



**LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA**
Lunds universitet

Brandteknik
Rapport nr. 9263



Brandteknisk Riskvärdering av Motala Folkets Hus

Stellan Jakobsson
Henrik Rosenqvist
Kenny Thuresson
Joel Wikström

Anmärkning

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

Avdelning för Brandteknik

Lunds Tekniska Högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

Department of Fire Safety Engineering

Lund Institute of Technology
Lund University
Box 118
S-221 00 Lund
SWEDEN

Titel

Brandteknisk riskvärdering av Motala Folkets Hus

Title

Fire safety evaluation of Motala Folkets Hus

Rapport/Report

9263

Författare/authors

Stellan Jakobsson
Henrik Rosenqvist
Kenny Thuresson
Joel Wikström
Brandingenjörsprogrammet, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2005
Fire Safety Engineering Program, Dept of Fire Safety Engineering, Lund University, 2005

Sökord

Motala Folkets Hus, Brandteknisk riskvärdering, brandscenario, utrymning, Personsäkerhet, CFAST version 6.0.4.50831, Argos version 4.9.21.174, Simulex version 11.1.3

Keywords

Motala Folkets Hus, Fire safety evaluation, fire scenario, evacuation, human safety, CFAST version 6.0.4.50831, Argos version 4.9.21.174, Simulex version 11.1.3

Abstract

The purpose of this report is to evaluate the fire safety of Motala Folkets Hus. This report has been carried out as a part of the students' education and does not concern protection of property or environment, but focuses on the safety of people during egress. Motala Folkets Hus is a commercial five-storey building, which consists of a library, theatre, cafeteria, restaurant, school and a variety of offices. The bases of this report are three fire scenarios, carefully evaluated and strategically placed inside the building. The scenarios are evaluated using fire modelling programmes, such as CFAST and Argos. This in order to get the time when tenable conditions occur in the rooms. The data produced were then compared with end evacuation times calculated using the software Simulex. The conclusions resulted in a proposal of measures to increase the safety for occupants in case of fire.

Förord

För att färdigställa denna rapport har vi fått stöd och hjälp från en rad olika håll. Vi vill tacka dessa människor för den hjälp de bistått oss med. Först och främst vill vi tacka brandingenjören Johan Erlandsson för den hjälp och det trevliga bemötande han och Räddningstjänsten i Motala gett oss. Vi vill tacka vaktmästaren Anders Örnstedt för vår grundliga rundtur av Motala Folkets Hus och för biståndet av materiel från objektet. Samt tack till fastighetsansvarige Malte Hellner. Vidare vill vi även tacka vår handledare Daniel Gojkovic för hans assistans under projektets gång. Tack även till Sven-Ingvar Granemark för hans tekniska support i brandlabbet. Slutligen tack till Lars Jensen för all hjälp med att tolka ventilationsritningarna.

Lund 2005-11-30

Sammanfattning

Denna rapport är en brandteknisk utvärdering av Motala Folkets Hus. Syftet har varit en utvärdering av brandskyddet och utrymningssäkerheten för byggnaden. Fokus ligger på personsäkerhet vid en eventuell brand och inte på egendomsskydd eller miljöpåverkan.

Motala Folkets Hus byggdes 1979 och ligger i centrala Motala vid Göta kanals mynning till Motalaviken. Byggnaden är fem våningar hög och inhyser bl.a. bibliotek, teater, cafeteria, restaurang, musikskola och diverse kontorslokaler. Verksamhetsytan är 11500m² fördelat över 5 plan och besöks av en stor bredd av personer.

Till grunden för rapporten ligger tre brandscenarier som skulle kunna orsaka allvarliga konsekvenser för utrymningssäkerheten.

- Scenario 1 – Brand i teatern
- Scenario 2 – Brand i garderob
- Scenario 3 – Brand i biblioteket

Dessa scenarier har strategiskt valts inuti byggnaden och noga analyserats. Brandförloppen har därefter simulerats i datorprogrammen CFAST och Argos för att få reda på tiden när kritiska förhållanden uppstår. Dessa har sedan jämförts med utrymningstider som erhållits med hjälp av simulering i datorprogrammet Simulex.

Resultaten visar att överlag är utrymningssäkerheten i valda delar av Motala Folkets Hus tillfredsställande. Utrymning ur teatern har visat sig kunna ske om en brand skulle uppstå där. Dock saknas utrymningslarm i teatern som skulle påskynda utrymningen om branden utbryter i andra delar av byggnaden. Att sprinkleranläggningen fungerar kan inte heller garanteras, eftersom den inte är testad sedan 1979.

En tillfredsställande utrymning vid en garderobsbrand har bedömts kunna ske. Den snabba reaktionstiden hos rökdetektorn bidrar till att samtliga personer som vistas i de berörda utrymnena blir uppmärksammade på att de skall utrymma. Om personal har uppsikt över garderoben kan branden troligen släckas med handbrandsläckare innan branden nått för hög effektutveckling.

En tillfredsställande utrymning av biblioteket anses kunna ske under förutsättning att vissa åtgärder görs. Åtgärderna handlar bl. a om att bredda larmbågarna vid entrén till biblioteket. Generellt behövs enkla åtgärder för att säkerställa tillfredsställande utrymning vid fall av brand i Folkets Hus.

Åtgärder som *skall* genomföras

- Larmbågarna *skall* breddas i biblioteket
- Gardiner och möblemang som skymmer nödutgångar i biblioteket *skall* plockas bort.
- Buskar utanför nödutgång i biblioteket *skall* tas bort.
- Nödutgångar och utrymningsvägar *skall* i alla lägen hållas fria från hinder.
- Utrymningslarm *skall* installeras i teatern.
- Information och utbildning hos all personal i byggnadens samtliga verksamheter *skall* ses över enligt SBA.
- Brandcellsavskiljande dörr i köket *skall* ha en fungerande dörrstängare. Eventuellt vara uppställd på magnet kopplad till utrymningslarm.
- Larmdon *skall* installeras i bibliotekets personalutrymmen
- Larmdon och detektorer *skall* kompletteras i biblioteket
- Befintliga brandsläckare *skall* monteras och tydligt markeras samt hållas fria.
- Belysning i nödutgångsskyltar som ej fungerar *skall* lagas.

