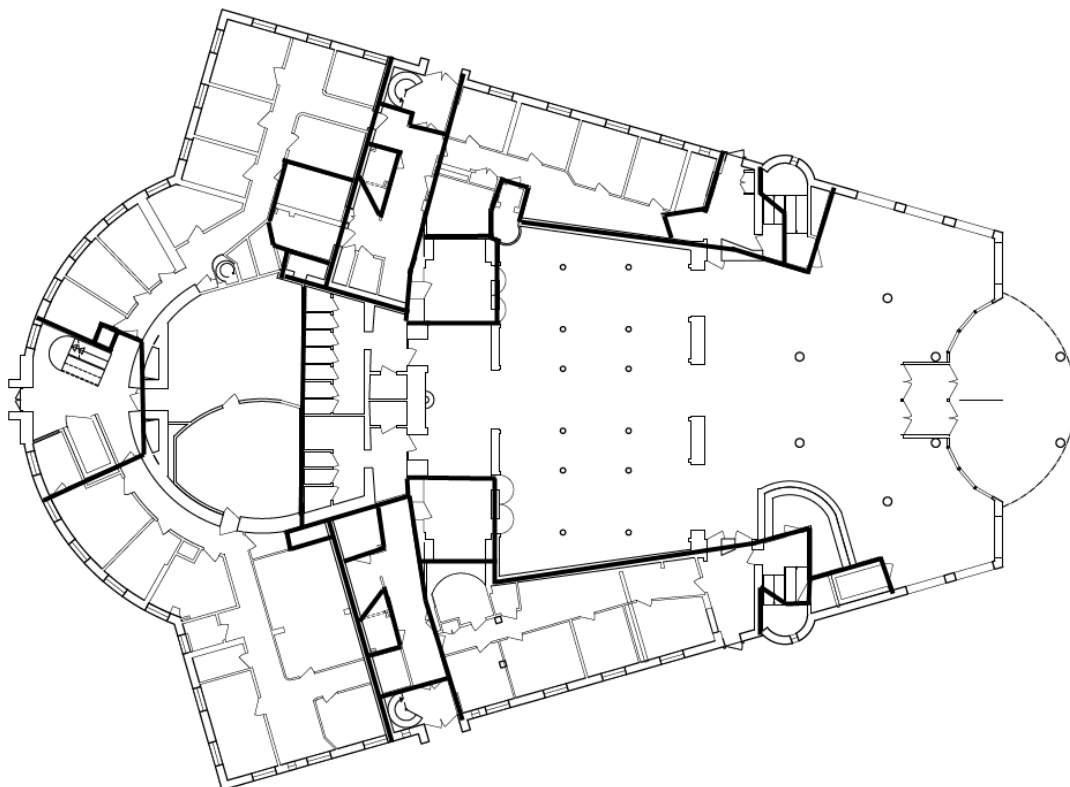
Yeoh, G. H., & Yuen, K. K. (2009). *Computational Fluid Dynamics in Fire Engineering - Theory, Modelling and Practice*. Burlington: Butterworth-Heinemann.

Öberg, T. (2009). *Miljöriskanlys*. Lund: Studentlitteratur.

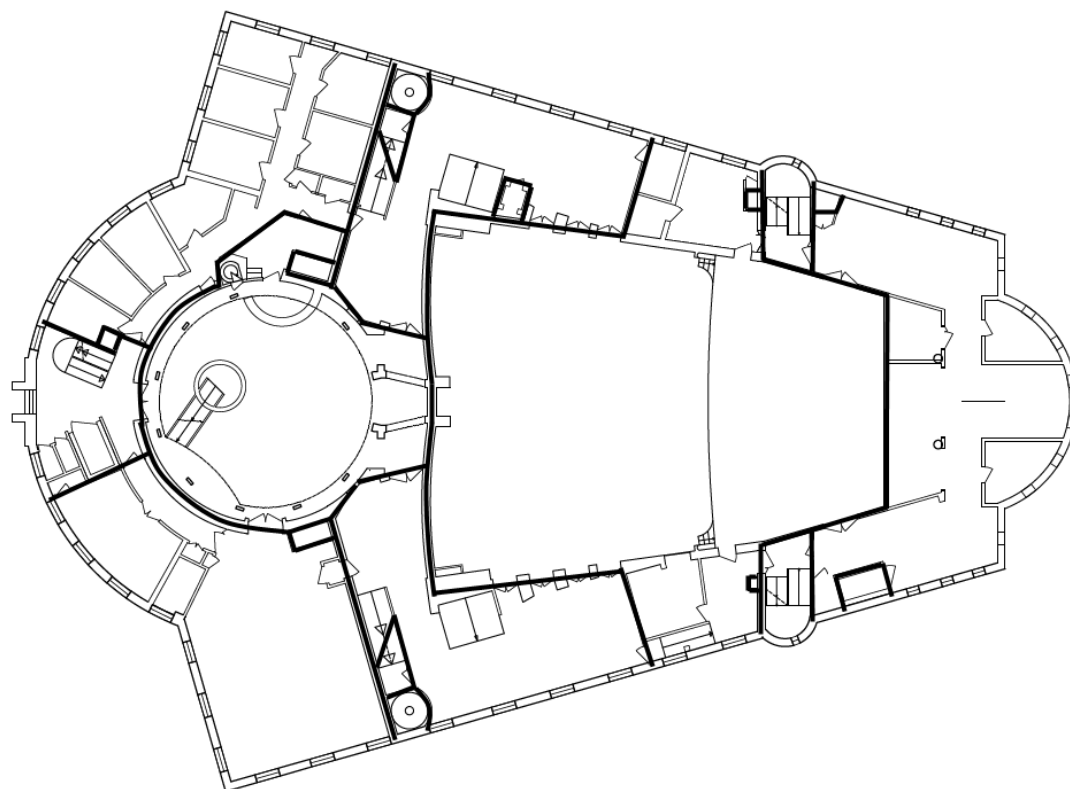
Örebro Konserthus. (2011). Hämtat från Örebro Konserthus: <http://www.orebrokonserthus.se/> den 17 februari 2011.

Bilaga A – Brandcellsgränser

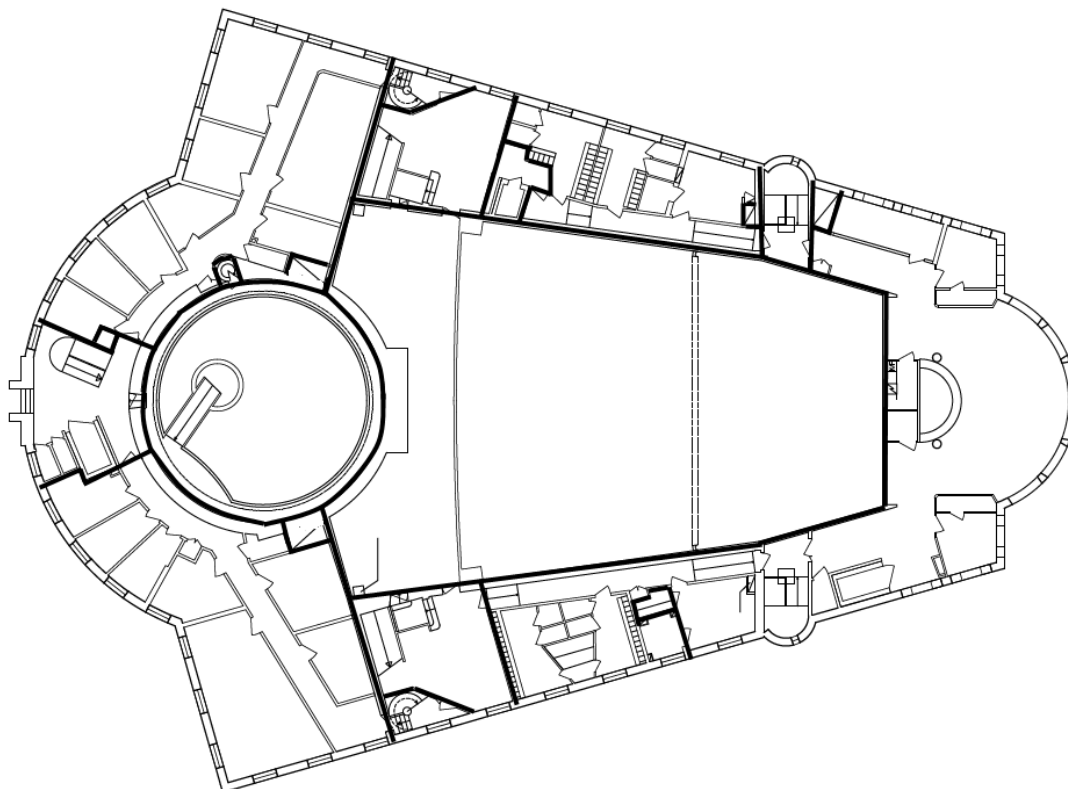
I denna bilaga redovisas brandcellsgränserna på de olika planen i Konserthuset.



Figur A.1. Brandcellsgränser på plan 1.



Figur A.2. Brandcellsgränser på plan 2.



Figur A.3. Brandcellsgränser på plan 3.

Bilaga B – Sprinklersystem kallvind

I denna bilaga beskrivs sprinklersystemet i Konserthuset.

I byggnaden finns ett torrlagt uppåtriktat sprinklersystem med glasbulber, placerat på kallvinden. Vid eventuell brand på vinden ska räddningstjänsten angripa via trapphus I. Om behov föreligger sker ventilation av detta trapphus enligt avsnitt 2.6.4. Högst upp i trapphuset, på plan 3, kan man via knapp öppna vindens ventilationslucka. Rökdykare måste därefter klättra upp för en fast monterad stege och med hjälp av ålning medelst hasning ta sig igenom ett par luckor för att nå fram till ett par sedan tidigare, till sprinklersystemet, påkopplade slangar. Att den senare nämnda framryckningen kan ske med luftpaket på ryggen är högst tveksam. Väl på plats ska rökdykaren ta med sig slangarna, krypa tillbaka till trapphuset, och rulla ner slangarna till en väntande kollega. Först därefter kan systemet trycksättas med hjälp av släckbil, brandpost eller motsvarande.

Bilaga C – Datorprogram

I denna bilaga presenteras övergripande information om de datorprogram som används i arbetet.

C.1 CFAST

CFAST (Consolidated Fire And Smoke Transport) är ett datorprogram som används för att simulera olika brandförlopp. Detta program är utvecklat av NIST, National Institute of Standards and Technology. Programmet är en tvåzonsmodell, vilket innebär att rummet delas upp i två olika kontrollvolymmer. Den övre kontrollvolymen innehåller varma brandgaser medan den undre innehåller rumstempererad luft.

Indata som krävs vid simulering i CFAST är bland annat bränsle, effektutveckling samt rumsgeometri. Exempel på ekvationer som programmet använder sig av är kontinuitetsekvationen för energi och massa samt ideala gaslagen. Resultat som kan avläsas efter simulering är bland annat brandgaslagrets höjd samt brandgaslagrets temperatur, båda dessa som funktion av tid.

C.1.1 Begränsningar och antaganden

Begränsningar och antaganden i CFAST är hämtade från NFPA 92 B samt användarmanualen (Forney, Jones, Peacock, & Reneke, 2008).

- De rum som ingår i simuleringarna måste vara rektangulära, i annat fall tvingas rummets geometri att justeras vid simulering.
- Respektive kontrollvolym antas vara homogent omblandad.
- I simuleringarna antas brandplymen vara en punktkälla.
- Programmet är endast testat för bränder i ett fåtal rum. Därmed ökar simuleringarnas osäkerheter ju fler rum som tas med i simuleringen samt ju längre bort från brandrummet data avläses.
- Efter övertändning är CFAST oanvändbart då det skapas en omblandande turbulens mellan de båda kontrollvolymerna.
- Vid simuleringarna bortses från att fönsterrutor eventuellt kan spricka på grund av värme och tryck.
- Programmet tar inte hänsyn till transporttid, vilket innebär att branden momentant sprider sig upp till taket och breder ut sig längst takytan då branden startar. Förenklingen kan orsaka stora fel samt brister vid simulering av brandförlopp, särskilt i långsmala rum, korridorer med mera. På grund av problematiken införs gränsvärden för huruvida bredd (B), längd (L) samt höjd (H) får förhålla sig till varandra. Dessa förhållanden anges i tabell C.1 nedan (NFPA 92 B, 1999).

Tabell C.1. Geometriförhållanden som är giltiga för CFAST-simuleringar (NFPA 92 B, 1999).

Geometriförhållanden	Acceptabelt	Gränsfall
L/B	$L/B < 3$	$3 < L/B < 5$
L/H	$L/H < 3$	$3 < L/H < 6$
B/H	$B/H > 0,4$	$0,2 < B/H < 0,4$

C.2 FDS, Pyrosim och Smokeview

FDS (Fire Dynamics Simulator) är liksom CFAST ett program utvecklat av National Institute of Standards and Technology (NIST). Programmet bygger på Computational Fluid Dynamics (CFD) och används för att visualisera brandförlopp och ta fram värden för olika parametrar.

Till skillnad från tvåzonsmodeller delar FDS upp geometrier i ett stort antal olika celler som alla motsvarar varsin kontrollvolym. FDS löser sedan numeriskt en form av Navier-Stokes ekvation för varje kontrollvolym, vilket innebär att beräkningar för massa, energi och rörelsemängd utförs (NIST, 2011).

FDS använder sig av så kallade Large Eddy Simulations (LES) vilket är en transient modell som används för att beräkna turbulent flöde i CFD-modellering. Tekniken innebär att det turbulenta flödet karakteriseras av att kontinuitetsekvationerna löses numeriskt i de makroskopiskt stora längskalorna medan de mikroskopiskt små längskalorna approximeras genom submodeller (Yeoh & Yuen, 2009). Beräkningarna utförs som ett medelvärde i kontrollvolymerna och inte i tiden, vilket är fallet när Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) teknik används. Kontentan av detta blir att ju finare celler geometrin delas upp i desto bättre blir resultatet. Det krävs därför att cellerna är tillräckligt små för att fånga önskvärd information. LES är idag det närmaste det går att komma verkligheten gällande simuleringar av turbulenta flöden. Direct Numerical Simulation (DNS) löser i och för sig alla längskalor, vilket är bättre, men det kräver alltför stor datorkraft och är därför praktiskt ogenomförbart ¹².

Det är vanskligt att explicit säga vilka begränsningar FDS har. Anledningen är att de matematiska modeller programmet bygger på använder sig av förenklade fysikaliska antaganden som ibland är, och ibland inte är, passande för en given tillämpning. Därför försöker utvecklarna så bra de kan förklara de fysikaliska antaganden som görs. De publicerar även verifikations- och valideringsstudier för att kvantifiera noggrannheten i modellen för olika tillämpningar (NIST, 2011). En klar limitation med FDS är dock att det bara klarar av räta vinklar i geometrin. Böjar och kurvor går ej att konstruera utan de måste istället byggas upp med ett sicksackmönster. Om icke-räta vinklar förekommer är det dock möjligt att stänga av turbulensen som uppkommer vid vinklarna vilket förmildrar begränsningen något.

Pyrosim är ett grafiskt användargränssnitt för FDS skapat av Thunderhead Engineering. Programmet används för att skapa FDS-filer på ett mer användarvänligt sätt genom att koden skrivs åt användaren. Smokeview är ett program, även det utvecklat av NIST, som används för att visualisera beräkningarna som görs i FDS.

C.3 DetactQS

DetactQS används för att beräkna detektoraktiveringstider. Programmet tar inte hänsyn till något eventuellt brandgaslager som skulle kunna påverka tid till detektion. DetactQS antar också att detektorerna är placerade på ett plant horisontellt tak utan diverse hinder som kan hindra takströmmen. Takströmmens hastighet och temperatur antas vara som högst vid detektorernas placering. Transporttiden för de varma gaserna medräknas inte, ingen tas heller hänsyn till eventuell ventilation (Martínez de Aragón, Rey, & Chica).

För att göra simuleringarna krävs en specificerad effektutveckling. Vid beräkning av tid till detektoraktivering tas hänsyn till avståndet mellan bränsle och tak, radiellt avstånd mellan detektor och plym, omgivningstemperatur och detektorns aktiveringstemperatur. Hänsyn tas även till detektorns termiska tröghet (RTI). Resultaten som erhålls är gastemperaturen vid taket och detektorns temperatur som funktion av tiden samt tid till detektion (NIST, 2006).

Programmet används i huvudsak för värmedetektorer och sprinklerbulber, men kan även användas för optiska ljusspridningsdetektorer. Optiska ljusspridningsdetektorer aktiverar inte på temperatur men samband mellan andelen partiklar i luften och luftens temperatur har konstaterats. Ofta nämns 13°C som den temperaturökning som krävs för aktivering av en optisk ljusspridningsdetektor. Detta värde är experimentellt framtaget (Holmstedt & Nilsson, 2008). Eftersom en optisk ljusspridningsdetektor saknar värmeelement beaktas inte någon termisk tröghet. I praktiken innebär detta att känselementets temperatur kommer att vara väldigt nära temperaturen för de omgivande brandgaserna. RTI-värdet ges ett väldigt lågt värde, $0,5 \text{ (m}\cdot\text{s)}^{1/2}$.

C.4 Simulex

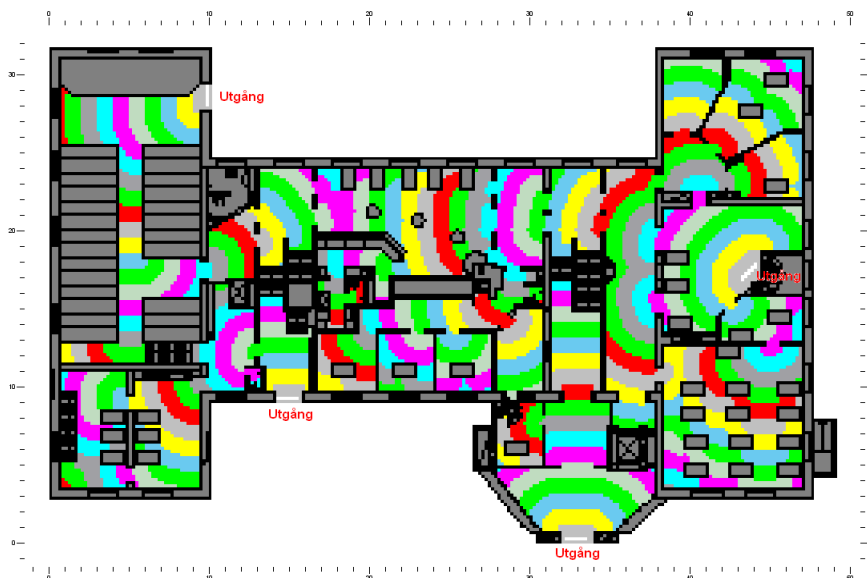
Simulex (version 3.0) är ett datorprogram som används för att på ett enkelt sätt simulera utrymning ur byggnader. Programmet kan främst användas till att ta fram förflyttningstider och identifiera

¹² Phil Rubini, Head of Department of Engineering, Hull University, Föreläsning – CFD, 2011-03-17

problematiske utrymningstekniska områden i byggnader. Programmet utgår från CAD-ritningar över en byggnad där sedan utgångar, personer och trappor mellan våningsplan placeras ut.

I programmet kan olika persontyper simuleras, till exempel män, kvinnor, barn och äldre, eller en blandning av dessa. Persontyperna definieras genom olika kroppsstorlek och gånghastighet med tillhörande standardavvikelse. Gånghastigheten är baserad på verkliga utrymningssituationer och beror även på avståndet till framförvarande person. Gånghastigheten avtar ungefär linjärt med avståndet till personen framför. Hänsyn tas till att gånghastigheten minskar i trappor och även trängning, kroppsrotation samt små steg i sidled och bakåt simuleras (Frantzich, 1998).

Genom att definiera utgångar skapas distansritningar som personerna utrymmer efter. Exempel på distansritning finns i figur C.1. Personerna går mot en utgång genom att ta riktning vinkelrätt mot de färgade linjerna.



Figur C.1. Distansritning i Simulex som de utrymmande förflyttar sig efter.