| | |
|---|-----------|
| 1. INLEDNING..... | 1 |
| 1.1 BAKGRUND..... | 1 |
| 1.2 MÅL OCH SYFTE | 1 |
| 1.3 AVGRÄNSNINGAR..... | 1 |
| 1.4 METOD | 1 |
| 2 OBJEKTSBESKRIVNING | 3 |
| 2.1 HISTORIK / ALLMÄNT | 3 |
| 2.2 BYGGNADEN OCH DESS VERKSAMHET | 3 |
| 2.2.1 Plan 1..... | 3 |
| 2.2.2 Plan 2..... | 4 |
| 2.2.3 Plan 3..... | 5 |
| 2.2.4 Plan 4..... | 5 |
| 2.2.5 Plan 5..... | 6 |
| 2.3 BRANDSKYDDSBESKRIVNING NUVARANDE BRANDSKYDD..... | 6 |
| 2.3.1 Byggnadstekniskt brandskydd..... | 6 |
| 2.3.2 Aktiva System..... | 7 |
| 2.3.3 Brandlarm | 8 |
| 2.3.4 Brandgasventilation..... | 8 |
| 2.3.5 Ventilationssystemet..... | 8 |
| 2.3.6 Brandpersonal..... | 9 |
| 2.3.7 Släckutrustning..... | 9 |
| 2.3.8 Systematiskt brandskyddsarbete..... | 10 |
| 2.3.9 Räddningstjänsten..... | 10 |
| 2.3.10 Larmhistorik..... | 10 |
| 3 BRANDSCENARIER | 11 |
| 3.1 VAL AV BRANDSCENARIER | 11 |
| 3.1.1 Brandorsaker..... | 12 |
| 3.2 SCENARIO 1: BRAND I TEATER | 13 |
| 3.2.1 Brandgasspridning via ventilationssystemet..... | 14 |
| 3.3 SCENARIO 2: BRAND I GARDEROBEN | 15 |
| 3.3.1 Brandgasspridning via ventilationssystemet..... | 15 |
| 3.4 SCENARIO 3: BRAND I BIBLIOTEKET | 16 |
| 3.4.1 Brandgasspridning via ventilationssystemet..... | 17 |
| 3.5 EFFEKTKURVOR..... | 18 |
| 3.5.1 Effektkurva Teatern..... | 19 |
| 3.5.2 Effektkurva Garderob..... | 20 |
| 3.5.3 Effektkurva Bibliotek..... | 22 |
| 4 BRANDFÖRLOPP..... | 23 |
| 4.1 KRITISKA FÖRHÅLLANDEN | 23 |
| 4.2 BERÄKNINGSMODELLER | 24 |
| 4.2.1 Tvåzonsmodellen..... | 24 |
| 4.2.2 Begränsningar..... | 24 |
| 4.2.3 Giltighet..... | 25 |
| 4.3 BRANDFÖRLOPP TEATER..... | 26 |
| 4.3.1 Förenkling..... | 26 |
| 4.3.2 Resultat..... | 27 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.3.3 | <i>Känslighetsanalys</i> | 27 |
| 4.3.4 | <i>Diskussion</i> | 27 |
| 4.4 | BRANDFÖRLOPP GARDEROB | 28 |
| 4.4.1 | <i>Förenkling</i> | 28 |
| 4.4.2 | <i>Resultat</i> | 29 |
| 4.4.3 | <i>Känslighetsanalys</i> | 30 |
| 4.4.4 | <i>Diskussion</i> | 31 |
| 4.5 | BRANDFÖRLOPP BIBLIOTEK | 31 |
| 4.5.1 | <i>Förenkling</i> | 31 |
| 4.5.2 | <i>Resultat</i> | 32 |
| 4.5.3 | <i>Känslighetsanalys</i> | 33 |
| 4.5.4 | <i>Diskussion</i> | 34 |
| 4.6 | HANDBERÄKNINGAR | 35 |
| 5 | UTRYMNINGSFÖRLOPP | 37 |
| 5.1 | ALLMÄNT OM UTRYMNING | 37 |
| 5.1.1 | <i>Utrymningsförloppet</i> | 38 |
| 5.2 | BERÄKNINGSMODELL | 38 |
| 5.3 | INDATA I SIMULEX..... | 39 |
| 5.3.1 | <i>Indata varseblivnings-, reaktions- och beslutstid</i> | 39 |
| 5.3.2 | <i>Indata personkategori</i> | 39 |
| 5.4 | UTRYMNING TEATER | 40 |
| 5.4.1 | <i>Utrymningsscenarier</i> | 41 |
| 5.4.2 | <i>Resultat</i> | 41 |
| 5.4.3 | <i>Diskussion</i> | 42 |
| 5.5 | UTRYMNING GARDEROBSBRAND | 42 |
| 5.5.1 | <i>Utrymningsscenarier</i> | 43 |
| 5.5.2 | <i>Resultat</i> | 44 |
| 5.5.3 | <i>Diskussion</i> | 44 |
| 5.6 | UTRYMNING BIBLIOTEK..... | 45 |
| 5.6.1 | <i>Utrymningsscenarier</i> | 46 |
| 5.6.2 | <i>Resultat</i> | 47 |
| 5.6.3 | <i>Diskussion</i> | 47 |
| 5.7 | UTRYMNING HELA BYGGNADEN | 48 |
| 5.7.1 | <i>Utrymningsscenarier</i> | 48 |
| 5.7.2 | <i>Resultat</i> | 48 |
| 5.7.3 | <i>Diskussion</i> | 49 |
| 6 | VÄRDERING AV PERSONSÄKERHET | 51 |
| 6.1 | TEATER | 51 |
| 6.1.2 | <i>Slutsats</i> | 52 |
| 6.2 | GARDEROB | 53 |
| 6.2.1 | <i>Slutsats</i> | 54 |
| 6.3 | BIBLIOTEK..... | 55 |
| 6.3.1 | <i>Slutsats</i> | 56 |
| 7 | DISKUSSION | 57 |
| 7.1 | PERSONSÄKERHET | 57 |
| 7.2 | BEFINTLIGT BRANDSKYDD | 57 |
| 8 | ÅTGÄRDSFÖRSLAG | 59 |

| | |
|---|------------|
| 9 REFERENSER | 61 |
| BILAGA A: BRANDCELLSRITNINGAR | 63 |
| BILAGA B: BRISTER I BEFINTLIGT BRANDSKYDD | 65 |
| BILAGA C: SYSTEMATISKT BRANDSKYDDSARBETE (SBA) | 67 |
| BILAGA D: FÖRSÖK I BRANDLAB | 73 |
| BILAGA E: BRANDGASSPRIDNING VIA T-SYSTEM I BIBLIOTEK | 77 |
| BILAGA F: EFFEKTKURVA TEATER | 79 |
| BILAGA G: EFFEKTKURVA GARDEROB | 81 |
| BILAGA H: EFFEKTKURVA BIBLIOTEK | 83 |
| BILAGA I: ARGOS RESULTAT TEATER | 85 |
| BILAGA J: ARGOS RESULTAT GARDEROB | 87 |
| BILAGA K: KÄNSLIGHETSANALYS GARDEROB | 89 |
| BILAGA L: CFAST RESULTAT BIBLIOTEK | 91 |
| BILAGA M: KÄNSLIGHETSANALYS BIBLIOTEK | 93 |
| BILAGA N: HANDBERÄKNINGAR | 95 |
| BILAGA O: SIMULEX INDATA OCH UPPSTÄLLNING I TEATER | 101 |
| BILAGA P: SIMULEX INDATA OCH UPPSTÄLLNING GARDEROB | 105 |
| BILAGA Q: SIMULEX INDATA OCH UPPSTÄLLNING BIBLIOTEK | 107 |
| BILAGA R: SIMULEX INDATA OCH UPPSTÄLLNING HELA BYGGNADEN | 111 |
| BILAGA S: ENKÄTUNDERLAG | 117 |
| BILAGA T: RESULTAT ENKÄTUNDERSÖKNING | 119 |

1. Inledning

Här ges en kortfattad beskrivning av rapportens syfte och uppbyggnad. Denna rapport är riktad till såväl brandingenjörer som personal vid objektet.

1.1 Bakgrund

Under höstterminen läser brandingenjörstudenterna i tredje årskursen vid Lunds Tekniska Högskola kursen Brandteknisk riskvärdering (10p). Kursen består huvudsakligen av ett projektarbete. Studenterna blir tilldelade ett objekt som de skall göra en brandteknisk riskvärdering av, innefattande kriterierna möjliga brandscenarier och utrymningsmöjligheter. Projektarbetet redovisas i slutet på terminen med en rapport och en muntlig presentation.

1.2 Mål och syfte

Detta projektarbete skall öka studenternas förståelse för en byggnads brand- och personskydd, samt öka erfarenheten att använda nödvändiga hjälpmedel som datorsimuleringsprogram. Genom bedömningar av gällande byggregler ska de kunna se risker och brister i brand- och utrymnings säkerheten. Eventuella risker och brister skall värderas av studenterna med hjälp av beräkningar och ingenjörsmässiga bedömningar. De slutsatser som dras skall leda till åtgärder som förbättrar brand- och utrymnings säkerheten i byggnaden.

1.3 Avgränsningar

Rapporten är begränsad till personsäkerhet vid uppkomst av brand. Byggnaden är en stor allmän byggnad där det kan vistas ett stort antal besökare. De brandscenarier som presenteras har noga valts ut efter troliga uppkomster och värderats till de värsta tänkbara, d.v.s. de scenarier som får störst konsekvenser för personsäkerheten. De delar i byggnaden som valts som scenarier antas innehålla det största antalet personer i byggnaden och eventuellt ha brister i brandskyddet som kan försvåra en utrymning om brand utbryter. De slutsatser som dras berör endast de delar som utvärderas i rapporten.

1.4 Metod

Vid ett besök av objektet i början av kursen studerades byggnaden med inriktning på brand- och personsäkerhet. En granskning utfördes huruvida befintligt brandskydd och utrymningsförhållanden sköttes. En bedömning gjordes var möjliga bränder med stor konsekvens för personsäkerheten kan uppstå.

En enkätundersökning utfördes på personal och besökare för att få en verklig bild av personalens brandskyddsutbildning samt hur besökare skulle bete sig vid utrymning.

Med på besöket var handledarna och representanter från objektet som guidade runt i byggnaden. Vissa material togs med hem till brandlabbet där de sedan proveldades för bedömning av brandegenskaper.

Olika brandscenarier har utarbetats med värsta tänkbara konsekvenser, så kallade ”worst case” scenarier. Effektkurvor för de valda scenarierna har tagits fram genom analys av tidigare dokumenterade försök samt annan information.

Med hjälp av effektkurvorna simuleras brandförloppen i dataprogrammen CFAST version 6.0.4.50831 och Argos version 4.9.21.174. Handberäkningar genomförs för att kontrollera simuleringarnas trovärdighet. Utrymning studerades med det datorbaserade simuleringsprogrammet Simulex version 11.1.3

2 Objektsbeskrivning

Här beskrivs objektet och dess verksamhet, samt en beskrivning av nuvarande brandskydd.