Även om programmet används frekvent för att simulera utrymningssituationer är det viktigt att komma ihåg att programmet endast är en modell av verkligheten. Viktiga begränsningar sammanfattas nedan (Frantzich, 1998):

- Det tas inte hänsyn till lös inredning om denna inte finns utritad på kartan. Trösklar kan heller inte simuleras. Detta kan leda till att utrymningstiden underskattas.
- Psykologiska faktorer behandlas ej, vilka kan vara väldigt viktiga i vissa situationer.
- Vid köbildning blir utrymningstiden linjärt beroende av flödes hastigheten, vilket beror på att flödes hastigheten då i princip är en linjär funktion av dörrens storlek.
- Förberedelse tid innan förflyttning beaktas ej. Denna varierar beroende på vilket larm som finns i byggnaden.

C.5 @RISK

@RISK (version 5.5, Palisade Corporation, 2009) är ett tillägsprogram till Excel. Programmet använder Monte Carlo-simuleringar för att hantera numerisk fortplantning av osäkerheter. Tekniken innebär att olika variablers värden dras slumpmässigt från givna fördelningar ett upprepat antal gånger. För varje dragning, iteration, noteras resultatet och på detta vis skapar @RISK en fördelning med standardavvikelse, min- och maxvärde, skevhet med mera. Resultatet presenteras som en fördelningskurva¹³.

¹³ Håkan Frantzich, Universitetslektor vid avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Föreläsning – Osäkerhetsanalys med numeriska metoder, 2010-09-03

TVå olika samplingsmetoder kan användas i @RISK; Simple Random Sampling (SRS) och Latin Hypercube Sampling (LHS). LHS ger en jämn, stabil fördelning vid färre iterationer jämfört med SRS, samt även bättre information i svansarna. Samplingsmetoden delar in intervallet i lika många delar som antalet iterationer och för varje intervall dras sedan slumpmässigt ett värde, vilket innebär att hela fördelningen täcks in¹⁴.

@RISK kan även användas för att undersöka indatafördelningens betydelse för utfallet, så kallad känslighetsanalys. Två typer av analysverktyg finns att tillgå; Multivariate Stepwise Regression (multivariabel regression) och Rank Order Correlation¹⁴.

¹⁴ Håkan Frantzych, Universitetslektor vid avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Föreläsning – Osäkerhetsanalys med numeriska metoder, 2010-09-03

Bilaga D – Effektutvecklingskurvor

I detta kapitel beskrivs framtagning av effektutvecklingskurvor för garderob, scenen och Wirénsalen mer utförligt. En kortfattad beskrivning av den metodik som används ges.

D.1 Metodik

Två metoder används för att bestämma effektutvecklingskurvor. Den ena metoden baseras på kunskap om typ, mängd och placering av det brännbara materialet och den andra på vilken verksamhetstyp som bedrivs i lokalen (Karlsson & Quintiere, 2000). Den senare används när mer ingående kunskap om bränslet saknas, vilket är fallet för några av lokalerna i Konserthuset. Lösningen brukar ofta benämnas schablonlösning eftersom förslag på maximal effektutveckling per areanhet samt tillväxthastighet förslås för olika verksamheter.

Vid användning av den första metoden genomförs beräkningar avsedda att undersöka hur länge branden kan fortgå med hänsyn till massan bränsle. Enligt en metod från *Selecting Design Fires* kan avsvalningsfasen antas börja när 80 procent av bränslet har förbrukats (Staffansson, 2010). Hur länge branden kan fortgå undersöks inte vid schablonlösningar, eftersom kännedom om mängden bränsle saknas. Massan antas dock vara tillräcklig för att branden skall kunna fortgå under det tidiga skedet av brandförloppet.

Effektutvecklingskurvorna avgränsas till de första tio minuterna i brandförloppen eftersom längre tider inte anses påverka utrymningsförloppet. För att kontrollera om branden slocknar innan dess på grund av syrebrist genomförs beräkningar. Dessa kontrollerar hur mycket energi som kan utvecklas innan mängden syre understiger tio massprocent. Energin jämförs sedan med energin som utvecklas av branden. Inflöde av luft till branden beaktas inte utan beräkningarna används endast för att bedöma om en brand slocknar i ett tidigt skede av brandförloppet.

D.2 Garderob

Vid framtagning av effektutvecklingskurva för brand i garderob är det önskvärt att i så stor utsträckning som möjligt använda experimentellt framtagna värden, detta för att minimera osäkerheterna. Information hämtas från rapporter publicerade av NIST och brandteknik LTH.

D.2.1 NIST

NIST redovisar i en rapport brand omfattande 48 kostymer jämnt fördelade på två närstående parallella galgracketar. Galgracketarnas längd är 1,8 meter och kostymerna är gjorda av polyester och ull. Uppställningen kan anses vara fritt stående och tre försök genomförs under en kalorimeter. Efter lokal antändning med liten gasollåga tillåts brand sprida sig för att till slut omfatta hela galgracketarna. En ganska konstant effektutveckling omkring 1 MW bibehålls under fem minuter i samtliga försök och massavbrinningen är då ungefär 0,025 kg/s. Maximal effektutveckling blir drygt 1 MW i två av tre försök, i det tredje cirka 2 MW. Tillväxtfasen ser liknande ut för försöken och de når en effektutveckling på 1 MW efter cirka 300 sekunder (NIST, 2001).

Med hjälp av ovanstående data (effektutveckling på 1 MW vid massavbrinning på 0,025 kg/s) beräknas kostymernas effektiva förbränningsentalpi till 40 MJ/kg, enligt ekvation 1:

$$\Delta H_{c,eff} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} \quad (1)$$

D.2.2 Brandteknik LTH

Ett fullskaleförsök gällande garderobsbrand redovisas i en rapport publicerad av Avdelningen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola. Försöket omfattar drygt 100 jackor av varierande material upphängda på två parallella galgracketar. Allt placeras i en container med syfte att likna en garderob med måtten 7 x 2 x 2,4 meter (längd x bredd x höjd), där ena kortsidan utgör öppning. Antändning sker med hjälp av en liten gasollåga och i försöket registreras massavbrinningen som funktion av tiden. Värdet på $\Delta H_{c,eff}$ uppskattas utifrån ett annat försök till 21 MJ/kg.

Massavbrinningen multipliceras senare med $\Delta H_{c,eff}$ och en effektutveckling erhålls. Anmärkningsvärt från försöket är det snabba brandförloppet, efter omkring 90 sekunder nås den maximala massavbrinningen, omkring 0,2 kg/s, vilken genererar en effektutveckling på 4 MW (Johansson, 2004).

I en annan rapport publicerad av Avdelningen för Brandteknik, *Scenariotänkanden vid brandsyn i samlingslokaler*, redovisas en beräknad effektutveckling på 3 MW för 100 jackor på galgar. Tillväxthastigheten bedöms vara i storleksordningen medium till snabb. Total massavbrinning redovisas till 0,144 kg/s (0,018 kg/m²s och 10 x 0,8 m²), förbränningsentalpin till 30 MJ/kg (polyester) och förbränningseffektiviteten 0,7 (Abrahamsson, 1997).

D.2.3 Tillväxthastighet och maximal effektutveckling

En tillväxtfaktor α beräknas för de olika försöken enligt ekvation 2:

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

I NIST-försöken motsvarar effekten 1 MW efter 300 sekunder ett α -värde på 0,011 kW/s². Detta innebär en tillväxthastighet i storleksordningen medium. Containerbranden, som genererar en effekt på 4 MW efter 90 sekunder, ger ett α -värde på 0,49 kW/s². Detta kan jämföras med värdet för ultrasnabb tillväxt på 0,19 kW/s² (Karlsson & Quintiere, 2000). Containerbrandens tillväxt är med andra ord extremt snabb. Omslutningsytornas påverkan på effektutvecklingen är ansevärt vilket delvis kan förklara skillnaden i tillväxthastighet mellan de båda försöken. Högre återstrålning borde rimligen innebära högre massavbrinning per jacka, vilket också bekräftas av siffrorna från försöken.

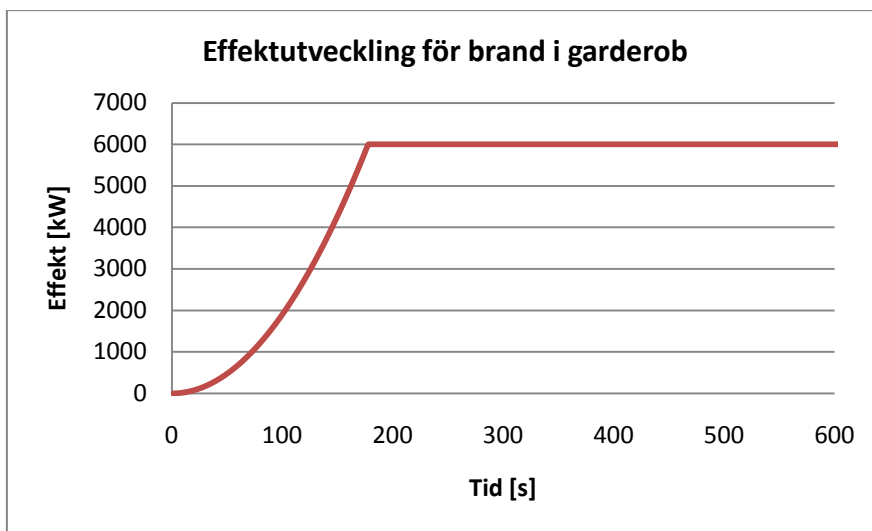
En lika extrem tillväxthastighet som i containerförsöket är mindre trolig i Örebro Konserthus då återstrålningen inte kan förväntas bli lika omfattande. Med en takhöjd på 2,8 meter kan återstrålningen dock inte bortses från i resonemanget. Att dimensionera efter hastigheten som redovisas av NIST vore emellertid inte särskilt konservativt då den är väldigt långt ifrån containerbrandens och även i underkant av de hastighetsförslag som ges i rapporten *Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler* (Abrahamsson, 1997). Schablonmässigt rekommenderas en snabb tillväxthastighet som dimensionerande för samlingslokaler (Staffansson, 2010). En garderob med jackor bör sannolikt ha en snabbare tillväxthastighet än en samlingslokal. Ultrasnabb tillväxthastighet väljs som den dimensionerande i fallet garderobsbrand Örebro Konserthus.

Om 100 kostymer involveras i brand ges via enkel överslagsräkning en dubbel effektutveckling i jämförelse med om 50 innefattas. Resultatet blir då 2 MW utifrån tidigare fakta från NIST. Beaktas ska att effekten är framtagen i kalorimeter utan återstrålning av brandgaslager. Maximala effektutvecklingen för 100 jackor i containerbranden, 4 MW, antas vara i överkant av vad som kan förväntas genereras av 100 jackor i objektet. I objektet är omslutningsytorna både större och längre ifrån branden vilket medför en mindre återstrålning. En effektutveckling på 3 MW för brand i 100 jackor redovisas, enligt tidigare, i rapporten *Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler* (Abrahamsson, 1997). Denna effektutveckling antas kunna överensstämma för brand i 100 jackor i Konserthuset. Brand innefattande två närliggande garderobsutrymmen, 200 jackor, antas därför utveckla 6 MW i maximal effekt.

I redovisade försök används en mindre gasolflamma som antändningskälla och den i ett verkligt brandförlopp vanligtvis förekommande förbrinntiden diskuteras inte. Förbrinntiden är väldigt beroende av vilket bränsle som berörs och spridningen i tid för olika bränslen kan vara väldigt stor. Enkelt vore att bortse från förbrinntiden och på så sätt få ett snabbare brandförlopp och därmed mer kritiska simuleringsförutsättningar för utrymningsanalys. I utrymningsanalys kan det emellertid i många fall vara viktigt att uppskatta vad som händer innan branden börjar tillväxtfasen. En brand kan i vissa fall upptäckas av rökdetektorer redan under förbrinntiden. Värmedetektorer är inte lika kapabla till detta då värmeutvecklingen oftast är ringa under förbrinntiden. En genomtänkt placering av rökdetektorer vid garderober kan med andra ord vara väldigt fördelaktigt ur utrymningssynpunkt då varseblivningstiden kan kortas. Då önskvärt underlag för uppskattning av

förbrinntiden inte går att finna tas ändå beslutet att dimensionera efter att tillväxtfasen påbörjas redan vid tiden noll.

Urvalet av jackor i containerförsöket anses vara mer representativt för vilka ytterkläder som kan förekomma i garderoben än den som redovisas för kostymer. Experimentellt framtagen effektiv förbränningsentalpi för dessa är enligt tidigare 21 MJ/kg. Genomsnittlig massa per jacka antas vara 1,5 kg. Valet kan anses vara konservativt då branden kan fortgå under en längre tid. Beräkningar, se bilaga E och F, utförs för att kontrollera om branden blir bränslekontrollerad eller ventilationskontrollerad. För framtagen effektutvecklingskurva, se figur D.1.



Figur D.1. Uppskattad effektutvecklingskurva för brand i två garderobsutrymmen för de första tio minuterna av brandförloppet. Branden tillväxer med en ultrasnabb hastighet upp till maximal effektutveckling.

D.3 Scenario 5: Wirénsalen

I likhet med entrén är det önskvärt att utgå från verkliga försök för att ta fram en effektutvecklingskurva. Förutsättningarna skiljer sig dock mellan lokalerna. I Wirénsalen är bord och stolar utspridda över en större yta och deras placering varierar. Det är svårt att exakt avgöra var en brand startar och hur den sprids i lokalen, till skillnad från entrén. För att täcka in så många brandförlopp som möjligt och undvika att begränsa analysen till ett förlopp används en schablonlösning. Den maximala effektutvecklingen beräknas utifrån en maximal effektutveckling per areaenhet för bränslekontrollerade bränder enligt ekvation 3 nedan:

$$\dot{Q} = \dot{Q}'' \cdot A \quad (3)$$

British Standards Institution (BSI) ger förslag på maximala effektutvecklingar per areaenhet för bränslekontrollerade bränder för olika verksamhetstyper, samt tillväxthastigheter. I tabell D.1 sammanställs dessa.

Tabell D.1. Effektutveckling per areaenhet samt tillväxthastighet för olika verksamhetstyper (British Standards Institution, 2003).

Verksamhetstyp	Effektutveckling per areaenhet (kW/m ²)	Tillväxthastighet (-)
Bostäder	250	Medium
Sjukhus (rum)	250	Medium
Hotellrum	250	Medium
Bibliotek	500	Snabb
Kontor	250	Medium
Klassrum	250	Medium
Shoppingcenter	250	Snabb
Teater (biograf)	500	Snabb

I tabellen framgår att klassrum och kontor har en schablonmässig effektutveckling per areaenhet på 250 kW/m². Wirénsalens möblering med främst bord och stolar överensstämmer i stora drag med den i klassrum och ett värde på 250 kW/m² anses lämpligt att använda för beräkning av maximal effektutveckling.

Även *Enclosure Fire Dynamics* (Karlsson & Quintiere, 2000) föreslår värden på tillväxthastigheter för olika verksamhetstyper. Dessa är generellt något högre än de föreslagna av BSI, se tabell D.2.

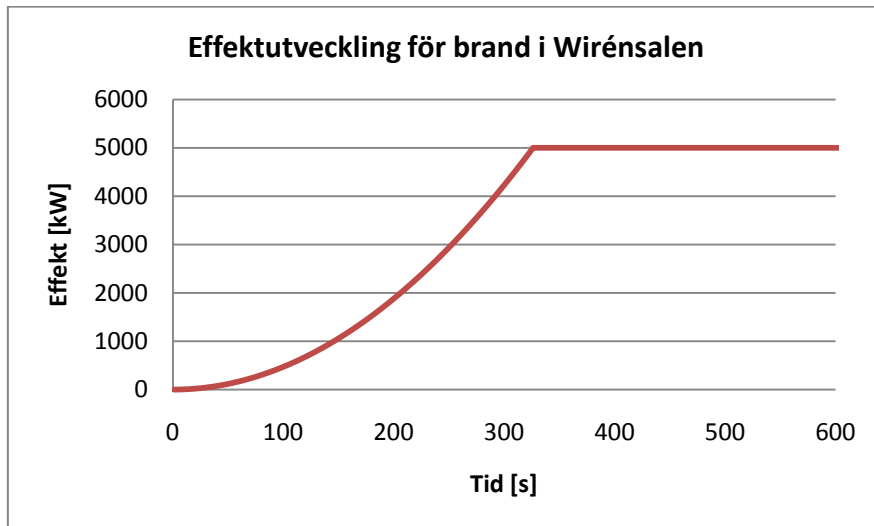
Tabell D.2. Tillväxthastigheter för olika verksamhetstyper enligt *Enclosure Fire Dynamics* (Karlsson & Quintiere, 2000).

Verksamhetstyp	Tillväxthastighet
Bostäder etc.	Medium
Hotell, vårdboenden etc.	Snabb
Shoppingcenter, nöjesanläggningar	Ultrasnabb
Skolor, kontor	Snabb

För skolor/kontor ligger alltså tillväxthastigheten i storleksordning medium till snabb. Tillväxthastigheten i Wirénsalen bedöms dock ligga närmare snabb på grund av att golvet delvis är täckt av en heltäckningsmatta som bidrar till en snabbare brandspridning.

Inredningen i lokalen upptar en area av cirka 20 m². Ytan varierar beroende på verksamhet och möblering, som nämnts ovan, men anses vara representativ för normalfallet. Den maximala effektutvecklingen för en bränslekontrollerad brand i Wirénsalen beräknas enligt ekvation (3) till 5 MW.

Beräkningar visar att branden blir ventilationskontrollerad efter cirka 20 minuter, se bilaga F. Effektkurvan avgränsas dock till de första tio minuterna i brandförloppet. För framtagna effektutvecklingskurva se figur D.2.



Figur D.2. Effektutvecklingskurva för brand i Wirénsalen för de första tio minuterna av brandförloppet. Branden tillväxer med en snabb hastighet upp till maximal effektutveckling.

D.4 Brandscenario 9 – Scenen

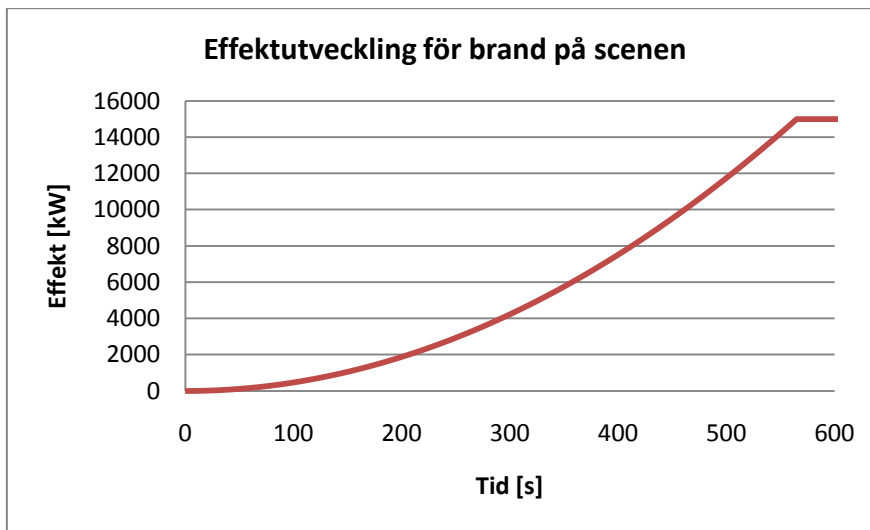
På scenen är det svårt att exakt avgöra var en brand startar och hur den sprids eftersom mängd och placering av brännbart material varierar. I likhet med Wirénsalen söks därför en schablonlösning för att täcka in så många scenarier som möjligt.

För teatrar (biografer) anges ett schablonvärde på 500 kW/m² enligt tabell D.1. Dessa utgörs till stor del av stoppade fätöljer/stolar och siffran är inte aktuell om endast scenen beaktas. 500 kW/m² föreslås även för bibliotek i vilka en stor mängd brännbart staplas på höjden och brandbelastningen

är hög. Schablonvärdet på scenen bedöms därför vara lägre än 500 kW/m^2 och uppskattas till 300 kW/m^2 .

Tillväxthastigheten ligger i storleksordningen snabb till ultrasnabb för teatrar (biografer) och nöjesanläggningar enligt tabell D.1-D.2. Enligt tidigare resonemang avser siffran även salongsdelen med stoppade fåtöljer. En ultrasnabb tillväxthastighet anses därför inte representera brandförloppet på scenen, utan tillväxthastigheten bedöms vara snabb.

Brännbart material på scenen upptar 50 m^2 , vilket motsvarar en tredjedel av scenens totala area. Siffran är precis som i fallet Wirénsalen en uppskattning och anses representera normalfallet. Beräkningar enligt ekvation (3) ger en maximal effektutveckling på 15 MW . Beräkningar i bilaga F ger att branden blir ventilationskontrollerad efter 14 minuter men den avgränsas liksom tidigare till de första tio minuterna i brandförloppet. För framtagen effektutvecklingskurva figur D.3.