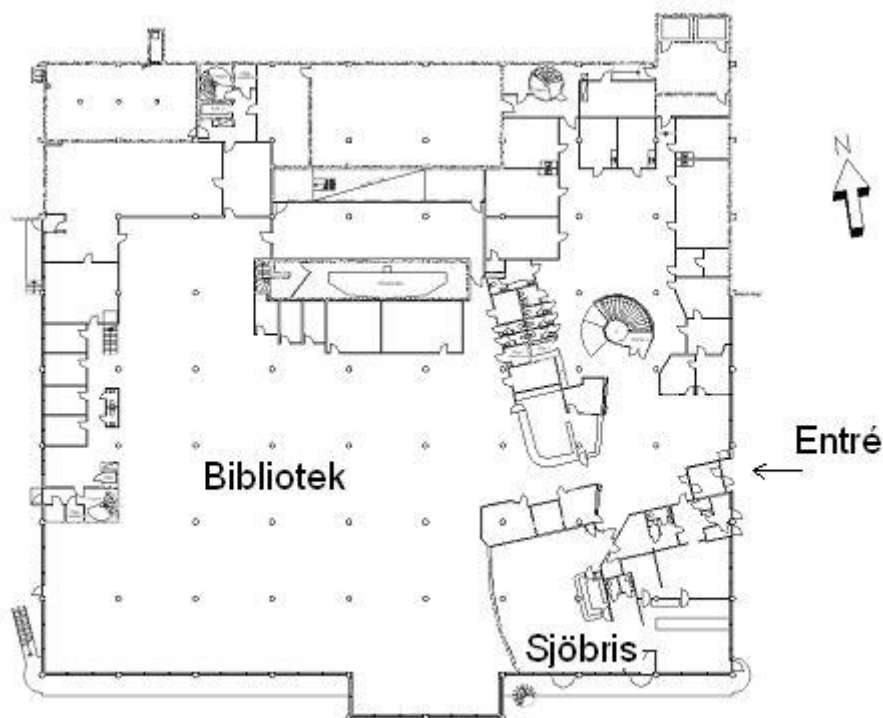
2.1 Historik / Allmänt

Motala Folkets Hus byggdes 1979. Byggnaden ligger i centrala Motala, precis vid Göta kanals mynning till Motalaviken. Den har en planyta på 2875 m² och innehåller bl.a. bibliotek, restaurang, café, teater och diverse konferens lokaler i olika storlekar. Byggnaden inhyser även en del andra verksamheter såsom Sisu – idrottsutbildning, musikskola m.m. Byggnaden har en total verksamhetsyta på 11500 m² fördelat på fem plan.

2.2 Byggnaden och dess verksamhet

Här beskrivs planen och dess verksamheter.

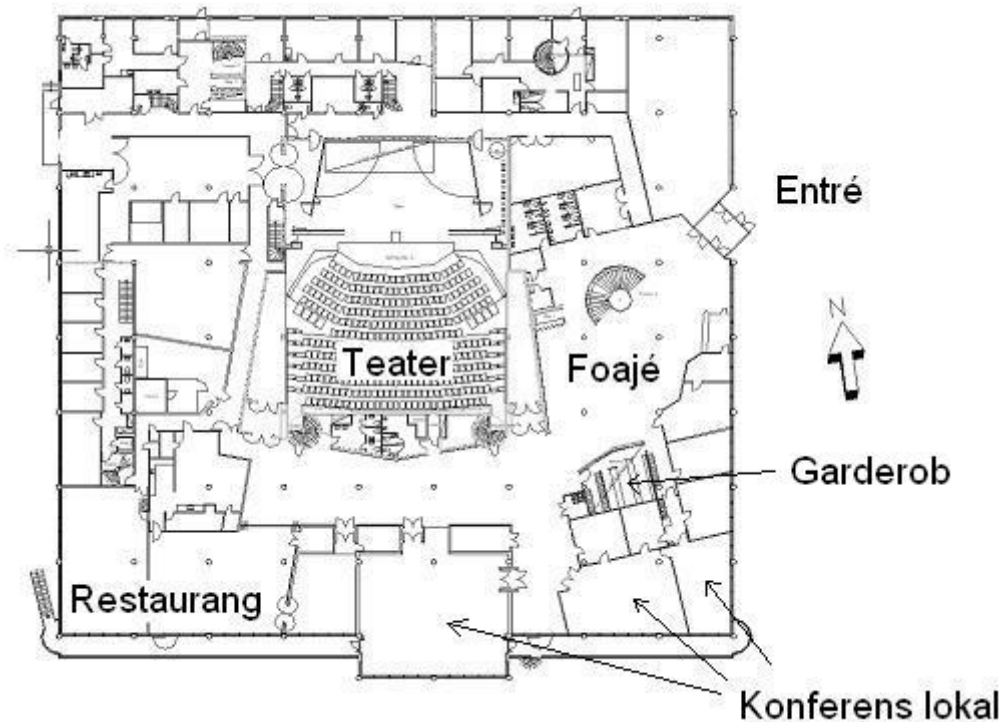
2.2.1 Plan 1



Figur 2.1 Översikt av plan 1

I figur 2.1 ses en översikt av plan 1. Detta plan inrymmer ett bibliotek med arkiv och personalkontor. Här finns Café Sjöbris som även är en lunchrestaurang, samt teaterns förrådsutrymmen och scenkällare. Anläggningen för uppvärmning av byggnaden samt ett litet verkstadsutrymme finns även på detta plan. Biblioteket sträcker sig över en yta på ca 1800m², och har ca 250 000 bokutlåningstillfällen varje år. Biblioteket är öppet dagtid måndag-lördag, men det förekommer även temakvällar vissa veckor då personer kan vistas i lokalen efter utsatt stängningstid. I den västra delen av detta plan ligger bibliotekskontoren som avdelas från själva biblioteket med portabla kontorsväggar. Kontoren har en öppen förbindelse i två plan uppåt där ytterligare personalrum finns.

2.2.2 Plan 2

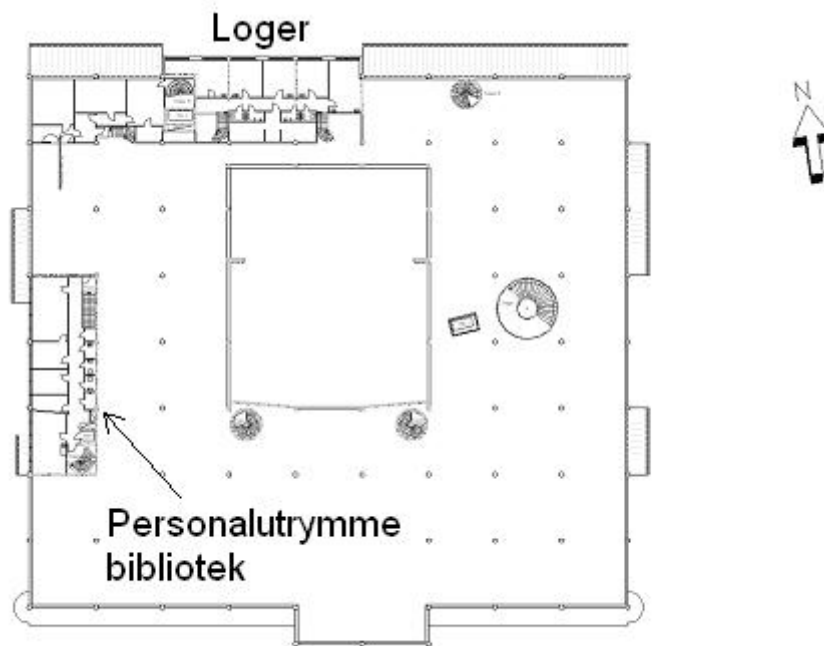


Figur 2.2 Översikt av plan 2

I figur 2.2 ses en översikt av plan 2. I den östra delen av planet finns huvudentrén. Den leder in i en foajé/utställningshall där en stor spiraltrappa går igenom byggnaden. I den sydöstra delen finns en garderob med kapacitet för ca 400 jackor.

Centralt i byggnaden finns en teater/konferens lokal med tillhörande loger och scenverkstad. Teatern har möjlighet att ta emot 399 personer varav 8 rullstolsburna. Lokalen skall även kunna inrymma en teaterensemble med övrig personal. Teatern är ca 14 m i takhöjd vilket gör att den sträcker sig igenom fyra våningsplan. En teaterbalkong ligger i höjd med plan 4. Plan 2 har även i sin sydvästra del en restaurang med möjlighet att ta emot 160 gäster. Här finns även en del andra konferenslokaler med allt från mindre rum som tar 8 personer, till kommunfullmäktigesalen som kan ta in 70 personer. På detta plan är också Folkets Hus administrativa kontor beläget.

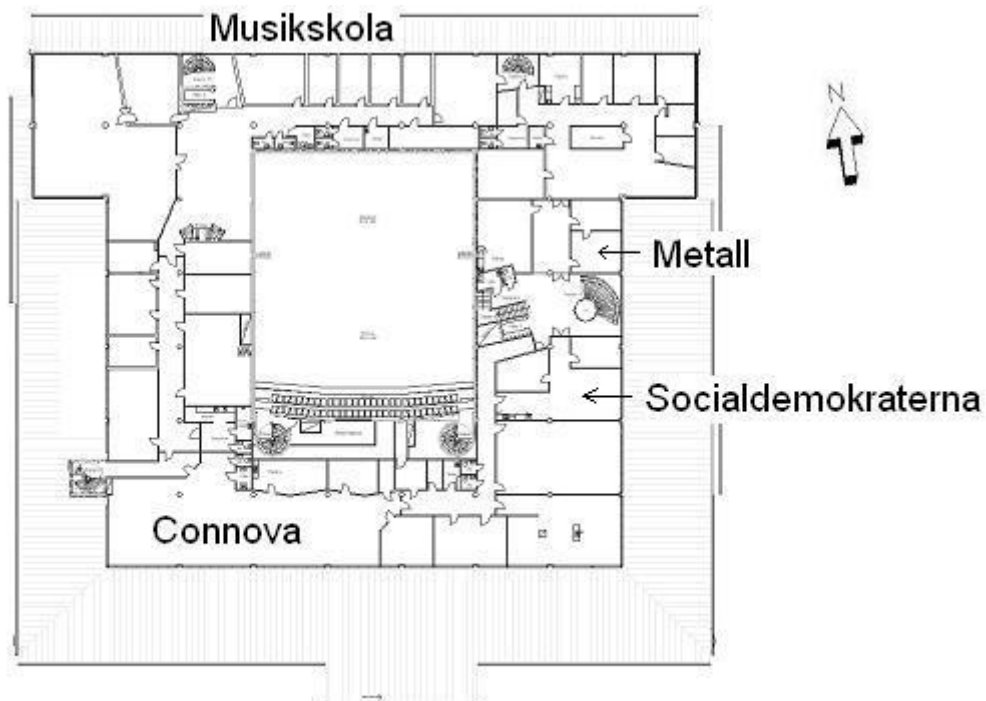
2.2.3 Plan 3



Figur 2.3 Översikt av plan 3

I figur 2.3 ses en översikt av plan 3. Detta är till huvuddelen ett entresolplan. I den norra delen finns loger samt en radiostudio. I den västra delen finns kontor, fikarum och vilorum för bibliotekspersonal.

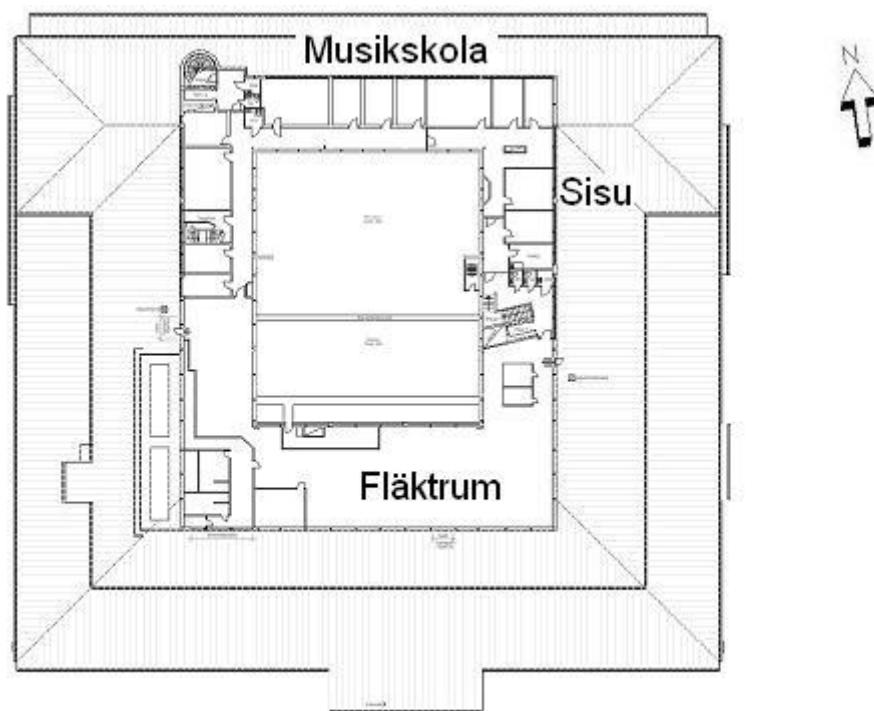
2.2.4 Plan 4



Figur 2.4 Översikt av plan 4

I figur 2.4 ses en översikt av plan 4. Den stora spiraltrappan är planets huvudentré. Planet inrymmer bl.a. Socialdemokraterna, Connova samt teaterdelen i mitten av byggnaden. I den norra delen finns musikskolan som sträcker sig genom två våningar. Skolan har ungefär 90 elever utöver personal.