Figur D.3. Uppskattad effektutvecklingskurva för brand på scen för de första tio minuterna av brandförloppet. Branden tillväxer med en snabb hastighet upp till maximal effektutveckling.

Bilaga E – Bränslekontrollerad effektutvecklingskurva

I denna bilaga beskrivs beräkningarna för bränslekontrollerad effektutveckling beträffande garderobsbranden. Ventilationskontrollerad dito redovisas i bilaga F.

För att undersöka hur länge branden kan fortgå med hänsyn till massan bränsle genomförs beräkningar. Metodiken som används finns beskriven i Staffanssons rapport *Selecting design fires* (Staffansson, 2010). I rapporten finns fullständiga antaganden om de variabler som används här. För att skapa effektutvecklingskurvan behövs tidpunkterna då branden når konstant effektutveckling, när den påbörjar avsvälning samt när den slocknar. Dessa tider räknas ut och används för att ta fram effektutvecklingskurvan.

Massa bränsle:

$$m = 1,5 \text{ kg/st} \cdot 200 \text{ st} = 300 \text{ kg}$$

E.1 Tillväxttid samt utvecklad energi

För att beräkna hur länge tillväxtfasen pågår används ekvation 1.

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \quad (1)$$

$$t_{\text{tillväxt}} = \sqrt{\frac{\dot{Q}_{\text{max}}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{6000}{0,19}} \approx 180 \text{ s}$$

Energien som utvecklas i tillväxtfasen beräknas med ekvation 2.

$$Q_{\text{tillväxt}} = \int_0^t \alpha t^2 dt = \left[\frac{0,19 \cdot t^3}{3} \right]_0^{180} = 369,36 \text{ MJ} \quad (2)$$

E.2 Tid under konstant effektutveckling samt utvecklad energi

För att uppskatta hur länge garderobsbranden kan fortgå skattas möjlig energiutveckling med hjälp av ekvation 3.

$$E_{\text{load}} = m \cdot \Delta H_c = 300 \text{ kg} \cdot 21 \text{ MJ/kg} = 6300 \text{ MJ} \quad (3)$$

Avsvälningssfasen antas börja när 80 % av energin förbränts (Staffansson, 2010)

$$E_{\text{tillväxt+steady state}} = 6300 \text{ MJ} \cdot 0,8 = 5040 \text{ MJ}$$

Brandens fas med relativt konstant effektutveckling tas fram med följande uttryck:

$$t_{\text{steady state}} = \frac{(5040 - Q_{\text{tillväxt}})}{\dot{Q}_{\text{max}}} = \frac{(5040 - 369,36)}{6000} = 778 \text{ s}$$

E.3 Avsvalningsfasens tid, energiutveckling samt avsvalningshastighet

Under avsvalningsfasen avges, enligt tidigare, de kvarvarande 20 procenten av energin.

$$E_{avsvalning} = (6300 - 5040) \text{ MJ} = 1260 \text{ MJ}$$

Tiden under vilken avsvalningsfasen fortgår kalkyleras med ekvation 4.

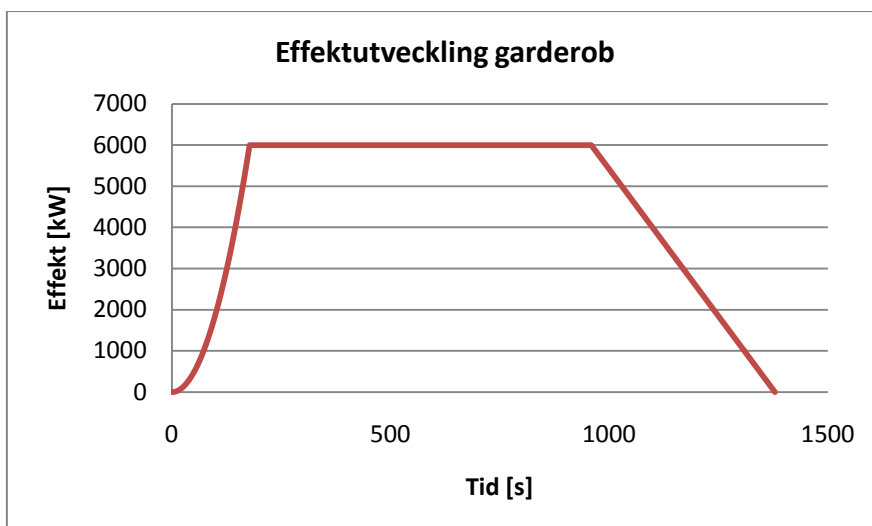
$$E_{avsvalning} = \frac{\dot{Q}_{max} \cdot t_{avsvalning}}{2} \quad (4)$$

$$t_{avsvalning} = \frac{2 \cdot E_{avsvalning}}{\dot{Q}_{max}} = \frac{2 \cdot 1260}{6000} = 420 \text{ s}$$

Avsvalningen antas ske linjärt varför avsvalningshastigheten blir:

$$C_{avsvalning} = \frac{\dot{Q}_{max}}{t_{avsvalning}} = \frac{6000 \text{ kW}}{420 \text{ s}} = 14,3 \text{ kW/s}$$

Framtagen effektutvecklingskurva för en bränslekontrollerad garderobsbrand ses i figur E.1.



Figur E.1. Effektutvecklingskurva för bränslekontrollerad garderobsbrand.

Bilaga F – Ventilationskontrollerad effektutvecklingskurva

I denna bilaga redovisas beräkningar för kontroll av angiven energi på de olika bränderna. Denna grova kontroll görs för att undersöka om branden förblir bränslekontrollerad eller om den blir ventilationskontrollerad under utrymningsförloppet.

Vid beräkning av effektkurvor är det viktigt att ha lokalens ventilation i åtanke. En brand kan, beroende på ventilation och bränslemängd, vara antingen bränslekontrollerad eller ventilationskontrollerad. För att verifiera att den kalkylerade frigjorda energin är möjlig att uppnå är det därför viktigt att undersöka om branden når ett ventilationskontrollerat stadium. Beräkningar behöver således göras. Då tilluftsarean och tillhörande flöde är svårskattade görs antagandet att brand kan fortgå till syrehalten i lokalen blir för låg (< 10 massprocent) (Staffansson, 2010). Ingen hänsyn tas till eventuell tilluft.

Genom att anta att förbränning endast är möjlig så länge syrehalten överstiger tio procent i luften och att varje kilogram syre producerar 13,1 MJ kan ekvation 1 användas för att beräkna den i verkligheten möjliga energiavgivningen.

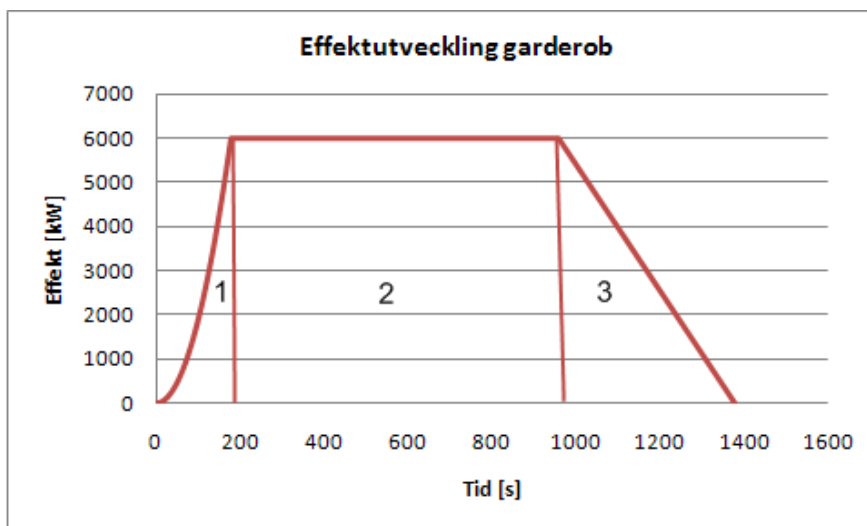
$$E = 13100 \cdot V(0,23 - 0,1) \cdot \rho_a \quad (1)$$

(Staffansson, 2010)

Framräknad energi jämförs med framtagen effektkurva och dess avgivna energi. Om energin ur bränslekontrollerad effektkurva understiger det handberäknade värdet bedöms branden ej bli ventilationskontrollerad, den förblir bränslekontrollerad.

F.1 Garderoben

Energien som totalt avges för garderobsbranden är 6300 MJ. Energin frigörs i de tre faserna som illustreras i figur F.1.



Figur F.1. Effektutvecklingskurva med de olika faserna markerade; tillväxtfasen (1), konstanta effektutvecklingsfasen (2) och avsvalningsfasen (3).

Denna energi måste undersökas närmare för att kontrollera att den är möjlig att uppnå. Med en lokalvolym på 1640 m³, entrén, och en omgivande densitet på luften på 1,2 kg/m³ blir energin lika med

$$E = 13100 \cdot 1640(0,23 - 0,1) \cdot 1,2 \approx 3350 \text{ MJ} \quad (1)$$

Branden kommer alltså att bli ventilationskontrollerad ty $6300 \text{ MJ} > 3350 \text{ MJ}$. Tidpunkten till när detta sker kan tas fram med hjälp av effektkurvan.

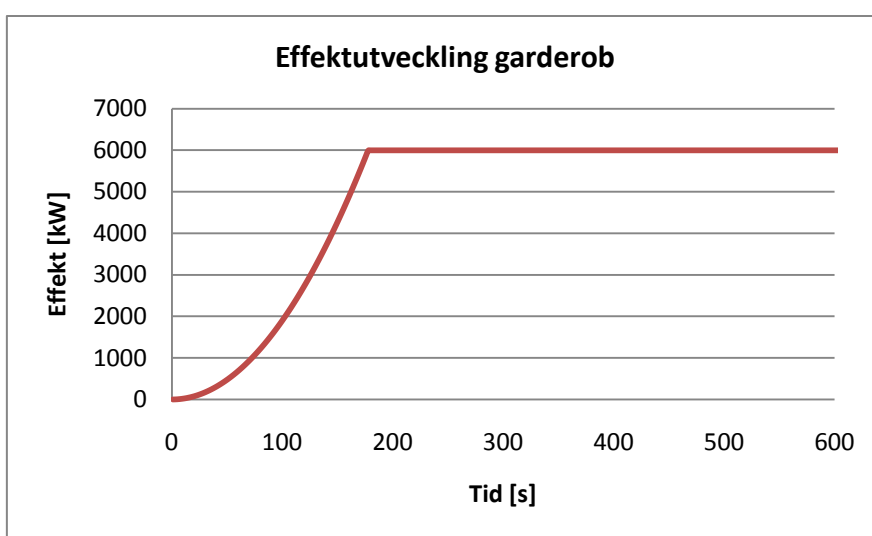
Avgiven energi i fas ett och två, se figur F.1, är sammanlagt 5040 MJ . Denna energi uppnås efter cirka 16 minuter. Fas ett pågår i cirka tre minuter och den avgivna energin i den perioden är 360 MJ .

$$5040 - 6(960 - 180) = 360 \text{ MJ}$$

Det medför att syret i lokalen tar slut och branden slocknar efter ungefär

$$3350 = 360 + 6(X - 180) \rightarrow X \approx 11 \text{ minuter}$$

Tiden elva minuter är längre än tidsramen på tio minuter. Effekttutvecklingskurvan avgränsas därför att enbart gälla de första tio minuterna i brandförloppet, se figur F.2.



Figur F.2. Uppskattad effekttutvecklingskurva för brand i garderober.

F.2 Wirénsalen

Eftersom effektkurvan för branden i Wirénsalen baseras på schablonmässiga värden, och inte utförda experiment, finns ingen avsvalningsfas med i kurvan. En total mängd avgiven energi går därför inte att ta fram. Istället beräknas hur mycket energi som kan utvecklas med avseende på syretillgången i lokalen och resonemang förs sedan kring detta.

Volymen i Wirénsalen uppskattas ur ritningsmaterial till 2370 m^3 . Det medför en energi på

$$E = 13100 \cdot 2370(0,23 - 0,1) \cdot 1,2 \approx 4840 \text{ MJ} \quad (1)$$

Energimängden 4840 MJ ska nu jämföras med effektkurvan. På grund av att effektkurvan inte är fullständig beräknas energin i tillväxtfasen och effekten antas därefter vara konstant på 5 MW tills 4840 MJ är uppnått. Tidens som branden kan fortgå beräknas med ekvation 2.

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

$$t_{\text{tillväxt}} = \sqrt{\frac{\dot{Q}_{\text{max}}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{5000}{0,047}} \approx 330 \text{ s}$$

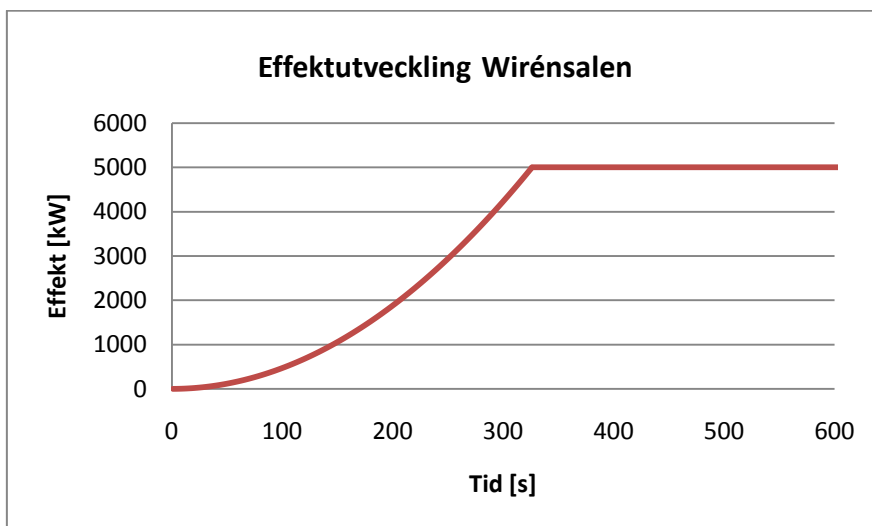
Energien som utvecklas i tillväxtfasen uppskattas med hjälp av ekvation 3.

$$Q_{tillväxt} = \int_0^t \alpha t^2 dt = \left[\frac{0,047t^3}{3} \right]_0^{330} = 563 \text{ MJ} \quad (3)$$

Tiden tills branden blir ventilationskontrollerad blir då

$$4840 = 563 + 5(X - 330) \rightarrow X \approx 20 \text{ minuter}$$

Branden bedöms ej bli ventilationskontrollerad under utrymningsförloppet och tio minuter sätts som den avgränsande tiden även här, se figur F.3.



Figur F.3. Uppskattad effektutvecklingskurva för brand i Wirénsalen.

F.3 Scenen

Liksom i fallet Wirénsalen är effektkurvan för branden på scenen baserad på schablonmässiga värden. Därav finns enbart tillväxtfasen och fasen med konstant effektutveckling med. Ett liknande tankesätt som för branden i Wirénsalen förs därför även här.

Volymen i Wirénsalen uppskattas ur ritningsmaterial till 3350 m³. Volymen exkluderar den volym som finns ovanför takplattorna i taket ovan scenen då denna volym är vanskelig att uppskatta. Detta medför en energi på

$$E = 13100 \cdot 3350(0,23 - 0,1) \cdot 1,2 \approx 6850 \text{ MJ} \quad (1)$$

Energimängden 6850 MJ är alltså den begränsande mängden. Brandens effekt antas efter tillväxtfasen vara konstant på 15 MW tills 6850 MJ är uppnått.

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

$$t_{tillväxt} = \sqrt{\frac{\dot{Q}_{max}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{15000}{0,047}} \approx 570 \text{ s}$$

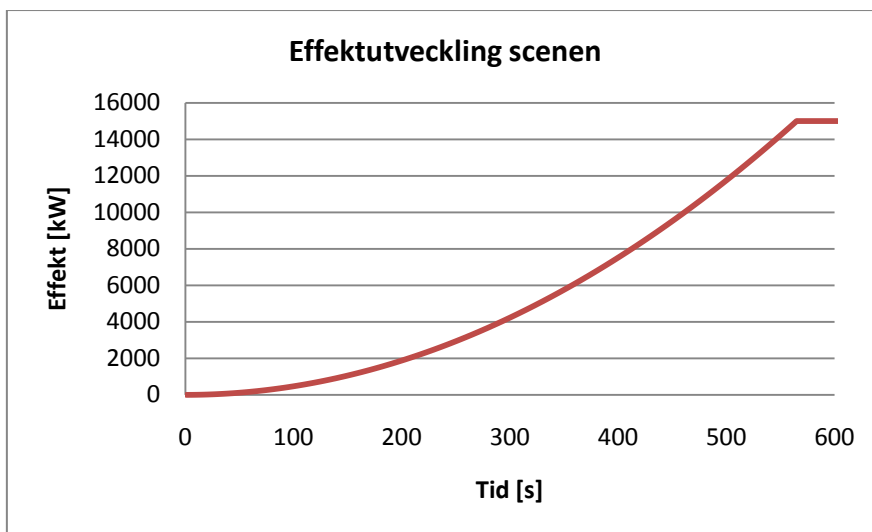
Energien som utvecklas i tillväxtfasen uppskattas med hjälp av ekvation 3.

$$Q_{tillväxt} = \int_0^t \alpha t^2 dt = \left[\frac{0,047t^3}{3} \right]_0^{570} = 2900 \text{ MJ} \quad (3)$$

Tiden tills branden blir ventilationskontrollerad blir då

$$6850 = 2900 + 15(X - 570) \rightarrow X \approx 14 \text{ minuter}$$

Branden bedöms ej bli ventilationskontrollerad under utrymningsförloppet och liksom tidigare är tio minuter den avgränsande tiden, se figur F.4.



Figur F.4. Uppskattad effektutvecklingskurva för brand på scenen.

Bilaga G – Semi-kvantitativ bedömning av Garderob (öppet entréplan)

I denna bilaga presenteras en semi-kvantitativ bedömning av brand i garderob (öppet entréplan).

I rapporten är det huvudsakliga antagandet att aktiva system fungerar vid brand och att magnetuppställda dörrar stänger vid detektion. Detta anses gälla i de fall där inga uppenbara risker för det motsatta noteras (se brand i Wirénsalen). Trots detta genomförs här en kontroll av vad som kan ske om dörrarna från entrén på plan 1 till trapphus A och B ej stänger vid brand i garderob. Någon fullständig kvantitativ analys inkluderande sannolikhet för systemfelfrekvens och liknande genomförs inte, utan endast en grov analys i syfte utreda händelsen.

Det som undersöks är tid till kritiska förhållanden förutsatt brand i garderob, under föreställning, vid öppet entréplan. Scenariot bedöms vara intressant att analysera eftersom det kan medföra att personer befinnandes på läktaren riskerar att bli instängda av brandgaser. En analys under paus i föreställning medför i och för sig att mer personer riskerar att bli direkt utsatta för brandgaser men dessa har alltid en alternativ utrymningsväg att tillgå och därför undersöks inte detta scenario vidare.

Som det går att se i avsnitt 10.2 uppnås kritiska förhållanden efter 220 sekunder i foajéerna på plan 2. Personer befinnandes i salongen har vid den tidpunkten fortfarande två utrymningsvägar att tillgå i trapphus H och I. Dessa utrymningsvägar är tillgängliga direkt inifrån salongen, via scenen. Kritiska förhållanden bedöms därför inte uppstå för personer i Konsertsalen på plan 2.

Förutsättningarna är dock annorlunda för personerna på Konsertsalens läktare. Om brandgaser når foajéerna på plan 3 innan personerna hunnit utrymma läktaren riskerar dessa att bli instängda.

För att utrymma från läktaren måste nämligen personerna passera genom en foajé för att nå trappor som leder nedåt. Utrymmande personer antas använda sunt förnuft och ej utrymma genom rökfyllda trappuppgångar, trappuppgång C och D, utan använda närliggande avskilda trappuppgångar F och G. Tiden till kritiska förhållanden på plan 3 jämförs därför med motsvarande utrymningstid för att undersöka om säker utrymning anses kunna ske.