2.2.5 Plan 5



Figur 2.5 Översikt av plan 5

I figur 2.5 ses en översikt av plan 5. Detta plan nås via en fristående öppen trappa från plan 4, strax intill den stora spiraltrappan. Här finns Sisu –Idrottsutbildarna, musikskolan samt fläktrummet till byggnadens ventilationssystem.

2.3 Brandskyddsbeskrivning nuvarande brandskydd

Här beskrivs ingående byggnadens nuvarande brandskydd.

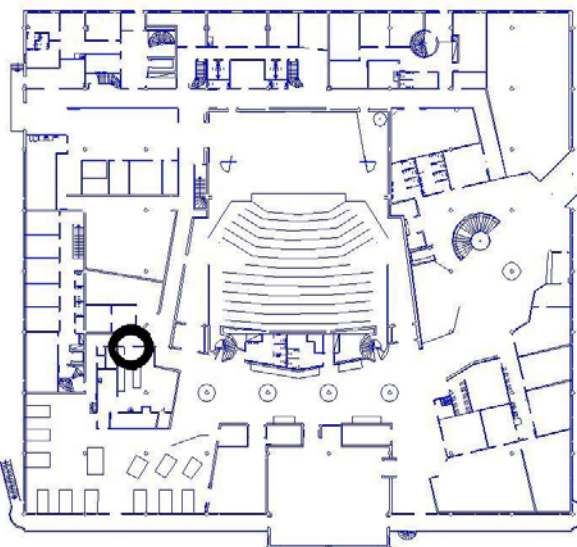
2.3.1 Byggnadstekniskt brandskydd

Av Systematiskt BrandskyddsArbete (SBA) framgår att byggnaden är klassad som en Br1-byggnad med brandcellsindelning enligt ritning (se Bilaga A). Till plan 4 saknas ritning över brandcellsindelningen. De flesta av brandcellerna är gjorda i klass A60. Spiraltrappan mellan plan 1 och plan 2 är avskild med B30 väggar. A-klass och B-klass anses motsvara dagens EI-klass.¹

¹ Brandskyddshandboken

På teaterscenen finns en brandridå att dra ner för att hindra brandspridning om en brand skulle starta på scenen eller i delen där publiken sitter.

En del dörrar är utrustade med automatiska dörrstängare varav vissa är uppställda med magnet. Vid besöket upptäcktes att dörrstängaren till köksdörren mot utrymningsvägen från teatern på plan två var bortkopplad och dörren var öppen (se figur 2.6). Dörren är en avskiljare mellan två brandceller.



Figur 2.6 Bortkopplad dörrstängare till köket på plan 2

2.3.2 Aktiva System

Den enda platsen i byggnaden som är försedd med sprinkler är teaterscenen (se figur 2.7). Systemet har öppna sprinklerhuvuden och måste startas manuellt om det börjar brinna. I samtal med en av vaktmästarna framgår att sprinklersystemet aldrig har provats eller kontrollerats sedan det installerades 1979. Det är således ganska oklart om systemet fungerar om det skulle behöva användas.

Teaterscenen har även en brandridå, som manuellt skall avskilja scenen från salongen vid en eventuell brand.



Figur 2.7 Manövrering av sprinklersystem och brandgasventilation på scenen. Sprinklerhuvud ovanför scenen

2.3.3 Brandlarm

Det finns ett automatiskt brandlarm installerat i vissa delar av byggnaden som är kopplat direkt till räddningstjänsten. Detektion sker med rökdetektorer, värmedetektorer eller manuella larmknappar. Brandförsvarstablån (se figur 2.8) är belägen på plan 2.

Teatern på plan 2 är inte utrustad med vare sig detektorer eller larmdon. Dock finns en larmknapp vid sidan av scenen. Eftersom teatern är välisolerad är det troligt att man inte skulle höra de larmdon som finns i andra delar av byggnaden.



Figur 2.8 Brandförsvarstablån samt rökdetektor i biblioteket

2.3.4 Brandgasventilation

Det finns en brandgasfläkt ovanför den sprinklade delen av scenen i teatern (se figur 2.9). Fläkten manövreras manuellt från ett ställe på scenen. Provning av fläkten sker en gång per halvår enligt SBA. Det är oklart hur stora flöden fläkten kan ge vid ventilation, samt om tilluftsöppningar är tillräckligt stora, då de ej finns angivet på fläkten eller i annan tillgänglig dokumentation.



Figur 2.9 Brandgasventilation över scenen

2.3.5 Ventilationssystemet

Ventilationssystemet i Folkets Hus är ett så kallat Från- och Tilluftssystem (FT-system). Tilluften tas från taket, där också frånluften lämnas. Fläktrummet med tilluftsaggregat och frånluftsfläktar finns på plan 5. Det förekommer såväl deplacerande- som omblandande ventilation i byggnaden. Eftersom det är brandsäkerhet som behandlas i denna rapport kommer inga beräkningar för kontroll att luftflödena för komfortabelt klimat att göras.

Ventilationssystemet vid brand

Funktionskravet i BBR (Boverkets byggregler)² 5:653 anger att luftbehandlingsinstallationer skall utformas så att ett tillfredsställande skydd mot spridning av brandgas mellan brandceller erhålls. Brandgasspridning i ett FT-system sker lättare än i ett F-system. När trycket i brandrummet blir högre än trycket i T-systemet trycks brandgaserna ut och spridning till andra rum kan ske. Det är alltså T-systemet som är den svaga länken när det gäller brandgasspridning i ett FT-system.

Om brand utbryter stoppas inte ventilationssystemet, utan det är enbart brandgasspjällen som stängs.

De flesta brandceller är försedda med separata ventilationssystem, vilket betyder att ett tilluftsaggregat förser endast en brandcell med luft. Detsamma gäller frånluftsfläktarna. En del av de T-system som förser flera brandceller med luft är försedda med brandgasspjäll. På så sätt kan brandgaserna hindras från att spridas till andra brandceller. Några T-system förser flera brandceller med luft utan att vara skyddade med brandgasspjäll. Det betyder att brandgasspridning kan vara möjlig i dessa fall. Det faktum att inte brandcellsritningar funnits tillgängliga över plan 4 gör det svårt att säga något om brandgasspridning via T-system är möjligt på detta plan.