Simuleringar med FDS, se avsnitt 10.2, visar att kritiska förhållanden uppstår efter cirka 470 sekunder i foajéerna på plan 3. Vid brand i garderob meddelas detektoraktivering till personal i Konsertsalen, via brandlarmstablåer i teknikerbås samt ljud- och ljusrum. Enligt tidigare sker detta efter elva sekunder. Kontroll görs och när beslut om utrymning tas stoppar ansvarig person ur personalen verksamheten på scenen, meddelar publiken om att utrymning ska ske och aktiverar därefter larm bestående av signal och blixtljus. Total tid för att ta beslut om utrymning, stoppa verksamheten, meddela publiken och få dessa att börja utrymma uppskattas till fyra minuter. Tiden det tar för alla på läktaren att förflytta sig till trapphus F och G simuleras i Simulex till två minuter. Resultatet redovisas i tabell G.1.

Tabell G.1. Sammanställning av framtagna punktskottningar samt medförande tidsmarginal.

Scenario	t_{kritisk} [s]	$t_{\text{varseblivning}}$ [s]	$t_{\text{förberedelse}}$ [s]	$t_{\text{förflyttning}}$ [s]	Marginal [s]
Garderob (läktare)	470	11	240	120	99

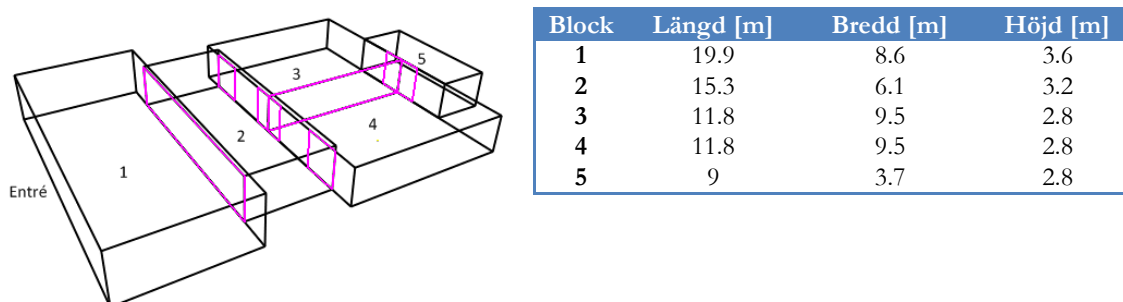
Tidsmarginalen för personer befinnandes på läktaren blir således cirka 100 sekunder. Följderna av beskrivet scenario anses därför som acceptabla.

Bilaga H – CFAST- simuleringar

I denna bilaga presenteras värden på olika parametrar, framtagna med CFAST, för de olika scenarierna. Uppgifterna används för att verifiera resultaten i FDS.

H.1 Garderob

CFAST används för att simulera brandförloppet för garderoben. Med hjälp av simuleringen tas värden fram på parametrar såsom temperatur och brandgaslagrets höjd. I simuleringen approximeras entréplan utifrån ritningsmaterial till utseendet i figur H.1. Geometrin delas upp i fem olika kontrollvolymerna som vardera representerar olika delar i entrén. Garderoberna är belägna längs med väggarna i block tre och fyra och brand simuleras i det senare blocket. Simuleringen görs med stängt entréplan, det vill säga dörrarna till trapphus A och B antas stänga vid brand.



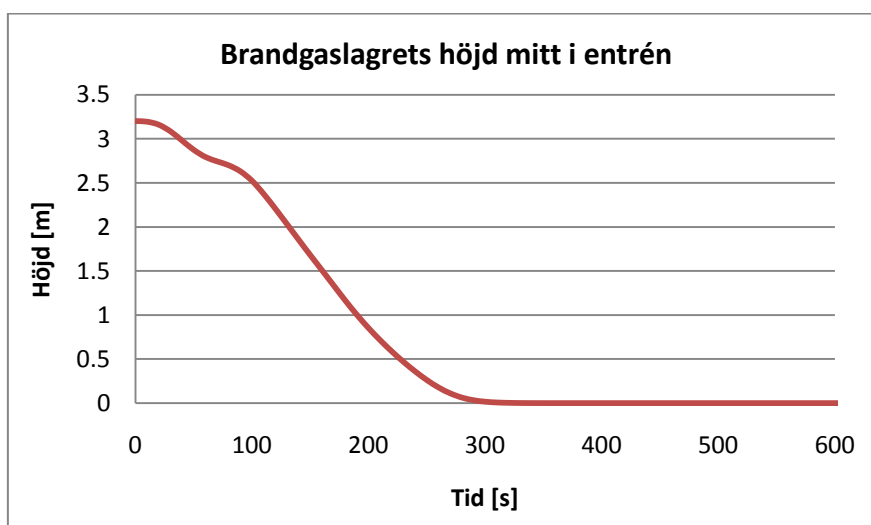
Figur H.1. Entréplans utseende i CFAST. Brandens placering är i högra delen av block fyra.

Det finns vissa restriktioner angående förhållandena mellan kontrollvolymernas geometrier, se bilaga C. Tabell H.1 visar att använd geometri är giltig.

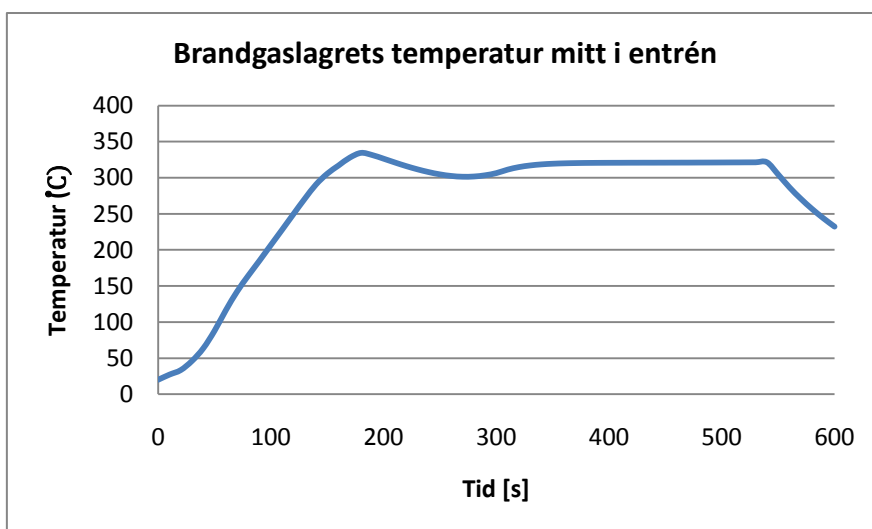
Tabell H.1. Kriterier angående geometrin i CFAST.

Mått	Acceptabelt	Gränsfall	1	2	3	4	5	Kommentar
L/B	$L/B < 3$	$3 < L/B < 5$	2,3	2,5	1,2	1,2	2,4	OK
L/H	$L/H < 3$	$3 < L/H < 6$	5,5	4,8	4,2	4,2	3,2	OK
B/H	$B/H > 0,4$	$0,2 < B/H < 0,4$	2,4	1,9	3,4	3,4	1,3	OK

Effektkurvan för garderobsbranden, se avsnitt 8.1, används som brand i simuleringen. Alla ytskikt ansätts till att bestå av betong, övriga indatavariabler är CFASTs standardvärden. Resultatet för parametrarna brandgaslagrets höjd samt temperatur redovisas i figur H.2 och figur H.3.



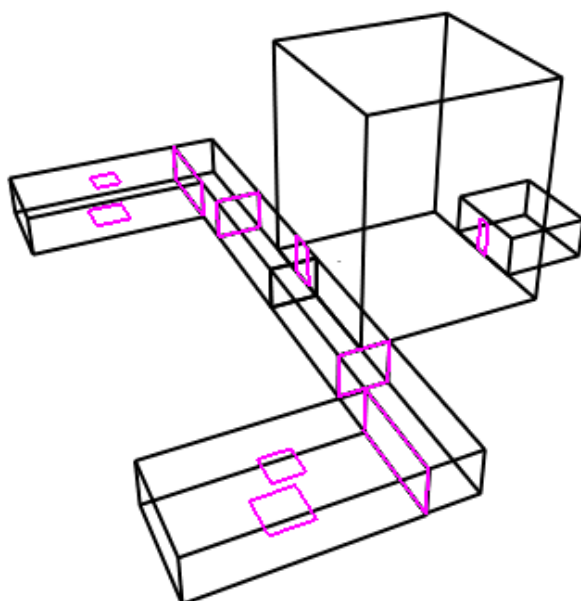
Figur H.2. Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden för brand i garderoben.



Figur H.3. Brandgaslagrets temperatur som funktion av tiden för brand i garderoben.

H.2 Wirénsalen

CFAST kan endast modellera rektangulära rum. Wirénsalen är dock cylinderformad med en diameter på 14 meter. Salen förenklas här med en, till ytan ekvivalent, kvadratisk botten med sidan 12,4 meter, se figur H.4. Balkongerna vid varje våningsplan beaktas ej och därför inte heller eventuella balkongplymeffekter vid varje våningsplan. Simuleringar genomförs endast för fallet då dörren till foajén, mot trapphus B, samt dörren till trapphus E är uppställda. Fallet är intressant eftersom det leder till att besökare i Repsalen riskerar att få sina utrymningsvägar blockerade av brandgaser. Den högra korridoren i figur H.4. simuleras ej.



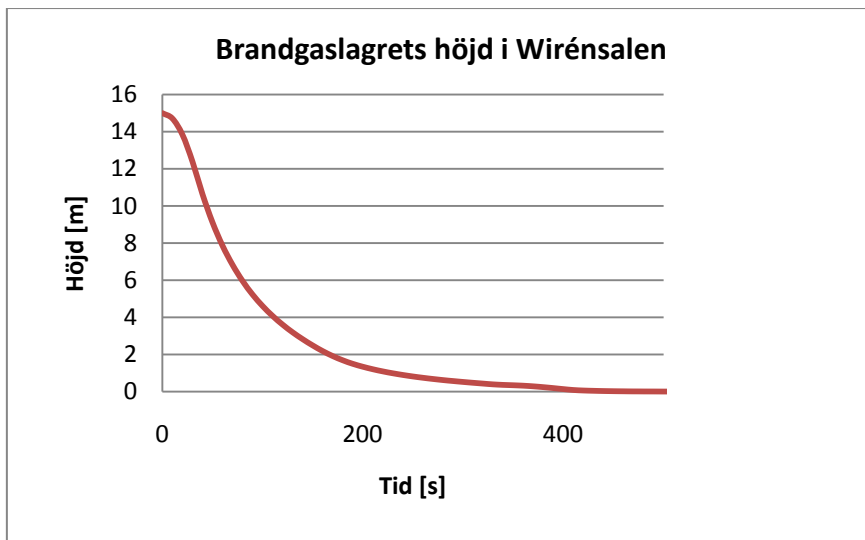
Figur H.4. Wirénsalen med angränsande utrymmen i CFAST.

Effektkurvan för branden i Wirénsalen, se avsnitt 8.2, används som brand i simuleringen och geometriförhållandets giltighet kontrolleras i tabell H.2. Övriga indatavariabler är CFASTs standardvärden.

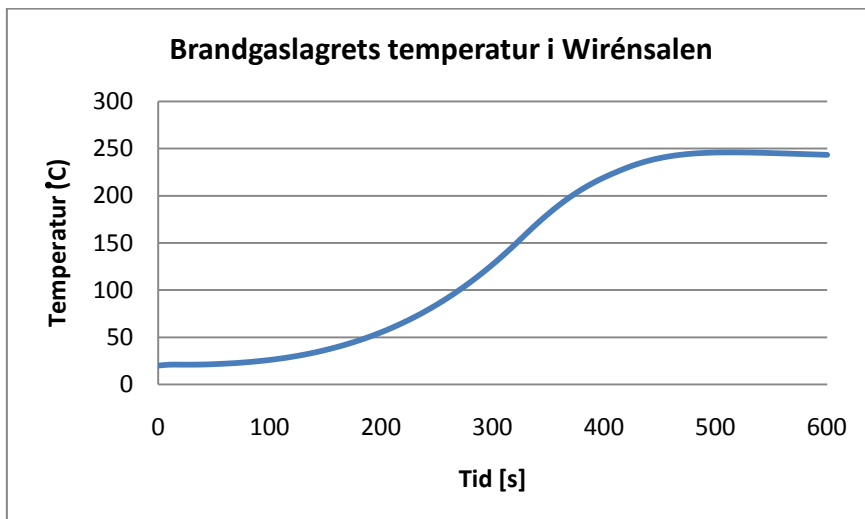
Tabell H.2. Kriterier angående geometrin i CFAST.

Geometriförhållande	Acceptabelt	Gränsfall	Wirénsalen	Kommentar
L/B	$L/B < 3$	$3 < L/B < 5$	1	OK
L/H	$L/H < 3$	$3 < L/H < 6$	0,8	OK
B/H	$B/H > 0,4$	$0,2 < B/H < 0,4$	0,8	OK

Resultat på brandgaslagrets höjd samt temperatur presenteras i figur H.5 och figur H.6.



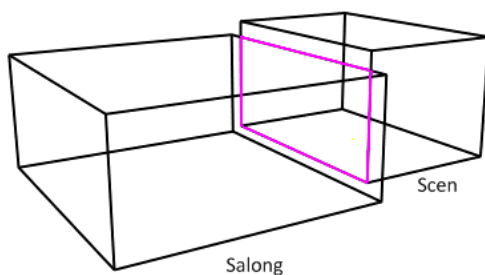
Figur H.5. Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden för brand i Wirénsalen.



Figur H.6. Brandgaslagrets temperatur som funktion av tiden för brand i Wirénsalen.

H.3 Scenen

Utifrån ritningsmaterial approximeras Konsertsalen i CFAST till två rätblock; ett block för scenen och ett för salongen. Vissa andra approximationer görs också för att få geometrin helt rätvinklig. Salongens geometri (längd x bredd x höjd) är 18,4 x 17,1 x 7,9 meter och scenens är 15,6 x 10,1 x 8,3 meter och illustreras i figur H.7. Effektkurvan för brand på scenen, se avsnitt 8.3, används som brand i simuleringen. Alla ytskikt ansåts att vara av betong, övriga indatavariabler är CFASTs standardvärden.



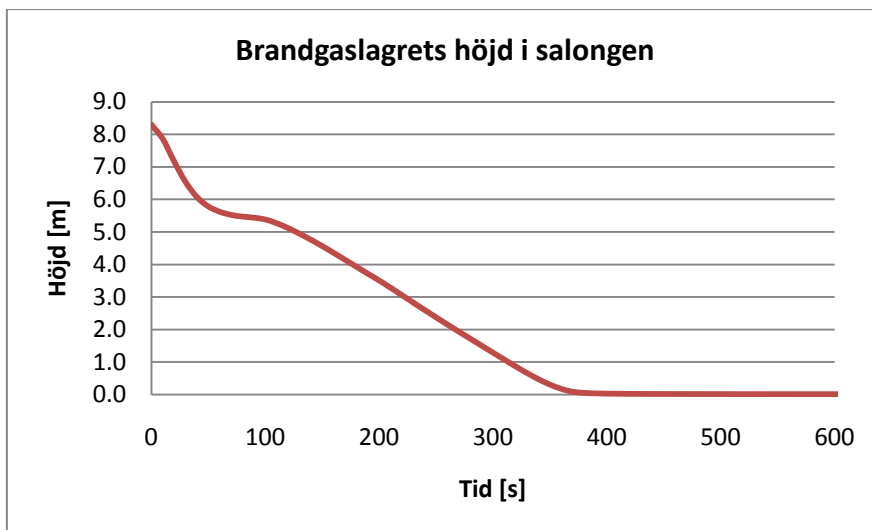
Figur H.7. Konsertsalens geometri i CFAST.

Salongens giltighet i CFAST presenteras i tabell H.3.

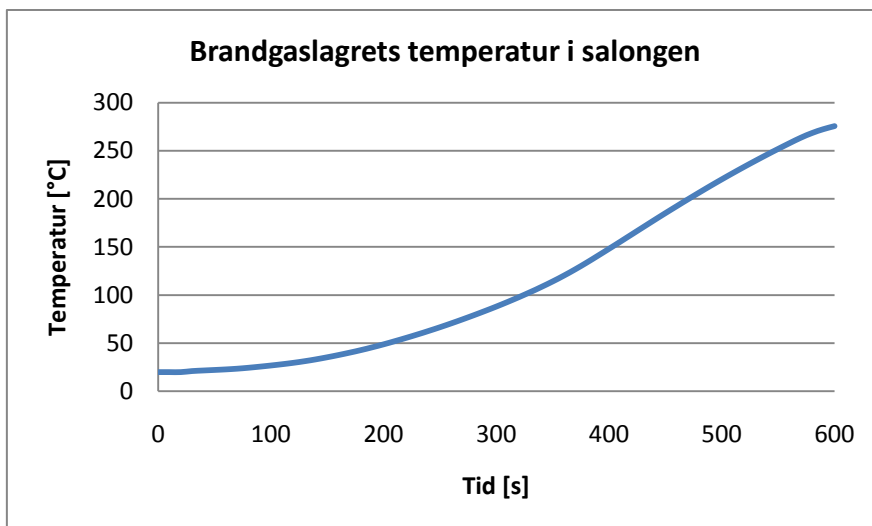
Tabell H.3. Kriterier angående geometrin i CFAST.

Geometriförhållande	Acceptabelt	Gränsfall	Salong	Scen	Kommentar
L/B	$L/B < 3$	$3 < L/B < 5$	1,1	1,5	OK
L/H	$L/H < 3$	$3 < L/H < 6$	2,3	1,9	OK
B/H	$B/H > 0,4$	$0,2 < B/H < 0,4$	2,2	1,2	OK

Framtagna resultat på brandgaslagrets höjd och temperatur ses i figur H.8 och figur H.9.



Figur H.8. Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden i salongen.



Figur H.9. Brandgaslagrets temperatur som funktion av tiden i salongen.

Bilaga I – Jämförelse mellan FDS och CFAST

I denna bilaga verifieras resultaten i FDS med den enklare modellen CFAST.

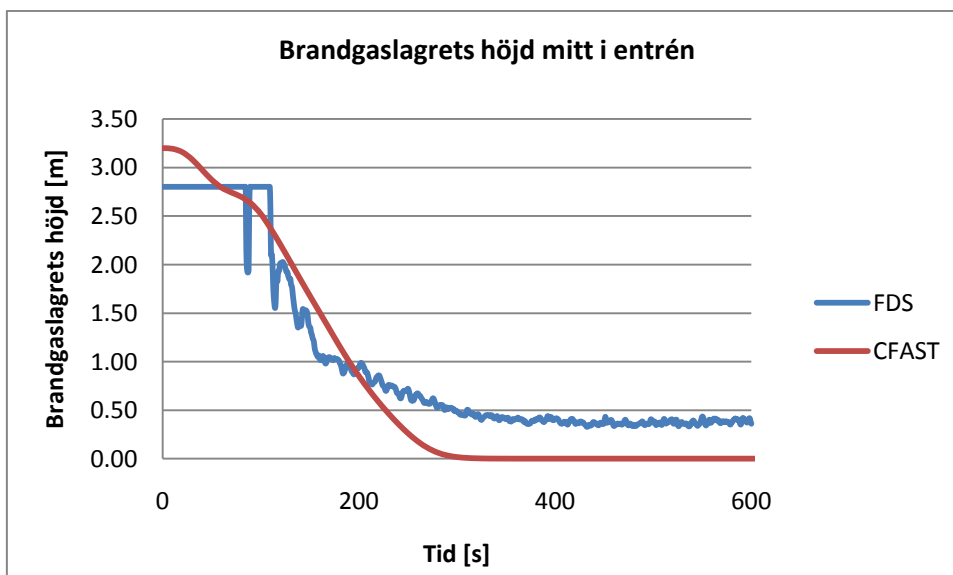
För att göra en grov kontroll av FDS-resultatens rimlighet jämförs de med simuleringar från CFAST. Det som analyseras är brandgaslagrets höjd samt temperatur. CFAST-simuleringar presenteras i bilaga H och information om programmet i bilaga C.

I vissa situationer är det vanskligt att jämföra resultat mellan FDS och CFAST eftersom CFAST är en tvåzonsmodell. Respektive kontrollvolym antas vara homogent omblandad och det medför i vissa fall komplikationer när resultat ska jämföras mot FDS. Ett exempel på när svårigheter uppstår är när parametern temperatur ska bedömas. Eftersom temperaturen i CFAST är enhetlig i det övre lagret behövs ett medelvärde ur FDS för att jämförelse ska vara genomförbar. Medelvärdet är möjligt att ta fram om kunskap om brandgaslagrets höjd finns. Eftersom höjden på brandgaslagret i FDS i vissa fall fluktuerar väldigt kraftigt, vilket kan bero på turbulens samt små temperaturgradienter, uppstår bryderier om vilken höjd ett medelvärde ska tas fram över. Därför jämförs den i CFAST uppnådda temperaturen med ett tvärsnitt över temperatur i FDS vid samma tidpunkt, en så kallad slice file. Jämförelsen måste göras innan brandgaslagret i CFAST nått golvet eftersom modellen då är ogiltig. Granskning sker därför efter 200 sekunder i samtliga fall.

Ett annat problem uppstår vid jämförelse av brandgaslagrets höjd. Om mätningarna sker i en lokal med hög takhöjd, som till exempel Wirénsalen och Konsertsalen, och geometrin i FDS är uppdelad i flera rutnät i höjddled, kommer programmet endast utföra mätningar för det nedersta rutnätet. Om geometrin i CFAST däremot är uppbyggd av ett enda block kommer brandgaslagrets höjd mätas från taket och ned. Jämförelse går då endast att göras i de nedre delarna av lokalen.

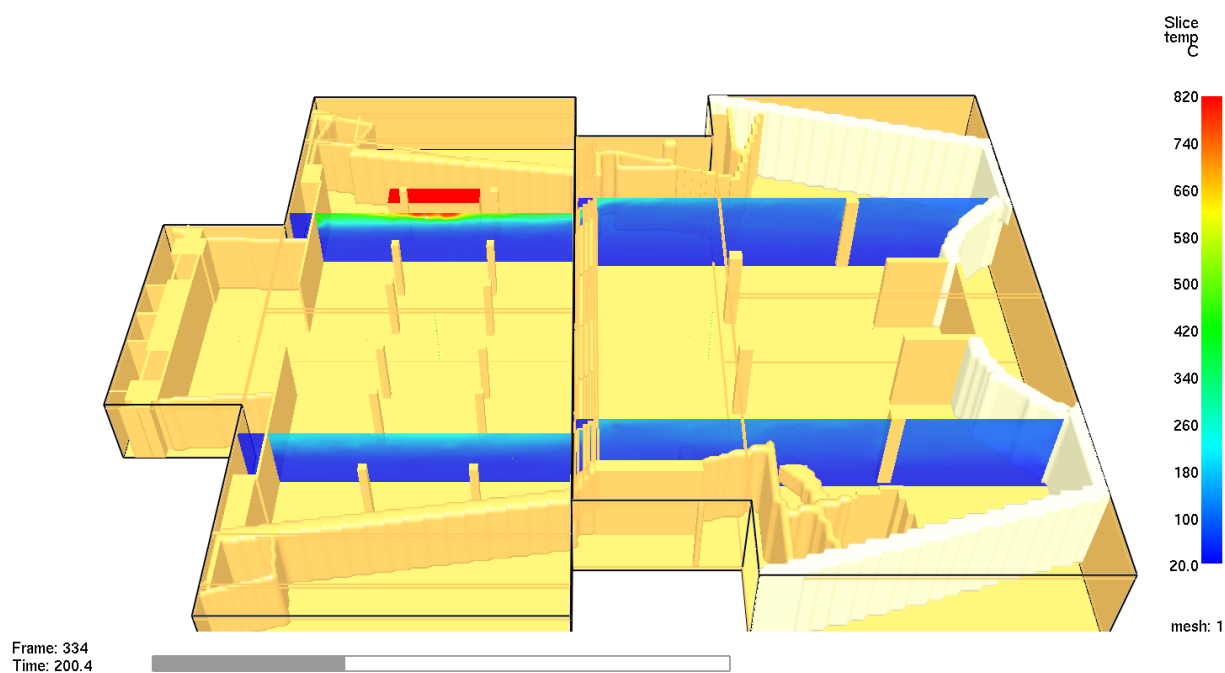
I.1 Garderob

Brandgaslagrets höjd mitt i entrén, som simuleras med FDS, korrelerar väl med brandgaslagret i CFAST, se Figur I.1. Även om höjden i FDS till viss del fluktuerar stämmer gradienten överens med den i CFAST. Det faktum att brandgaserna aldrig når golvet i FDS kan förklaras av att temperaturdifferensen cellerna emellan är för låg för att programmet ska tyda det som en skiktning.



Figur I.1. Jämförelse av brandgaslagrets höjd, mellan FDS och CFAST, mitt i entrén vid garderobsbranden (stängt entréplan).

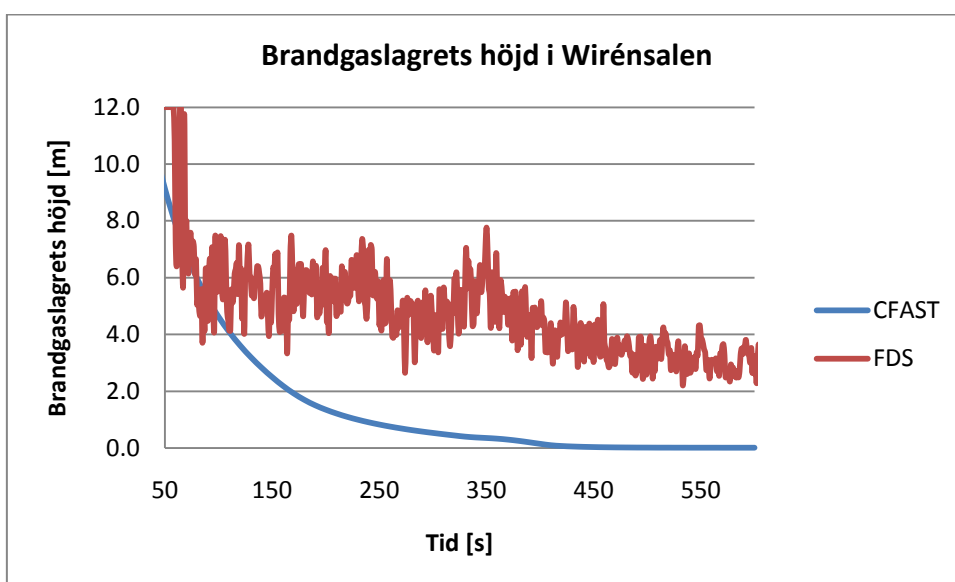
Temperaturen i brandgaslagret, i CFAST, är cirka 325 °C mitt i entrén efter 200 sekunder, se figur H.3. Mätningarna genomförs mitt i entrén. Temperaturen är högre än vad som uppvisas i FDS vid samma tidpunkt, se figur I.2. Skillnaden är dock inte betydande och demonstrerar att resultaten i FDS ej är helt orimliga.



Figur I.2. Vertikalt tvärsnitt med temperatur i entrén vid brand i garderob.

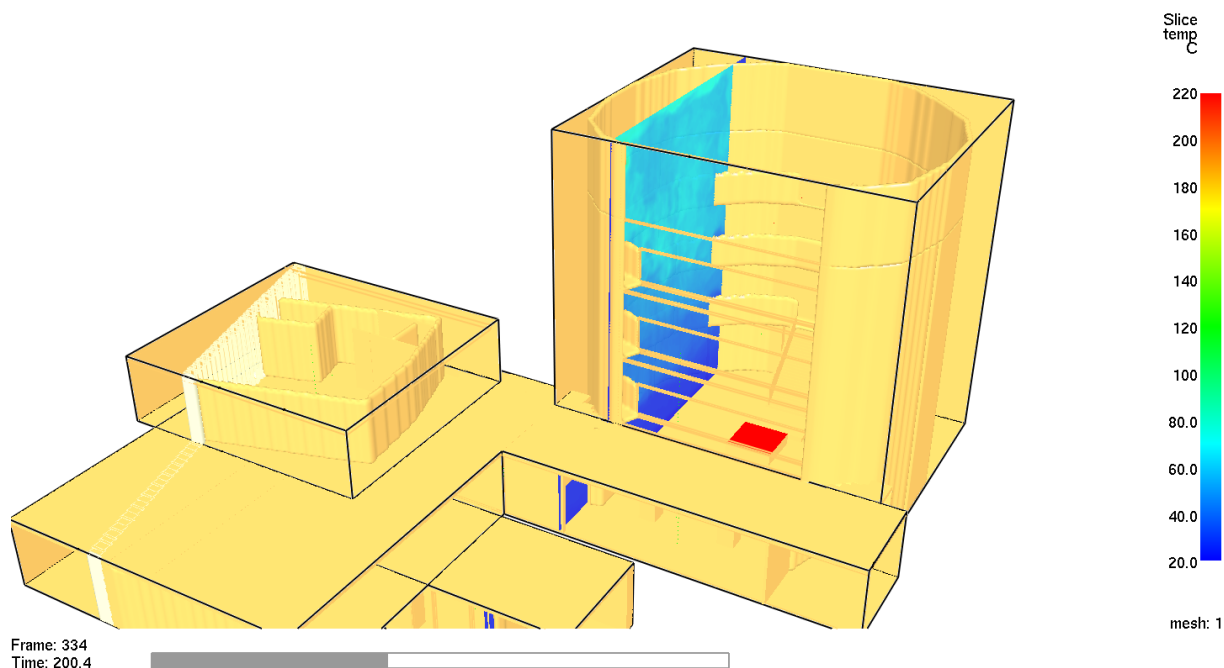
I.2 Wirénsalen

I Wirénsalen fluktuerar värdena på brandgaslagrets höjd mycket i FDS. Enligt tidigare resonemang kan det bero på låg skillnad i temperatur mellan cellerna samt hög turbulens. Det faktum att brandgaserna inte når golvet kan också förklaras av detta fenomen. Den höga turbulensen på brandgaserna går att uttyda i det vertikala tvärsnittet med temperatur, se figur I.4. Brandgaslagrets höjd i CFAST uppvisar mindre variation, en jämförelse mellan FDS och CFAST presenteras i figur I.3.



Figur I.3. Jämförelse av brandgaslagrets höjd, mellan FDS och CFAST, i Wirénsalen.

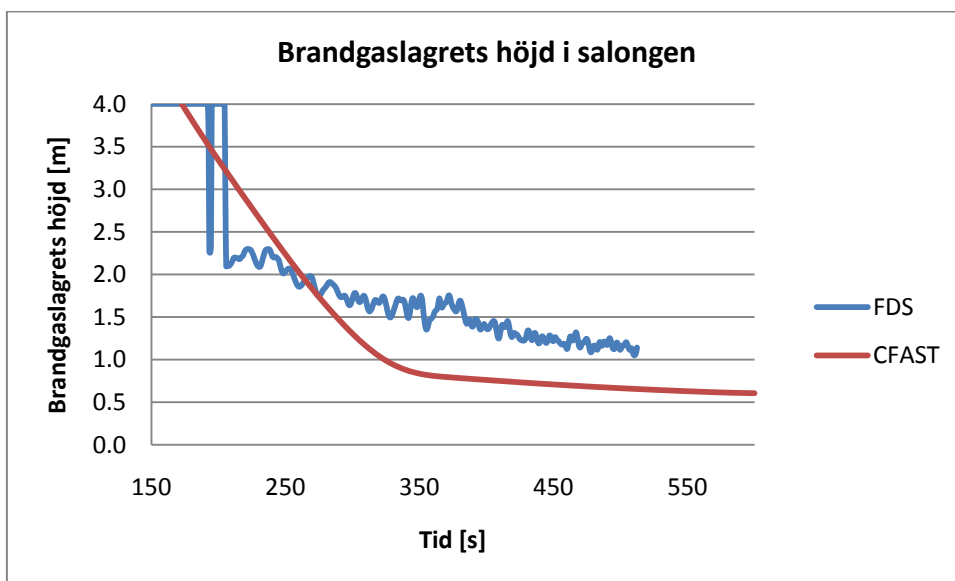
Brandgaslagret i CFAST har en temperatur på cirka 50 °C efter 200 sekunder, se figur H.6. Temperaturen stämmer väl överens med vad som uppvisas i FDS, se figur I.4. Totalt är utdata från de två modellerna i samma storleksordning vilket visar att resultaten inte FDS är helt orimliga.



Figur I.4. Vertikalt tvärsnitt med temperatur i Wirénsalen.

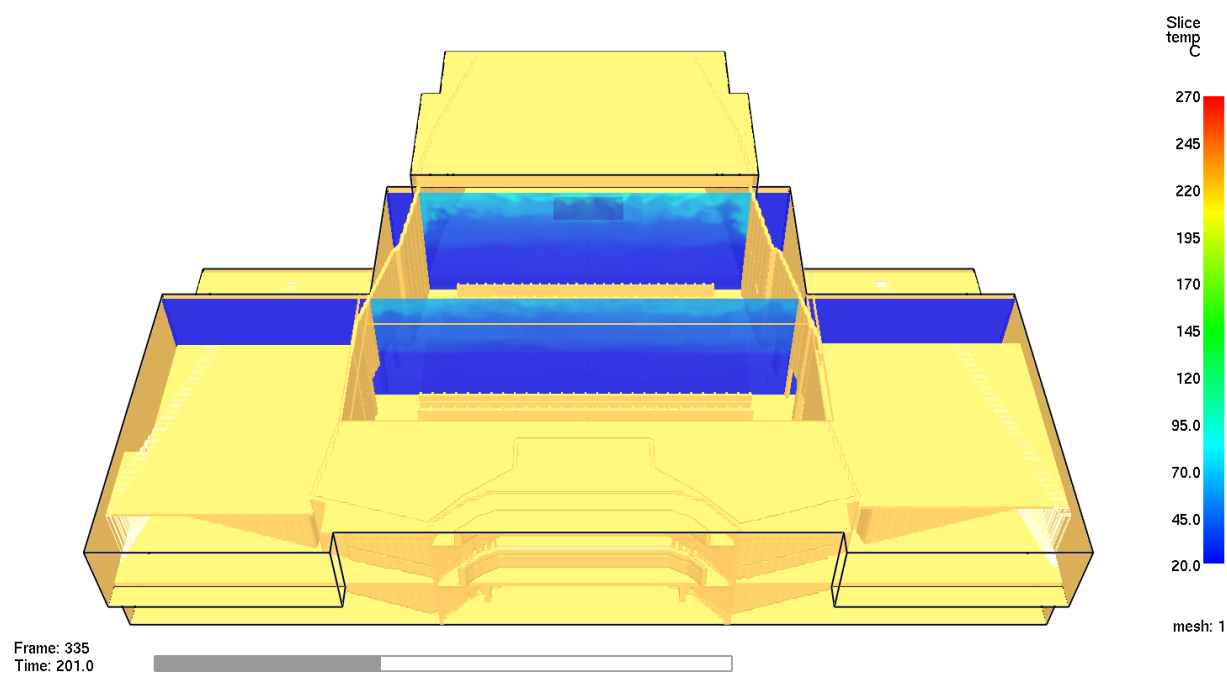
I.3 Scenen

I salongen går det endast att jämföra brandgaslagrets höjd när brandgaserna understiger fyra meter. Anledningen till detta är att rutnätet i FDS är uppdelat på höjden och att den nedersta delen endast mäter upp till fyra meter ovan golv. Det går dock att uttyda att höjden fyra meter nås vid ungefär samma tidpunkt i både FDS och CFAST, se I.5, vilket tyder på att de två korrelerar väl.



Figur I.5. Jämförelse av brandgaslagrets höjd, mellan FDS och CFAST, i salongen.

Temperaturen i brandgaslaget i salongen, uppmätt med CFAST, är liksom i Wirénsalen cirka 50°C efter 200 sekunder, se figur H.9. Temperaturen uppmätt i FDS vid samma tidpunkt ligger i samma storleksordning, se figur I.6. Korrelationen visar att resultaten i FDS inte är helt orimliga.



Figur I.6. Vertikalt tvärsnitt med temperatur i salongen.

Sammanfattningsvis anses de uppnådda värdena i FDS vara rimliga. Vissa skillnader i resultat förekommer mellan programmen men det är naturligt då de är uppbyggda på helt olika sätt. Jämförelsen är som sagt till för att se att resultaten ligger i samma storleksordning, och inte är helt orimliga, och till detta anses den ha uppfyllt sitt syfte.

Bilaga J – Varseblivningstid/tid till detektion

I detta kapitel redovisas framtagning av varseblivningstid samt vilka antaganden som görs i beräkningar och simuleringar.

J.1 Garderob

För att inte låsa in sig på ett värde för tid till detektion i DetactQS varierar olika ingångsparametrar. De värden som skiftas är det radiella avståndet mellan detektor och plym (2,5 meter) samt det vertikala avståndet mellan bränsle och tak (1,5 meter). Värden inom parentes är de som skattas för objektet. Tre olika beräkningar genomförs; en med skattade avstånd mellan bränsle och detektor, en med minimala avstånd samt en med maximala avstånd. Simuleringsresultaten ses i figur J.1-J.3.

J.1.1 Prövning av normalfallet

Takhöjden vid garderobsutrymmena uppskattas till 2,8 meter. Jackorna som utgör bränsle är upphängda på galgrack. Avståndet mellan bränsle och tak skattas till 1,5 meter och avståndet mellan detektor och plym skattas till 2,5 meter. För resultat se figur J.1.

```

CEILING HEIGHT= 1.500012 m    4.9213 ft
RADIUS= 2.5 m    8.2021 ft
DET ACT TEMP= 38 C    100.4 F
RTI= .502954 (m*s)^(1/2)    .911 (ft*s)^(1/2)

  TIME      FIRE  GAS TEMP  DET TEMP  GAS TEMP  DET TEMP
  sec      kW    C          C          F          F
  0.0      0.0    25.0     25.0     77.0     77.0
  10.0     19.4    37.0     35.5     98.7     95.9

**** DETECTOR ACTUATION AT    11.4 SECONDS ****

```

Figur J.1. Detektoraktivering för garderobsbrand med 2,5 meter i radiellt avstånd mellan detektor och plym, samt 1,5 meter i avstånd mellan bränsle och tak.

J.1.2 Prövning av det mest gynnsamma fallet

En undersökning av det mest gynnsamma fallet görs, det vill säga med minimala avstånd, för att få med kortast tänkbara tid. Avståndet mellan bränsle och tak skattas till en meter och avståndet mellan detektor och plym skattas till två meter. För resultat se figur J.2.

```

CEILING HEIGHT= .9999879 m    3.2808 ft
RADIUS= 2.000006 m    6.5617 ft
DET ACT TEMP= 38 C    100.4 F
RTI= .502954 (m*s)^(1/2)    .911 (ft*s)^(1/2)

  TIME      FIRE  GAS TEMP  DET TEMP  GAS TEMP  DET TEMP
  sec      kW    C          C          F          F
  0.0      0.0    25.0     25.0     77.0     77.0

**** DETECTOR ACTUATION AT    8.2 SECONDS ****

```

Figur J.2. Detektoraktivering för garderobsbrand med två meter i radiellt avstånd mellan detektor och plym, samt en meter i avstånd mellan bränsle och tak.

J.1.3 Prövning av extremfallet

En granskning av extremfallet utförs, det vill säga med maximala avstånd, för att få med värsta tänkbara scenariot. Avståndet mellan bränsle och tak skattas till två meter och avståndet mellan detektor och plym skattas till fem meter. För resultat se J.3.

```

CEILING HEIGHT= 2.000006 m    6.5617 ft
RADIUS= 4.999939 m    16.404 ft
DET ACT TEMP= 38 C    100.4 F
RTI= .502954 (m*s)^(1/2)    .911 (ft*s)^(1/2)

  TIME      FIRE  GAS TEMP  DET TEMP  GAS TEMP  DET TEMP
  sec      kW    C          C          F          F
  0.0      0.0    25.0     25.0     77.0     77.0
  10.0     19.4    30.7     29.8     87.2     85.6

**** DETECTOR ACTUATION AT    18.6 SECONDS ****

```

Figur J.3. Detektoraktivering för garderobsbrand med fem meter i radiellt avstånd mellan detektor och plym, samt två meter i avstånd mellan bränsle och tak.

Skillnaden i tid mellan de olika simuleringarna är förhållandevis liten. Analysen visar att endast drygt tio sekunder skiljer mellan fallen med minimala och maximala avstånd. Noteras bör att önskvärdt underlag för uppskattning av förbrinntiden inte går att finna och effektkurvan som tas fram görs utan hänsyn till denna tid, se bilaga D. Förenklingen är icke-konservativ med hänsyn till detektoraktivering. De begränsningar som finns i DetactQS bidrar vidare till att simulerade detektionstider underskattas vilket också detta är icke-konservativt ur utrymningssynpunkt.

Eftersom det ej går att säga var i garderoben branden startar ansätts en triangulär fördelning mellan ovan presenterade värden. En diskussion om valet förs i avsnitt 15.5.