2.3.6 Brandpersonal

Vid evenemang i teatern finns alltid en brandansvarig på plats. Denna person befinner sig i närheten av scenen under föreställningen. Brandpersonalen har till uppgift att meddela publiken om lokalen behöver utrymmas, dra ner brandridån, starta sprinklersystemet och brandgasventilationen samt att försöka släcka om en brand skulle uppstå.

2.3.7 Släckutrustning

Handbrandsläckare finns utplacerade på strategiska platser i byggnaden. Kolsyresläckare finns i köken och i övriga delar av byggnaden finns skumsläckare (se figur 2.10).



Figur 2.10 Skumsläckare i biblioteket. Ej monterad kolsyresläckare i köket på Café Sjöbris

² Boverkets byggregler

2.3.8 Systematiskt brandskyddsarbete

Folkets Hus bedriver systematiskt brandskyddsarbete, SBA (utvalda delar kan ses i Bilaga C). I SBA framgår bland annat att alla anställda ska ges en grundläggande brandskyddsutbildning vart tredje år. En tydlig fördelning av ansvarsuppgifter gällande brandskyddet för Folkets Hus är också gjord i SBA.

2.3.9 Räddningstjänsten

Räddningstjänsten bedöms i bästa fall ha påbörjat en insats i byggnaden inom 10 minuter efter att de fått larm. Detta på grund av att brandstationen ligger relativt nära Folkets Hus. Om räddningstjänsten är ute på annat larm kan insatstiden bli längre. Det planeras för en ny brandstation i Motala, men insatstiden kommer då inte att bli längre än 10 minuter under förutsättning att de är på stationen.³

2.3.10 Larmhistorik

Larmhistoriken bygger på samtal med anställda och räddningstjänsten.

Det har aldrig inträffat någon brand i Folkets Hus. Brandlarmet har utlöst vid enstaka tillfälle då det har varit luciataåg i byggnaden. Utrymning har då skett, men det är dock oklart hur lång tid utrymningen tog vid dessa tillfällen. Byggnaden har vid ett tillfälle bombhotats.

Utrymningstiden var då mer än trettio minuter, eftersom att folk inte tog larmet på allvar utan satt kvar ganska länge innan de utrymde. Det är oklart om besökarna fick reda på orsaken till att de var tvungna att utrymma. En av kökspersonalen stannade till och med kvar i byggnaden för att de hade mat i ugnen.⁴

³ Samtal med Johan Erlandsson.

⁴ Samtal med Anders Örnstedt

3 Brandscenarier

Här beskrivs hur och var brandscenarierna valts ut samt hur brandförloppen och dess effektkurvor dimensionerats.

3.1 Val av brandscenarier

Brandscenarier har valts med utgångspunkt på personsäkerhet. De delar av byggnaden där flest människor vistas, eller där en brand kan medföra svåra konsekvenser för utrymning, har granskats och de scenarier med störst konsekvens har valts.

En mängd olika brandscenarier har haft i åtanke. Bland annat har följande lämpliga brandscenarier diskuterats:

Brand i kök

Köket kan antas som ett lämpligt scenario då det förekommer potentiella tändkällor. Dessutom har det framkommit vid samtal med kökspersonal att rökutveckling från en ismaskin har inträffat tidigare. Köket ligger i en brandcell, medan dess frysrum ligger i en angränsande brandcell. Vid besöket framkom att den brandcellsavskiljande dörren hålls öppen under verksamhet.

Brand i biblioteksarkiv

Biblioteket har ett antal arkiv där både tidningar och böcker förvaras. En hög brandbelastning och avskildhet kan medföra att branden inte upptäcks förrän i ett sent skede. Plötslig spridning vid öppning av dörr skulle kunna ge en snabb tid till kritiska förhållanden i biblioteket.

Brand i scenkällare

En elcentral är belägen här och utrymnet används till förvaring av bland annat bildäck, julgranar, diverse trämaterial etc. Rummet är avskilt och även här kan en sen upptäckt ge svåra konsekvenser.

Generellt kan brand i små utrymmen som saknar detektorer få en lång ostörd brandtillväxt och ge svåra konsekvenser om den upptäcks sent. Många sådana utrymmen finns i Motala Folkets Hus.

Då vi inriktat oss på personsäkerheten vid utrymning har vi valt scenarier med stor persontäthet där personerna befinner sig i anslutning till branden. Många personer ger långa utrymningstider och kan då utsättas för kritiska förhållanden. Scenarierna har valts med åtanke till åtkomstmöjlighet för allmänheten, detta då statistik säger att anlagd brand är en vanlig brandsorsak. Då de scenarier som diskuterats innan är låsta och på annat sätt avskilda har följande scenarier valts att vidare undersökas.

Brand i teater

Teatern är en den största samlingslokalen i byggnaden och kan dessutom innehålla mycket brännbart material på scenen. Den höga persontätheten och avsaknaden av larmdon samt tveksamheter i funktionen av övriga system gör detta till ett intressant scenario.