J.2 Wirénsalen

I Wirénsalen sitter en linjerökdetektor placerad tvärs över atriet i på uppskattningsvis elva meters höjd över golvet. På grund av detektortypen är inte DetactQS lämpligt att använda för beräkning av detektion. Istället används FDS.

I FDS används tre olika placeringar av detektorn i syfte att undersöka hur brandens placering i förhållande till detektorn påverkar tiden till detektion. De olika detektorplaceringarna är; rakt ovanför branden, lite vid sidan av samt intill väggen.

Aktiveringstiderna simuleras till 27, 38 respektive 48 sekunder. Av samma anledning som i fallet brand i garderob, att det inte går att förutsätta brandens placering, ansätts en triangulär fördelning mellan redovisade värden.

J.3 Scenen

I Konsertsalen förekommer en optisk ljusspridningsdetektor ovanför scenen samt en linjerökdetektor som täcker övriga lokalen. Linjerökdetektorn antas inte, på grund av placeringen, detektera brand på scen inom rimlig tid. Den anses vara mer lämplig att detektera brand i själva salongsdelen.

Den optiska ljusspridningsdetektorn som är placerad i taket ovanför scenen är omgiven av diverse utrustning. Eventuella brandgaser kommer med stor sannolikhet delvis att hindras av denna utrustning. En grov förenkling av detektorns placering görs med syfte att erhålla en minimal detektionstid. Detektorn antas vara belägen rakt ovanför branden och placerad på ett plant tak. Takhöjden uppskattas utefter ritningsmaterial till sju meter och genomsnittlig bränshöjd antas vara 0,5 meter. I övrigt gäller samma detektoregenskaper som redovisas för detektorn gällande brand i garderob. Dessa värden används som indata i DetactQS. För resultat se figur J.4.

```
CEILING HEIGHT= 7.000037 m    22.966 ft
RADIUS= 0 m    0 ft
DET ACT TEMP= 38 C    100.4 F
RTI = .502954 (m*s)^(1/2)    .911 (ft*s)^(1/2)
```

TIME	FIRE	GAS TEMP	DET TEMP	GAS TEMP	DET TEMP
sec	kW	C	C	F	F
0.0	0.0	25.0	25.0	77.0	77.0
10.0	4.8	26.6	26.5	79.9	79.7
20.0	18.9	29.4	29.2	84.9	84.6
30.0	42.3	32.7	32.5	90.8	90.6
40.0	75.3	36.4	36.2	97.5	97.2

**** DETECTOR ACTUATION AT 44.5 SECONDS ****

Figur J.4. Detektoraktivering för brand på scen (förenklat fall).

Under rådande förenklade förutsättningar simuleras aktiveringstiden till 44,5 sekunder. Detta förutsätter plant tak och att branden är rakt under detektorn. I verkligheten har taket komplicerad geometri och branden kan vara ett flertal meter i radiell led från detektorn, tiden till detektion kommer således vara längre än den simulerade. Under föreställning, vilket är det scenario som analyseras, förväntas detektion ske snabbare visuellt än genom detektoraktivering. Efter en minut är effektutvecklingen omkring 200 kW, motsvarande brand i två papperskorgar, och visuell detektion uppskattas då äga rum. En minut väljs därför som trolig varseblivningstid.

Bilaga K – Förberedelsetid

I denna bilaga redovisas framtagandet av förberedelsetider för de olika brandscenerierna.

Beslut och reaktionstiden innefattar de olika aktiviteter som personer företar sig från varseblivning till dess att själva utrymningsförflyttningen påbörjas. För mer information om de bakomliggande orsakerna till denna tid se avsnitt 3.5.

K.1 Garderob

Personer i entrén förväntas kunna se brand och/eller rök från garderoben i ett tidigt skede. Enligt rapporten *Tid för utrymning vid brand* (Frantzich, 2001) kan förberedelsetiden vara omkring en minut. En minut väljs för vidare analys.

K.2 Wirénsalen

Verksamheten i Repsalen kan vara av olika slag, till exempel som servering i pauser eller som repetitionssal för orkestrar. Vid servering antas personal vara närvarande men inte vid repetitionsverksamhet. Personer som varken ser branden själva eller instrueras av någon anställd att utrymma har i regel en betydligt längre förberedelsetid än om förutsättningarna är de motsatta. Försök som genomförts bekräftar detta (Frantzich, 2001).

Ett fall som analyseras är då det är paus i Konsertsalen och personer istället befinner sig i entrén, foajéerna, Repsalen och i Wirénsalen. Dörren som förbinder Wirénsalen med Repsalen antas vara stängd. I detta fall förväntas flertalet personer i Wirénsalen kunna se branden och förberedelsetiden för dessa tros vara omkring en minut enligt tidigare resonemang. Personer i Repsalen ser inte branden men antas bli så pass informerade av personer i Wirénsalen att förberedelsetiden sätts till densamma. En minut väljs för vidare analys.

Då Repsalen används som repetitionssal för musiker antas dörrpartiet till angränsande Wirénsalen vara stängt. Larmdon utgörs av ringklocka som förväntas störa musikerna så pass mycket att de uppmärksammas och spelningar avslutas. I en Delphiundersökning anges uppskattad median av förberedelsetid till fem minuter för nattklubbsbesökare vilka larmas av ringklocka. Personerna antas vara alkoholpåverkade och befinna sig i rökfyllda lokaler med dämpad belysning, det senare tills dess att detektor aktiveras (Frantzich, 2001). De senare nämnda förutsättningarna anses inte gälla för musikerna i Repsalen och förberedelsetiden antas därför vara kortare. Om man betänker värdet som professionella instrument kan betinga bedöms det vara ett troligt antagande att musikerna packar ner instrumenten innan utrymning påbörjas varför förberedelsetiden ändå kan förväntas bli relativt lång. Fyra minuter väljs för vidare analys.

K.3 Scenen

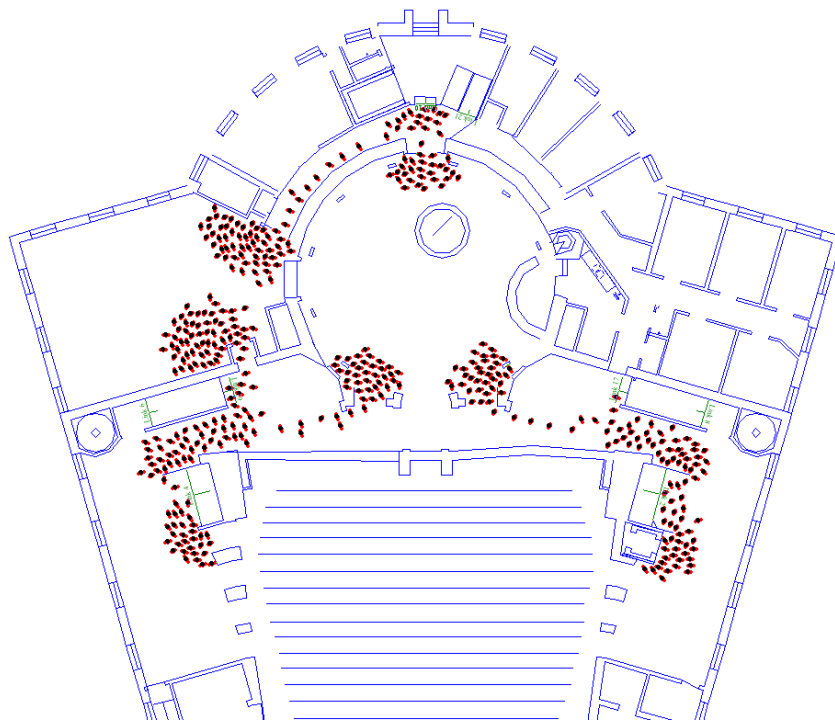
Vid brand på scenen ges ett talat meddelande till publiken innan utrymningslarmet startas. Larmet består av signal och blixtljus. Om en brand uppkommer på ett väl synligt ställe där den inte förväntas vara kan man anta att iakttagande personer uppmärksammar detta och som en följd förväntas även besluts och reaktionstiden bli relativt låg. Förberedelsetiden kan förväntas ligga i storleksordningen en minut för lokaler så som till exempel teater och biograf (Frantzich, 2001). En minut väljs för vidare analys.

Bilaga L - Förflyttningstid

I denna bilaga redovisas framtagandet av förflyttningstiden för de olika brandscenerierna.

Förflyttningstiden simuleras i datorprogrammet Simulex. Detta program används för att på ett enkelt sätt simulera utrymning ur byggnader. Information om programmet och dess begränsningar beskrivs närmare i bilaga C. Simulex utnyttjas även till att identifiera utrymningstekniskt svåra områden i bygganden. I Konserthuset vistas personer i alla åldrar varför personernas karaktärsdrag valts till "Shoppers". Det innebär en fördelning av 35 % män, 40 % kvinnor, 15 % barn och 10 % äldre. Karaktärsdragen påverkar endast personernas kroppsstorlek och gånghastighet. Under kvällsföreställningar förekommer alkoholservice, vilket kan sänka gånghastigheten hos de utrymmande. Dock är det svårt att uppskatta hur många som dricker alkohol, men det kan tänkas att andelen barn i fördelningen, med lägre gånghastighet, till viss del väger upp detta. Det är också vanligt att skolklasser besöker föreställningar i byggnaden. Därför görs simuleringarna även med fördelningen "School population"; 90 % barn och 10 % vuxna (7 % kvinnor och 3 % män). Detta kan ses som en känslighetsanalys och kommer användas för att kunna fördela förflyttningsvariabeln i resultatdelen.

Antalet besökare vid föreställning jämföras i simuleringarna med antalet sittplatser i Konsertsalen vilket blir 724 personer (varav 181 på läktaren). Antalet besökare i Repsalen är samtidigt 150 personer. Denna verksamhet är vanligt förekommande i Konserthuset och måste därför simuleras. Det ska framhållas att förflyttningstiden också kan beräknas manuellt, men att detta medvetet undviks på grund av den komplexa geometrin och byggnadens många utgångar. Det anses också att Simulex ger ett mer rättvisande resultat, bland annat på grund av möjligheten att identifiera köbildningar. För exempel på detta se figur L.1.



Figur L.1. Visualisering av köbildningar i Simulex.

Under paus används följande personfördelning: 150 personer i Wirénsalen, 150 personer i Repsalen, 200 personer i foajéer plan 2, 80 personer i foajéer plan 3 och 300 personer i entrén. I flera av de studerade scenarierna är endast tiden till när de utrymmande nått en säker brandcell intressant, varför endast denna redovisas.

I flera brandscenarier finns vallsituationer för de utrymmande i form av flera tillgängliga trappor och utgångar. Utgångspunkten här är att de utrymmande i huvudsak väljer stora och kända utrymningsvägar, genom vilka besökarna passerat genom tidigare (Frantzich, 2001). Exempelvis prioriteras trapphus A och B samt entrén som utrymningsväg, när det är möjligt. Exempel på detta är att besökare i Konsertsalen i första hand ej antas utrymma via de närmaste utgångarna uppe på scenen, utan istället via trapphus A och B samt entrén som de kom igenom. Vidare antas att när stora köbildningar bildas ser de utrymmande sig om och väljer annan närliggande utrymningsväg istället. Exempel på detta är vid köbildning i trapporna A och B då personer antas välja närliggande (cirka 5 meter) trapphus C och D.

Då dubbeldörrar förekommer i Konserthuset görs vissa antaganden. Om en av karmens två dörrblad är låst med hakar, öppnas med spanjolethandtag eller liknande, görs utrymningssimuleringarna enbart med den lätt öppningsbara dörrens bredd. Exempel på dörrar som öppnas med spanjolethandtag är de båda som fungerar som utrymningsväg på respektive sida om scenen i Konsertsalen. Dessa är dubbeldörrar där en av de två dörrarna i respektive karm öppnas med spanjolethandtag.

I tabell L.1 ses förflyttningstiderna för de olika scenarierna. Trolig tid motsvarar fördelningen ”Shoppers” och alternativ tid ”School population”. Det ska än en gång poängteras att förflyttningstiderna simuleras med personer i samtliga berörda lokaler för att köbildning ska beaktas.

Tabell L.1. Förflyttningstid för de olika scenarierna.

Scenario	Trolig tid [s]	Alternativ tid [s]
Garderob (paus)	95	100
Wirénsalen	50	55
Wirénsalen (föreställning - Repsalen)	105	115
Wirénsalen (paus - Repsalen)	155	165
Scenen (föreställning - läktare)	65	80
Scenen (föreställning - salong)	200	220
Scenen (föreställning - scen)	20	20

Bilaga M – Validering av åtgärdsförslag

I denna bilaga redovisas en mer detaljerad validering av vissa åtgärdsförslag än vad som redovisas i kapitel 14, Validering av åtgärdsförslag.

M.1 Garderob

- Gör garderoberna brandtekniskt avskilda från entrén eller montera sprinkler.

Båda förslagen på hur en avskiljning skulle kunna ske, omkonstruktion eller omslutning, anses förhindra brandgasspridning efter stängning/omslutning. Detektorer förekommer i garderobernas närhet men en annan placering skall övervägas då åtgärdsförslagen kan fördröja detektionstiden med nuvarande placeringar. I valideringen används dock de troliga tider som redovisats tidigare i rapporten.

Tiden för stängningsförfarandet skiljer mellan de båda alternativen. I fallet då garderoben omkonstrueras, och dörrar försedda med magnetupphängning används, kan stängningstiden variera beroende på dörrstängarnas inställning. Fem sekunder väljs som en trolig tid. Om alternativet med brandgardiner väljs beror omslutningstiden på nedrullningshastigheten. Enligt en tillverkare kan den varieras mellan 0,15 och 0,30 meter per sekund (Previs Brandskydd AB, 2011). Takhöjden är enligt tidigare 2,8 meter vid garderoberna. Om ett konservativt överslag görs genom att räkna på 0,15 meter per sekund tar omslutningstiden knappt 20 sekunder.

För att undvika att någon stängs in i utrymmena borde stängning föregås av en kort varningssignal. Då utrymmena är små samt bemannade av personal anses 20 sekunder vara tillräcklig tid för förberedelse och förflyttning mellan varseblivning och stängningsfas. Dörrar ska kunna öppnas från insidan. Framtagna tider redovisas i tabell M.1.

Tabell M.1. Tider för de olika faserna, samt totaltid för stängning/omslutning.

Åtgärdsförslag	Varseblivning [s]	Förberedelse och förflyttning [s]	Stängning [s]	Totalt [s]
Omkonstruktion	11	20	5	36
Brandgardin	11	20	20	51

Enligt tidigare redogörelse uppstår kritiska utrymningsförhållanden i entrén efter knappt 110 sekunder. Spridning av brandgaser förhindras, i det sämsta alternativet, efter omkring 50 sekunder. Av denna anledning anses säker utrymning kunna ske och båda åtgärdsförslagen vara godtagbara. Osäkerhetsanalys anses inte vara nödvändig.

Gällande förslaget om sprinklersystem eftersträvas en snabb aktivering för att erhålla gynnsamma utrymningsförhållanden. En rekommendation är därför att bulberna har låg aktiveringstemperatur och lågt RTI-värde. Sprinklerbulber som aktiveras vid 57°C (orangea) är lämpliga att använda om högsta förekommande taktemperatur ej överstiger 38°C vid normal aktivitet (Viking Group Inc, 2011). Dessa anses vara lämpliga i entrén. RTI-värdet ansätts till 30 (m·s)^{1/2}. Vidare antas bulben befinna sig 1,5 meter ovanför bränslet och en meter i radiellt avstånd till plymen. Aktiveringstiden simuleras i programmet DetactQS till cirka 30 sekunder, se figur M.1.

```

CEILING HEIGHT= 1.500012 m    4.9213 ft
RADIUS= .9999879 m    3.2808 ft
DET ACT TEMP= 57.00001 C    134.6 F
RTI= 30.00002 (m*s)^(1/2)    54.339 (ft*s)^(1/2)

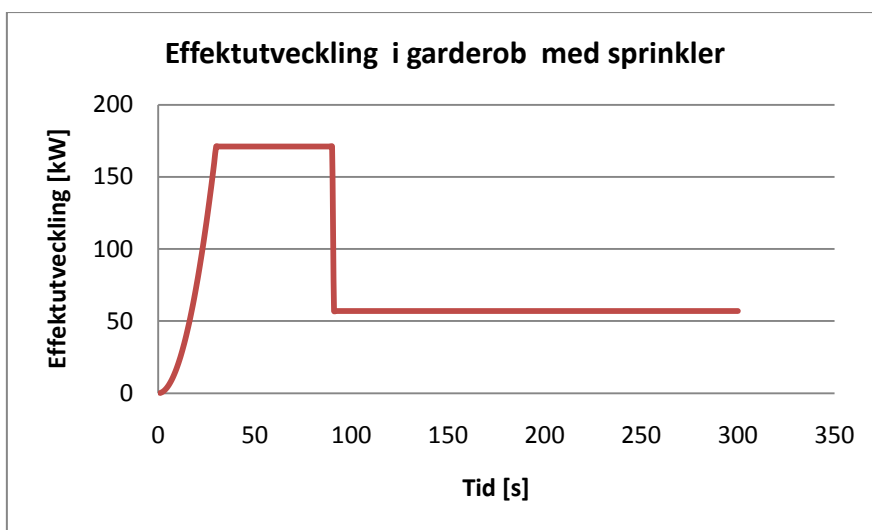
  TIME      FIRE  GAS TEMP  DET TEMP  GAS TEMP  DET TEMP
  sec      kW    C         C         F         F
  0.0      0.0   25.0     25.0     77.0     77.0
  10.0     19.4   47.2     27.0     116.9    80.6
  20.0     76.4   85.3     37.5     185.6    99.6

**** DETECTOR ACTUATION AT    29.1 SECONDS ****

```

Figur M.1. Sprinklerns aktiveringstid. Tiden används för att ta fram en effektutvecklingskurva.

Vid sprinkleraktivering kan brandens effekt antas vara konstant i en minut för att därefter sjunka till en tredjedel (Nystedt, 2010). Fullständig släckning kan alltså inte förväntas äga rum. Effekttutvecklingskurva för brand i garderob som bekämpas med sprinklersystem redovisas i figur M.2.



Figur M.2. Effekttutvecklingskurva för brand i sprinklerförsedd garderob.

Tid till kritiska förhållanden simuleras i programmet FDS. Om sprinklers monteras i hela entrén eller bara som punktskydd spelar ingen roll för simuleringsresultatet. Anledningen till detta är endast effekttutvecklingskurvan ändras i simuleringen. Eventuell kylning av brandgaserna beaktas därmed inte. Då tidigare jämförelser mellan FDS och CFAST visar på godtagbar överrensstämmelse genomförs ingen resultatverifiering för detta fall. Framtagen tid till kritiska förhållanden och medförande tidsmarginal visas i tabell M.2.

Tabell M.2. Sammanställning av framtagna punktskattningar samt medförande tidsmarginal.

Åtgärdsförslag	$t_{kritisk}$ [s]	$t_{varseblivning}$ [s]	$t_{förberedelse}$ [s]	$t_{förflyttning}$ [s]	Marginal [s]
Sprinkler	125	11	60	95	- 41

Som det går att utläsa ur tabell M.2 är tidsmarginalen negativ, säker utrymning kan således inte garanteras om kriterierna strikt ska följas. Denna marginal kan dock ifrågasättas då det endast är parametern brandgaslagrets höjd som uppnår kritiska nivåer. Övriga parametrar, såsom siktbarhet, temperatur och strålning, når aldrig kritiska värden. Brandgaslagret sänker sig dessutom aldrig lägre än 1,7 meter. Med detta i åtanke bedöms marginalen som något missvisande. Utrymmande personer kan på ett enkelt sätt undvika brandgaserna och säker utrymning anses därför kunna ske trots negativ tidsmarginal. Det ska dock tilläggas att brandgaserna i verkligheten kan vara mer omblandade än vad simuleringarna i FDS visar eftersom endast effekttutvecklingen modifieras och ingen hänsyn tas till eventuell kylning av brandgaserna. Försiktigheter bör därför åtas och en vidare utredning rekommenderas innan åtgärden genomförs.

M.2 Scenen

- Installera brandgardin i framkanten av scenen.

Två alternativ nämns i åtgärdsförslagen; en brandgardin som sträcker sig från golv till tak och en som endast sträcker sig en kortare sträcka. Det första alternativet förhindrar brandgasspridning ut i salongsdelen, efter fullständig nedsänkning, medan det senare bara förlänger tiden till dess att kritiska förhållanden uppstår i salongsdelen. I fortsättningen benämns de alternativ 1 och 2.

Risken med alternativ 1 är att kritiska förhållanden uppstår betydligt tidigare på scenen än om gardin ej används, detta då volymen som behöver fyllas blir betydligt mindre. Om personer hinner förflytta sig från scenen innan kritiska förhållanden uppstår anses heltäckande gardin vara en

godtagbar lösning. Om detta ej uppfylls återstår att validera alternativ 2 med en ej heltäckande gardin. Viktigt vid utformning av alternativ 2 är att gardinen inte sänks till en nivå som kan innebära samma problem som alternativ 1. Kritisk höjd på scenen, enligt avsnitt 3.5, är 2,3 meter ($1,6 + 0,1 \cdot 7$). När brandgaser når den undre kanten börjar de strömma ut och denna höjd får inte understiga 2,3 meter. Validering sker genom att en tänkt gardin tillåts sjunka till en höjd på 2,7 meter.

Simuleringar genomförs för de båda alternativen i programmet FDS. Tid till kritiska förhållanden jämförs med de för utrymning, se tabell M.3. Som tidigare nämnts kan nedrullningshastigheten varieras mellan 0,15 och 0,30 meter per sekund (Previs Brandskydd AB, 2011). I FDS-simuleringar ansätts en nedrullningshastighet på 0,25 meter per sekund.

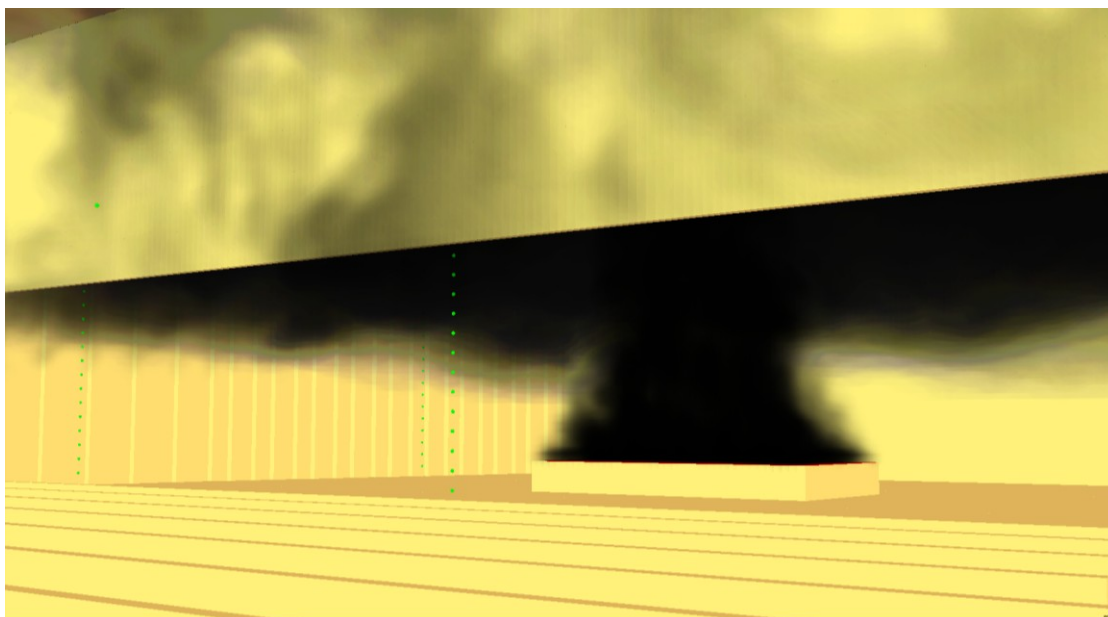
I övergången mellan scen och salong finns en klack i taket. Klacken är resultatet av att det är högre takhöjd ovanför scenen än ovanför salongen. En lämplig detektorplacering anses vara vid just denna klack då brandgaserna antas samlas utefter den innan brandgasspridning sker ut i salongsdelen. Simuleringar visar att brandgaslagret når nämnd position efter omkring 40 sekunder och detektion samt nedrullning av gardin förväntas då ske.

Tabell M.3. Framtagna tider för kritiska förhållanden, utrymning samt efterföljande marginal. Alternativ 1 innebär brandgardin som går från golv till tak och alternativ 2 en halvstängande gardin.

Alternativ	t_{kritisk} [s]	$t_{\text{varseblivning}}$ [s]	$t_{\text{förberedelse}}$ [s]	$t_{\text{förflyttning}}$ [s]	Marginal [s]
1 (läktare)	-	40	60	65	-
1 (salong)	-	40	60	200	-
1 (scen)	125	40	60	150	-125
2 (läktare)	170	40	60	65	5
2 (salong)	230	40	60	200	-70
2 (scen)	130	40	60	150	-120

Med alternativ 1 förhindras brandgasspridning ut i salongsdelen och kritiska förhållanden uppstår endast på scenen. Av denna anledning kan marginalen endast tas fram för personer på scenen. Marginalen är så pass negativ att någon osäkerhetsanalys inte bedöms förändra slutsatsen; lösningen är inte godtagbar. Framtagen marginal bygger dock på att 300 personer befinner sig på scenen. Genom att variera antalet personer går det att utreda hur många som maximalt kan befinna sig på scenen utan att dessa riskerar att utsättas för kritiska förhållanden. Simuleringar visar att gränsen går vid 100 personer. Det ska dock tilläggas att detta är en helt deterministisk lösning som enbart bygger på punktskattningar. På grund av osäkerheten i denna analys samt att det är en uppenbart verksamhetsbegränsande lösning att begränsa antalet på scenen till endast 100 personer kan denna lösning inte rekommenderas.

Alternativ 2 visar en snarlik tid till kritiska förhållanden, för personer på scenen, jämfört med alternativ 1. Detta innebär att gardinens lägsta höjd i alternativ 2 (2,7 meter) är för låg, se figur M.3. En högre höjd på gardinen skulle leda till en längre tid till kritiska förhållanden på scenen, men samtidigt uppstår kritiska förhållanden snabbare i salongsdelen. Då den senare marginalen även den är negativ anses inte en högre höjd på gardinen förbättra resultatet och en fördröjande gardin är därmed ingen godtagbar lösning.



Figur M.3. Brandgasspridning då fördröjande gardin används.

- Installera brandgasventilation ovanför scenen.

Två lösningar med brandgasventilation undersöks. I den första lösningen dimensioneras ventilationen efter brandens maximala effekt på 15 MW. Den andra dimensioneras för att hålla brandgaserna ansamlade på en konstant nivå över scenen under utrymningsförloppets tid.

M.2.1 Beräkningsgång

Yamana-Tanaka härleder en modell som beskriver flödeskapacitet för mekanisk brandgasventilation. Modellen gäller för konstanta effektutvecklingar och bygger på en enkel mass- och energibalans i brandrummet. I massbalansen antas att brandplymens flöde är lika med fläktens massflöde ut, som är lika med massflödet friskluft in: $\dot{m}_{plym} = \dot{m}_{ut} = \dot{m}_{in}$. Energibalansen antar att brandplymens effektutveckling är lika med effektförlusten från de varma brandgaserna som ventileras ut, plus effektförlusten till omgivande konstruktion. För en mer utförlig beskrivning av modellen hänvisas läsaren till *Enclosure Fire Dynamics* (Karlsson & Quintiere, 2000). Följande beräkningsgång används:

1. Bestäm brandgaslagrets höjd, z
2. Beräkna brandplymens massflöde enligt

$$\dot{m} = \dot{m}_{plym} = 0,59 \cdot D \cdot z^{3/2} \quad (1)$$

3. Beräkna brandgastemperaturen enligt

$$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \cdot \dot{m}_{ut} + h_k \cdot A_w} \quad (2)$$

4. Omvandla temperaturen till densitet enligt

$$\rho_g = \frac{353}{T_g} \quad (3)$$

5. Beräkna fläktens volymflöde enligt

$$\dot{V}_{ut} = \frac{\dot{m}_{ut}}{\rho_{ut}} \quad (4)$$

Efter rimlighetsbedömningar används Thomas plymmodell i beräkningarna. Branden anses vara utbredd i förhållande till sin höjd och Thomas ger ett massflöde som konsekvent ligger mellan ytterligheterna som andra plymmodeller ger.

Luftens värmekapacitet, c_p , antas vara 1 kJ/kgK. Väggarna ansätts till att bestå av betong och dess materialegenskaper hämtas från *Enclosure Fire Dynamics* (Karlsson & Quintiere, 2000). Karaktäristisk tid ansätts till 600 sekunder. Väggarnas värmeövergångstal, h_k , antas ha samma värde i alla uträkningar framöver och beräknas till:

$$h_k = \sqrt{\frac{k \cdot \rho \cdot c}{t}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^6}{600}} = 0,0577 \text{ kW/m}^2\text{K}$$

Arean till vilken brandgaserna förlorar värme, A_w , beror på vilken nivå brandgaserna ska hållas på. I rapporten kontrolleras två nivåer; när brandgaserna når scenens takklack (scenen är lite högre än salongen) och när brandgaserna når kritisk höjd på scenen (vid användande av brandgardin). $A_{w,takklack} = 192 \text{ m}^2$ och $A_{w,brandgardin} = 403 \text{ m}^2$.

M.2.2 Flätkapacitet vid full brandeffekt

Denna inledande kontroll syftar till att undersöka vilken flätkapacitet som krävs för att hålla brandgaserna ansamlade under scenens tak vid full brandeffekt, 15 MW. Det är möjligt att hålla brandgaserna ansamlade här eftersom scenens tak är 0,8 m högre än salongens tak (benämns takklacken). Att hålla brandgaserna på denna höjd leder till att inga brandgaser sprids till salongen.

Brandens diameter räknas ut genom vetenskapen att effektutvecklingen per areaenhet (HRRPUA) är 300 kW/m^2 . Då blir brandens, cirkulärt ekvivalenta, diameter 8,0 m. Enligt (2) blir då plymens massflöde $72,7 \text{ kg/s}$, brandgastemperaturen $472,1 \text{ K}$ (3) och brandgasdensiteten $0,75 \text{ kg/m}^3$ (4). Fläktens kapacitetskrav blir då $97 \text{ m}^3/\text{s}$ (5).

En flätkapacitet på cirka $100 \text{ m}^3/\text{s}$ är en betydande storlek att installera. En stor brandgasfläkt kan hantera i storleksordningen $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Det betyder att minst ett par stycken brandfläktar måste installeras ovan scenen. Dessutom måste alla dörrar öppna automatiskt vid brand för att släppa in tilluft. Eftersom flödet är så stort behövs också fönster i foajéerna öppnas automatiskt för att generera tilluft. Alternativt måste tilluftsfläktar placeras i lokalen, vilket ej anses vara praktiskt möjligt av den storleken. En snabb kontroll kan göras för att rimlighetskontrollera dessa resonemang:

Om samtliga dörrar från Konsertsalen på plan 2 öppnar ger det en inluftsarea på 25 m^2 . Vidare kan tryckskillnaden i undre lagret enkelt räknas fram med hjälp av Bernoullis ekvation genom (Karlsson, 2000):

$$\Delta P_l = \frac{\dot{m}^2}{2 \cdot \rho_a (C_D \cdot A_D)^2} = \frac{72,7^2}{2 \cdot 1,2 (0,7 \cdot 25)^2} = 7,2 \text{ Pa} \quad (6)$$

$7,2 \text{ Pa}$ motsvarar lufthastigheten $3,5 \text{ m/s}$ genom dörrarna och kan vara på gränsen till för stor tryckskillnad. För att erhålla nödvändig tilluftsmängd måste även ett flertal fönster utanför Konsertsalen förses med automatiska öppnare. Lösningens omfattning anses inte vara varken praktiskt rimlig eller tillräckligt säker för att rekommenderas. En idé skulle kunna vara att använda kraftiga tilluftsfläktar, men det anses inte heller praktiskt möjligt att installera dessa i salongen. Tilluftsfläktar kan ej placeras på scenen, nära branden, eftersom det riskerar att förvärra rökfyllnadsprocessen (Milke, 2002) och ute i salongen finns det helt enkelt inte något utrymme att installera fläktar.

M.2.3 Fläktkapacitet för kritiska utrymningstiden 320 sekunder

Scenariot innebär att brandgaserna ska hållas ansamlade ovanför takklacken under den totala utrymningstiden för hela Konsertsalen, 320 sekunder. Detta leder till att det går att använda mindre fläktar än i första kontrollen ovan eftersom branden vid 320 sekunder ej nått 15 MW.

Eftersom branden tillväxer exponentiellt med hastigheten $0,047 \text{ kW/s}^2$ är dess effekt vid 320 sekunder 4813 kW. Brandens diameter räknas ut genom vetenskapen att HRRPUA är 300 kW/m^2 . Då blir brandens, cirkulärt ekvivalenta, diameter 4,5 m. Enligt (2) blir plymens massflöde $41,2 \text{ kg/s}$, brandgastemperaturen 385,1 K (3) och brandgasdensiteten $0,92 \text{ kg/m}^3$ (4). Fläktens kapacitetskrav blir $45 \text{ m}^3/\text{s}$ (5).

Ett flöde på $45 \text{ m}^3/\text{s}$ kan hanteras med normala fläktar. Dock kommer tilluftskravet även här bli ett problem. Vid antagandet att alla dörrar från Konsertsalen öppnar och det finns tillräckligt med fönster som öppnar och släpper in friskluft så blir tryckskillnaden över dörrarna, enligt ekvation 6, 2,3 Pa. Detta indikerar att lösningen ur denna synpunkt precis är godkänd. Enligt samma resonemang som tidigare anses denna lösning vara för komplicerad och ej vara praktiskt möjlig. Tilluftsfläktar är även här uteslutet, eftersom de i detta fall riskerar att förvärra rökfyllnadsprocessen.

M.2.4 Kombination av brandgasventilation och brandgardin

- Installera brandgardin i kombination med brandgasventilation ovanför scenen.

Eftersom åtgärdsförslagen angående brandgardin och brandgasventilation ej medför att säker utrymning kan säkerställas undersöks en kombination av de båda. En heltäckande brandgardin kommer således kombineras med brandgasventilation. Systemet ska hålla brandgaserna ansamlade till scenen och motverka kritiska förhållanden där i 250 sekunder; den tid det tar för 300 personer på scenen att utrymma. Kritisk höjd på scenen är $1,6 \text{ m} + 0,1 \cdot 7 \text{ m} = 2,3 \text{ m}$.

Branden tillväxer exponentiellt med hastigheten $0,047 \text{ kW/s}^2$ och dess effekt vid 250 sekunder är 2938 kW. Brandens diameter räknas ut genom vetenskapen att HRRPUA är 300 kW/m^2 . Då blir brandens, cirkulärt ekvivalenta, diameter 3,5 m. Enligt (2) blir plymens massflöde $7,3 \text{ kg/s}$, brandgastemperaturen 389,3 K (3) och brandgasdensiteten $0,91 \text{ kg/m}^3$ (4). Fläktens kapacitetskrav blir $8 \text{ m}^3/\text{s}$ (5).

En fläktkapacitet på $8 \text{ m}^3/\text{s}$ är en rimlig ventilationsstorlek att installera ovanför scenen. Tilluftsflödet går att lösa genom att de två utrymningsvägarna, totalt $3,6 \text{ m}^2$, från scenen öppnar automatiskt vid detektion, tillsammans med ett antal fönster i anslutande utrymme. Tryckskillnaden över dörrarna blir, enligt ekvation 6, 3,5 Pa. Tryckskillnaden anses vara godtagbar.

Brandgasventilationen dimensioneras här för den konstanta effektutvecklingen 2,9 MW. I verkligheten växer den dock exponentiellt under hela utrymningsförloppet, för att i slutet av förloppet tangera effektutvecklingen 2,9 MW. Resultatet blir att systemet är överdimensionerat, utifrån specificerad brand, och att det finns en inbyggd säkerhetsmarginal. Då plymflödet överskrider systemets maximala kapacitet kommer brandgaslagret sjunka under kritisk höjd. Till slut sprids brandgaser ut genom de öppna tillufts dörrarna. För att undvika detta, samt hålla branden koncentrerad till ett utrymme, kan brandgasventilationen och tillufts dörrarna stänga efter ungefär 300 sekunder (observera att denna tid är grovt uppskattad). Beräkningarna visar att ett kombinerat system med brandgardin och brandgasventilation är möjlig på scenen, men om detta system ska installeras måste en mer exakt dimensionering genomföras.

Bilaga N – Indatafiler FDS

I denna bilaga ges exempel på indatafiler till FDS. Denna information är till för att ge läsaren en bättre insikt i de antaganden som görs i simuleringarna.

Följande koder innehåller endast viktiga parametrar som rutnät, brännare, materialegenskaper etcetera för de olika simuleringarna. Obstruktioner har medvetet utelämnats för att begränsa omfattningen. För repeterbarheten anses dock de parametrar som definieras vara tillräckliga och den som granskar förväntas själv kunna bygga geometrin efter det ritningsmaterial som finns tillgängligt.

N.1 Garderob

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

```
&TIME T_END=600.0 /
```

```
&MESH ID='Entre1', IJK=130,120,40, XB=9.70,22.70,3.80,15.80,-0.20,3.80/ 624 000 celler
&MESH ID='Entre 2', IJK=130,120,40, XB=22.70,35.70,3.80,15.80,-0.20,3.80/ 624 000 celler
&MESH ID='Entre 3', IJK=200,60,40, XB=12.70,32.70,15.80,21.80,-0.20,3.80/ 480 000 celler
&MESH ID='Entre 4', IJK=140,120,30, XB=8.70,22.70,21.80,33.80,0.00,3.00/ 504 000 celler
&MESH ID='Entre 5', IJK=140,120,30, XB=22.70,36.70,21.80,33.80,0.00,3.00/ 504 000 celler
&MESH ID='Entre 6', IJK=100,50,30, XB=17.70,27.70,33.80,38.80,0.00,3.00/ 150 000 celler
```

```
&REAC ID='Polyester',
```

```
  C=1.00,
```

```
  H=1.40,
```

```
  O=0.2200,
```

```
  N=0.00,
```

```
  X_O2_LL=0.1000,
```

```
  SOOT_YIELD=0.0900/
```

(Tewarson, 2002)

```
&MATL ID='CONCRETE',
```

```
  SPECIFIC_HEAT=0.88,
```

```
  CONDUCTIVITY=1.10,
```

```
  DENSITY=2.1000000E003/
```

(Karlsson & Quintiere, 2000)

```
&SURF ID='Concrete 2',
```

```
  RGB=255,255,204,
```

```
  MATL_ID(1,1)='CONCRETE 2',
```

```
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
```

```
  THICKNESS(1)=0.50/
```

```
&SURF ID='Concrete',
```

```
  MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
```

```
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
```

```
  THICKNESS(1)=0.2000/
```

```
&SURF ID='BURNER',
```

```
  COLOR='RED',
```

```
  HRRPUA=1.5000000E003,
```

```
  TAU_Q=-177.70/
```

```
&MISC BNDF_DEFAULT=.FALSE. /
```

```
&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX' /
```

Brännare, övriga obstruktioner utelämnas

&OBST XB=30.90,31.90,26.00,30.00,0.00,1.50, SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT' /

&DEVC ID='LAYER 1', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=22.80,22.80,10.00,10.00,0.00,3.60/
&DEVC ID='LAYER 2', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=22.80,22.80,17.20,17.20,0.00,2.80/
&DEVC ID='entre hoger', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=28.70,28.70,24.00,24.00,0.00,2.80/
&DEVC ID='entre vanster', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=16.50,16.50,24.00,24.00,0.00,2.80/
&DEVC ID='Ovre entre', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=22.60,22.60,30.00,30.00,0.00,2.80/
&DEVC ID='Toalett', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=22.50,22.50,35.00,35.00,0.00,2.80/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=16.50/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=16.50/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=28.70/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=28.70/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=35.00/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=35.00/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.70/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=1.70/

Termoelement, endast ett per termoelementtråd redovisas

Temperaturmätningar entre mitten (0,2 - 2,8 m)

&DEVC ID='EMT1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=22.7,27.2,0.2 /

Temperaturmätningar entre nedre (0,2 - 2,8 m)

&DEVC ID='ENT1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=22.7,16.4,0.2 /

&TAIL /

N.2 Wirénsalen

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

&TIME T_END=600.0 /

&MESH ID='wirénsalen 1', IJK=140,40,120, XB=15.70,29.70,41.70,45.70,3.00,15.00,
MPI_PROCESS=0 /
&MESH ID='wirénsalen 2', IJK=140,40,120, XB=15.70,29.70,45.70,49.70,3.00,15.00,
MPI_PROCESS=1 /
&MESH ID='wirénsalen 3', IJK=140,40,120, XB=15.70,29.70,49.70,53.70,3.00,15.00,
MPI_PROCESS=2 /
&MESH ID='trapphus E', IJK=90,80,90, XB=18.70,27.70,53.70,61.70,0.00,9.00,
MPI_PROCESS=3 /
&MESH ID='entre', IJK=130,50,30, XB=8.70,21.70,32.50,37.50,0.00,3.00, MPI_PROCESS=4 /
&MESH ID='P3 foaje 1', IJK=110,100,30, XB=1.70,12.70,32.20,42.20,6.00,9.00,
MPI_PROCESS=4 /
&MESH ID='P2 foaje 1', IJK=130,180,30, XB=2.70,15.70,25.00,43.00,3.00,6.00,
MPI_PROCESS=5 /
&MESH ID='P2 mellan foajeer', IJK=150,40,30, XB=15.70,30.70,37.70,41.70,3.00,6.00,
MPI_PROCESS=6 /
&MESH ID='wirénsalen ovre', IJK=140,120,30, XB=15.70,29.70,41.70,53.70,15.00,18.00,
MPI_PROCESS=6 /

&REAC ID='wood',
 C=6.00,
 H=10.00,
 O=5.00,
 N=0.00,
 SOOT_YIELD=0.0600/ (Tewarson, 2002)

&MATL ID='CONCRETE',
 SPECIFIC_HEAT=0.88,
 CONDUCTIVITY=1.10,
 DENSITY=2.1000000E003/ (Karlsson & Quintiere, 2000)

&SURF ID='Concrete 2',
 RGB=255,255,204,
 MATL_ID(1,1)='CONCRETE 2',
 MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
 THICKNESS(1)=0.50/

&SURF ID='Concrete',
 MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
 MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
 THICKNESS(1)=0.2000/

&SURF ID='BURNER',
 COLOR='RED',
 HRRPUA=1.2500000E003,
 TAU_Q=-326.164/

Brännare, övriga obstruktioner utelämnas

&OBST XB=21.50,23.50,46.20,48.20,3.00,3.50, THICKEN=.TRUE., BNDF_OBST=.FALSE.,
 SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT'/

&DEVC ID='P1 trp E', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
 XB=22.60,22.60,54.90,54.90,0.00,2.80/
 &DEVC ID='P2 mellan foajeer', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
 XB=22.60,22.60,39.20,39.20,3.00,5.80/
 &DEVC ID='P2 trp E', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
 XB=22.60,22.60,54.60,54.60,3.00,5.80/
 &DEVC ID='P2 vanster nedre', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
 XB=10.90,10.90,28.10,28.10,3.00,5.80/
 &DEVC ID='P2 vänster', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
 XB=11.40,11.40,39.80,39.80,3.00,5.80/
 &DEVC ID='P3 trp E', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
 XB=22.60,22.60,54.90,54.90,6.00,8.80/
 &DEVC ID='P3 vanster', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
 XB=7.80,7.80,37.20,37.20,6.00,8.80/
 &DEVC ID='TRP B', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=15.00,15.00,35.20,35.20,0.00,2.80/
 &DEVC ID='wiresalen', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
 XB=22.60,22.60,46.60,46.60,0.00,17.80/
 &DEVC ID='linjedek ovan brand', QUANTITY='PATH OBSCURATION',
 XB=15.80,29.50,47.00,47.00,13.70,13.70, SETPOINT=3.28/
 &DEVC ID='linjedek sidan', QUANTITY='PATH OBSCURATION',
 XB=16.00,29.20,49.00,49.00,13.70,13.70, SETPOINT=3.28/
 &DEVC ID='linjedek sidan langre', QUANTITY='PATH OBSCURATION',
 XB=16.30,28.90,50.00,50.00,13.70,13.70, SETPOINT=3.28/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=16.50/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=16.50/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=18.20/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=18.20/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=22.60/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=22.60/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=27.20/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=27.20/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=28.70/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=28.70/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=8.00/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=8.00/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=54.70/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=54.70/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.70/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=1.70/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=10.70/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=10.70/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=4.70/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=4.70/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=7.70/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=7.70/

Termoelement, endast ett per termoelementträd redovisas

Trapphus E Plan 3 (6,2 - 8,8 m)

&DEVC ID='P3E1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=22.6,54.7,6.2 /

Vänster foaje P3 (6,2 - 8,8 m)

&DEVC ID='F3V1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.2,36.8,6.2 /

Trapphus E Plan 2 (3,2 - 5,8 m)

&DEVC ID='P2E1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=22.6,54.7,3.2 /

Wirensalen vänster (3,2 - 7,0 m)

&DEVC ID='WV1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=19.0,46.6,3.2 /

Wirensalen höger (3,2 - 7,0 m)

&DEVC ID='WH1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=25.6,46.6,3.2 /

Wirensalen nedre (3,2 - 5,8 m)

&DEVC ID='WN1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=22.7,39.2,3.2 /

Övre vänster foaje P2 (3,2 - 5,8 m)

&DEVC ID='F2V01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=14.4,39.7,3.2 /

Vänster foaje P2 (3,2 - 5,8 m)

&DEVC ID='F2V1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=9.0,35.3,3.2 /

Trapphus E Plan 1 (0,2 - 2,8m)

&DEVC ID='P1E1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=22.6,54.7,0.2 /

Trapphus B (0,2 - 2,8m)

&DEVC ID='P1B1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=16.0,35.0,0.2 /

&TAIL /

N.3 Scen

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

&TIME T_END=600.0 /

&MESH ID='entre', IJK=290,50,30, XB=8.70,37.70,32.50,37.50,0.00,3.00 /
 &MESH ID='scen 1', IJK=160,40,80, XB=14.70,30.70,10.70,14.70,2.80,10.80 /
 &MESH ID='scen 2', IJK=180,40,80, XB=13.70,31.70,14.70,18.70,2.80,10.80 /
 &MESH ID='scen 3', IJK=180,30,80, XB=13.70,31.70,18.70,21.70,2.80,10.80 /
 &MESH ID='salong 1', IJK=210,80,40, XB=12.00,33.00,21.70,29.70,3.00,7.00 /
 &MESH ID='salong 2', IJK=210,80,40, XB=12.00,33.00,29.70,37.70,3.00,7.00 /
 &MESH ID='salong 3', IJK=210,60,40, XB=12.00,33.00,37.70,43.70,3.00,7.00 /
 &MESH ID='P2 foaje 1', IJK=100,200,30, XB=2.00,12.00,23.70,43.70,3.00,6.00 /
 &MESH ID='P2 foaje 2', IJK=100,200,30, XB=33.00,43.00,23.70,43.70,3.00,6.00 /
 &MESH ID='salong 1 ovre', IJK=210,100,30, XB=12.00,33.00,21.70,31.70,7.00,10.00 /
 &MESH ID='salong 2 ovre', IJK=210,80,30, XB=12.00,33.00,31.70,39.70,7.00,10.00 /
 &MESH ID='salong 3 ovre', IJK=210,40,30, XB=12.00,33.00,39.70,43.70,7.00,10.00 /
 &MESH ID='P3 foaje 1', IJK=100,150,40, XB=2.00,12.00,29.70,44.70,6.00,10.00 /
 &MESH ID='P3 foaje 2', IJK=100,150,40, XB=33.00,43.00,29.70,44.70,6.00,10.00 /

&MISC BNDF_DEFAULT=.FALSE. /

&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX' /

&REAC ID='wood',

C=6.00,

H=10.00,

O=5.00,

N=0.00,

SOOT_YIELD=0.0600 /

(Tewarson, 2002)

&MATL ID='CONCRETE',

SPECIFIC_HEAT=0.88,

CONDUCTIVITY=1.10,

DENSITY=2.1000000E003 /

(Karlsson & Quintiere, 2000)

&SURF ID='Concrete 2',

RGB=255,255,204,

MATL_ID(1,1)='CONCRETE 2',

MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,

THICKNESS(1)=0.50 /

&SURF ID='Concrete',

MATL_ID(1,1)='CONCRETE',

MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,

THICKNESS(1)=0.2000 /

&SURF ID='BURNER',

COLOR='RED',

HRRPUA=1.8750000E003,

TAU_Q=-564.933 /

Brännare, övriga obstruktioner utelämnas

&OBST XB=20.50,24.50,15.70,17.70,3.80,4.20, BNDF_OBST=.FALSE.,

SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT' /

&DEVC ID='foaje nedre h', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=36.30,36.30,29.70,29.70,3.00,5.80/
&DEVC ID='foaje nedre v', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=9.30,9.30,29.70,29.70,3.00,5.80/
&DEVC ID='foaje ovre h', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=33.80,33.80,39.80,39.80,3.00,5.80/
&DEVC ID='foaje ovre v', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=11.40,11.40,39.80,39.80,3.00,5.80/
&DEVC ID='laktaren hogre', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=29.80,29.80,39.40,39.40,6.00,10.00/
&DEVC ID='laktaren vanster', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=15.60,15.60,39.40,39.40,6.00,10.00/
&DEVC ID='P3 hogre', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=35.80,35.80,37.20,37.20,6.00,8.80/
&DEVC ID='P3 vanster', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=7.80,7.80,37.20,37.20,6.00,8.80/
&DEVC ID='salongen hogre', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=29.50,29.50,29.30,29.30,3.00,10.00/
&DEVC ID='salongen mitten', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=23.20,23.20,25.20,25.20,3.00,10.00/
&DEVC ID='salongen vanster', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=16.00,16.00,29.30,29.30,3.00,10.00/
&DEVC ID='TRP A', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=30.00,30.00,35.00,35.00,0.00,2.80/
&DEVC ID='TRP B', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=15.00,15.00,35.20,35.20,0.00,2.80/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=13.30/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=13.30/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=32.10/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=32.10/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=37.00/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=37.00/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=8.00/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=8.00/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=22.20/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=22.20/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=30.00/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=30.00/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=38.20/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=38.20/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.70/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=1.70/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=4.70/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=4.70/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=7.70/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=7.70/

Termoelement, endast ett per termoelementträd redovisas

Läktaren mitten (6,2 - 8,8 m)

&DEVC ID='LM1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=22.5,38.0,6.2 /

Läktaren vänster (6,2 - 8,8 m)

&DEVC ID='LV1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=13.3,39.5,6.2 /

Läktaren höger (6,2 - 8,8 m)

&DEVC ID='LH1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.0,39.5,6.2 /

Salongen bakre (3,2 - 5,8 m)
&DEVC ID='SB1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=22.5,34.0,3.2 /

Salongen högra utgången (3,2 - 5,8 m)
&DEVC ID='SH1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.0,29.6,3.2 /

Salongen vänstra utgången (3,2 - 5,8 m)
&DEVC ID='SV1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=13.3,29.6,3.2 /

Salongen mitten (3,2 - 5,8 m)
&DEVC ID='SM1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=22.5,29.0,3.2 /

Scenen (4,0 - 6,6 m)
&DEVC ID='SST1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=22.5,21.5,4.0 /

Foaje vänster plan 3 (6,2 - 8,8 m)
&DEVC ID='F3V1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.2,36.8,6.2 /

Foaje höger plan 3 (6,2 - 8,8 m)
&DEVC ID='F3H1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=37.5,36.8,6.2 /

Foaje vänster plan 2 (3,2 - 5,8 m)
&DEVC ID='F2V1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=9.0,35.3,3.2 /

Foaje vänster nedre plan 2 (3,2 - 5,8 m)
&DEVC ID='F2VN1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,29.6,3.2 /

Foaje höger plan 2 (3,2 - 5,8 m)
&DEVC ID='F2H1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=36.5,35.3,3.2 /

Foaje höger nedre plan 2 (3,2 - 5,8 m)
&DEVC ID='F2HN1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=35.0,29.6,3.2 /

Trapphus B (0,2 - 2,8 m)
&DEVC ID='TRPB1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=16.0,35.0,0.2 /

Trapphus A (0,2 - 2,8 m)
&DEVC ID='TRPA1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=29.3,35.0,0.2 /

&TAIL /

N.3.1 Åtgärdsförslag scen

Nedan presenteras indatafiler för två åtgärdsförslag med brandgardin på scenen. I den ena simuleringen går gardinen hela vägen ned och i den andra halvvägs ned.

N.3.1.1 Helgardin

&HEAD CHID='scen_helgardin', TITLE='scen_helgardin' /
&TIME T_END=200.0 /

&MESH ID='scen 1', IJK=160,40,80, XB=14.70,30.70,10.70,14.70,2.80,10.80/
&MESH ID='scen 2', IJK=180,40,80, XB=13.70,31.70,14.70,18.70,2.80,10.80/
&MESH ID='scen 3', IJK=180,30,80, XB=13.70,31.70,18.70,21.70,2.80,10.80/
&MESH ID='salong 1', IJK=230,80,40, XB=11.00,34.00,21.70,29.70,3.00,7.00/
&MESH ID='salong 2', IJK=230,80,40, XB=11.00,34.00,29.70,37.70,3.00,7.00/
&MESH ID='salong 3', IJK=230,60,40, XB=11.00,34.00,37.70,43.70,3.00,7.00/
&MESH ID='salong 1 ovre', IJK=230,100,30, XB=11.00,34.00,21.70,31.70,7.00,10.00/

&MESH ID='salong 2 ovre', IJK=230,80,30, XB=11.00,34.00,31.70,39.70,7.00,10.00/
&MESH ID='salong 3 ovre', IJK=230,40,30, XB=11.00,34.00,39.70,43.70,7.00,10.00/

&MISC BNDF_DEFAULT=.FALSE. /
&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX' /

&REAC ID='wood',
C=6.00,
H=10.00,
O=5.00
N=0.00,
SOOT_YIELD=0.0600/ (Tewarson, 2002)

&MATL ID='CONCRETE',
SPECIFIC_HEAT=0.88,
CONDUCTIVITY=1.10,
DENSITY=2.1000000E003/ (Karlsson & Quintiere, 2000)

&SURF ID='Concrete 2',
RGB=255,255,204,
MATL_ID(1,1)='CONCRETE 2',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
THICKNESS(1)=0.50/

&SURF ID='Concrete',
MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
THICKNESS(1)=0.2000/

&SURF ID='BURNER',
COLOR='RED',
HRRPUA=1.8750000E003,
TAU_Q=-564.933/

&DEVC ID='Scenen1', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=22.00,22.00,21.00,21.00,3.80,10.8/
&DEVC ID='Scenen2', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=16.00,16.00,15.00,15.00,3.80,10.8/
&DEVC ID='Scenen3', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=29.00,29.00,15.00,15.00,3.80,10.8/
&DEVC ID='Scenen4', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=15.20,15.20,20.50,20.50,3.80,10.8/
&DEVC ID='Scenen5', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=30.50,30.5,20.50,20.50,3.80,10.8/

Brännare och brandgardin, övriga obstruktioner utelämnas

&OBST XB=20.50,24.50,15.70,17.70,3.80,4.20, BNDF_OBST=.FALSE.,
SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT' / burner

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,9.50,10.0, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN',
OUTLINE=.TRUE. / Obstruction
&DEVC ID='GARDIN', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=40 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,9.0,9.5, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN2',
OUTLINE=.TRUE. / Obstruction
&DEVC ID='GARDIN2', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=42 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,8.50,9.0, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN3',
 OUTLINE=.TRUE. / Obstruction
 &DEVC ID='GARDIN3', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=44 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,8.0,8.5, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN4',
 OUTLINE=.TRUE. / Obstruction
 &DEVC ID='GARDIN4', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=46 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,7.5,8.0, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN5',
 OUTLINE=.TRUE. / Obstruction
 &DEVC ID='GARDIN5', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=48 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,7.0,7.5, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN6',
 OUTLINE=.TRUE. / Obstruction
 &DEVC ID='GARDIN6', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=50 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,6.50,7.0, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN7',
 OUTLINE=.TRUE. / Obstruction
 &DEVC ID='GARDIN7', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=52 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,6.0,6.5, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN8',
 OUTLINE=.TRUE. / Obstruction
 &DEVC ID='GARDIN8', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=54 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,5.50,6.0, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN9',
 OUTLINE=.TRUE. / Obstruction
 &DEVC ID='GARDIN9', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=56 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,5.0,5.5, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN10',
 OUTLINE=.TRUE. / Obstruction
 &DEVC ID='GARDIN10', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=58 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,4.5,5.0, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN11',
 OUTLINE=.TRUE. / Obstruction
 &DEVC ID='GARDIN11', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=60 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,3.8,4.5, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN12',
 OUTLINE=.TRUE. / Obstruction
 &DEVC ID='GARDIN12', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=63 /

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=5.50/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=5.50/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=15.0/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=15.0/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=6.10/

Termoelement, endast ett per termoelementträd redovisas

Scenen mitten fram (4,0 - 6,6 m)

&DEVC ID='SST1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=22.5,21.5,4.0 /

Vänstra utrymningsvägen (4,0 - 6,6 m)

&DEVC ID='SV1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=16.0,15.0,4.0 /

Högra utrymningsvägen (4,0 - 6,6 m)

&DEVC ID='SH1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=29.0,15.0,4.0 /

Dörr uppe till vänster (4,0 - 6,6 m)

&DEVC ID='SVu1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=15.2,20.5,4.0 /

Dörr uppe till höger (4,0 - 6,6 m)

&DEVC ID='Shu1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=30.5,20.5,4.0 /

&TAIL /

N.3.1.2 Halvgardin

Simuleringen bygger på samma grundkod som presenteras i avsnitt N.3. Vissa kompletteringar görs, dessa redovisas nedan.

Extra layer heights

&DEVC ID='Scenen1', QUANTITY='LAYER HEIGHT',

XB=22.00,22.00,21.00,21.00,3.80,10.8/

&DEVC ID='Scenen2', QUANTITY='LAYER HEIGHT',

XB=16.00,16.00,15.00,15.00,3.80,10.8/

&DEVC ID='Scenen3', QUANTITY='LAYER HEIGHT',

XB=29.00,29.00,15.00,15.00,3.80,10.8/

&DEVC ID='Scenen4', QUANTITY='LAYER HEIGHT',

XB=15.20,15.20,20.50,20.50,3.80,10.8/

&DEVC ID='Scenen5', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=30.50,30.5,20.50,20.50,3.80,10.8/

Brandgardin

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,9.50,10.0, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN',
OUTLINE=.TRUE. / Obstruction

&DEVC ID='GARDIN', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=40 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,9.0,9.5, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN2',
OUTLINE=.TRUE. / Obstruction

&DEVC ID='GARDIN2', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=42 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,8.50,9.0, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN3',
OUTLINE=.TRUE. / Obstruction

&DEVC ID='GARDIN3', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=44 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,8.0,8.5, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN4',
OUTLINE=.TRUE. / Obstruction

&DEVC ID='GARDIN4', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=46 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,7.5,8.0, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN5',
OUTLINE=.TRUE. / Obstruction

&DEVC ID='GARDIN5', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=48 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,7.0,7.5, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN6',
OUTLINE=.TRUE. / Obstruction

&DEVC ID='GARDIN6', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=50 /

&OBST XB=14.00,31.40,21.60,21.70,6.50,7.0, BNDF_OBST=.FALSE., DEVC_ID='GARDIN7',
OUTLINE=.TRUE. / Obstruction

&DEVC ID='GARDIN7', XYZ=23.0,21.5,3.8, QUANTITY='TIME', SETPOINT=52 /

Extra slice files

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=5.50/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=5.50/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=15.0/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=15.0/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=6.10/

Extra termoelement

Scenen mitten fram (4,0 - 6,6 m)

&DEVC ID='SST1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=22.5,21.5,4.0 /

Vänstra utrymningsvägen (4,0 - 6,6 m)

&DEVC ID='SV1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=16.0,15.0,4.0 /

Högra utrymningsvägen (4,0 - 6,6 m)

&DEVC ID='SH1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=29.0,15.0,4.0 /

Dörr uppe till vänster (4,0 - 6,6 m)

&DEVC ID='SVu1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=15.2,20.5,4.0 /

Dörr uppe till höger (4,0 - 6,6 m)

&DEVC ID='Shu1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=30.5,20.5,4.0 /

&TAIL /

Glädjen hos rapportskrivarna överträffas nog bara av den hos läsarna när nu rapporten förklarar avslutad.