Brand i garderob

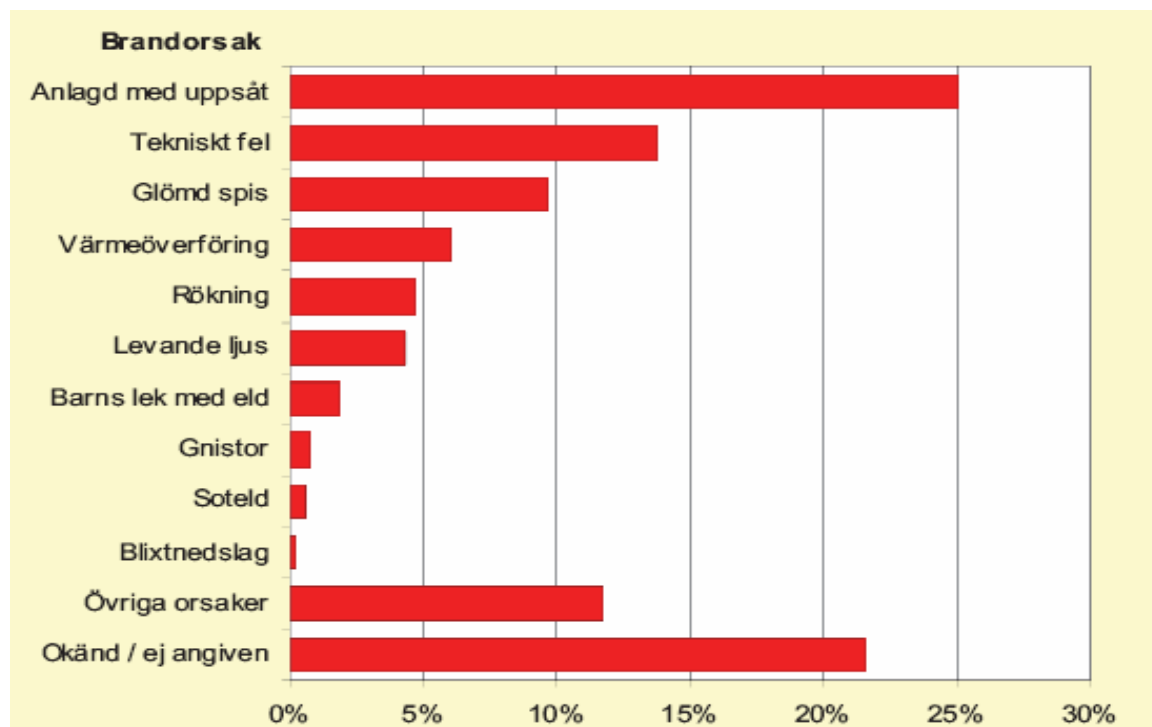
En full garderob innebär en stor brandbelastning i ett litet utrymme. Den ligger även i anslutning till planets entré och övriga verksamheter. Ett scenario här kan ge både kraftigt brandförlopp och försvåra utrymning från bland annat teatern.

Brand i bibliotek

Detta är byggnadens största publika utrymme med mycket brännbart material i form av böcker och hyllor. Dessutom förekommer det brister på utrymningsvägar och detektions-system. Biblioteket är välbesökt och kan innehålla ett stort antal personer, sammantaget gör detta scenariot intressant ur utrymningssynpunkt.

3.1.1 Brandorsaker

För att få fram så verklighetstroga scenarier som möjligt har statistik på brandorsaker från räddningsverket studerats (se figur 3.1). Eftersom de konsekvenser som studeras vid brand behandlar personsäkerhet, krävs det att många personer befinner sig i lokalerna när branden uppkommer. Men när stora folkmassor vistas i byggnaden skulle branden upptäckas tidigt och skulle därför kunna resultera i mindre konsekvenser. Troliga brandorsaker är anlagd brand eller någon form av tekniskt fel.



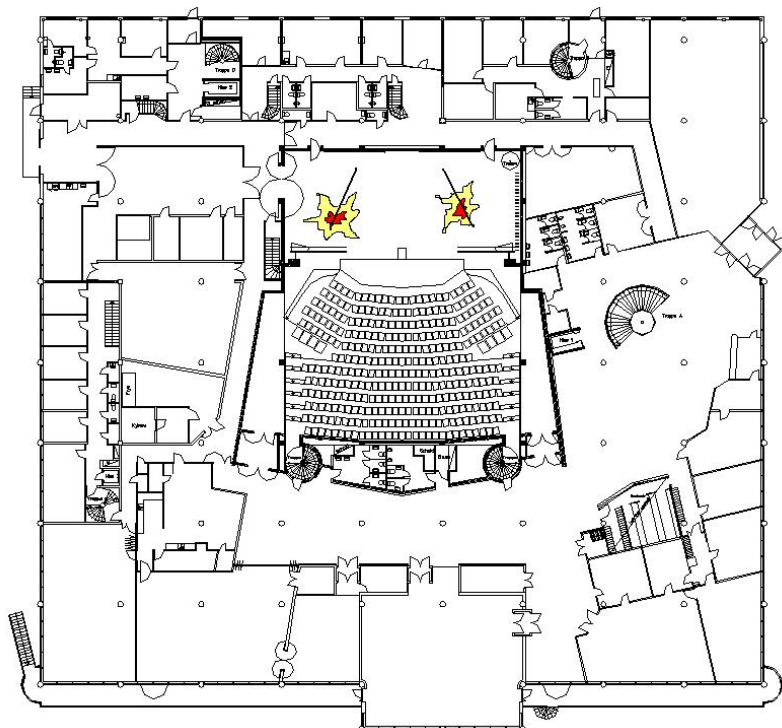
Figur 3.1 Andel räddningsinsatser till brand i allmän byggnad efter brandorsak, 1996-2004⁵

⁵ Internetreferens: Räddningstjänsten i siffror

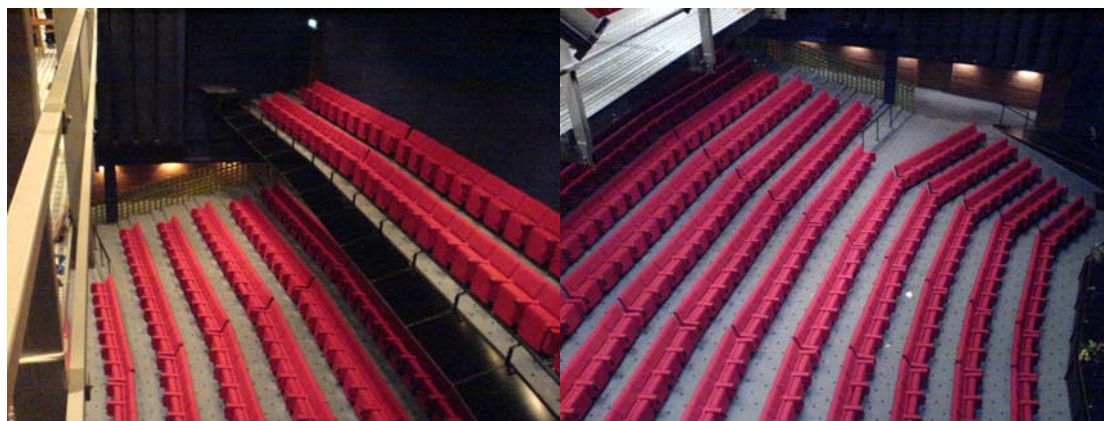
3.2 Scenario 1: Brand i Teater

Mitt i Folkets hus med parkett på plan 2 ligger teatern. Den kan inhysa uppemot 400 personer samt en teaterensemble med tillhörande personal. Lokalen är en egen brandcell och är, med undantag av scenen, inte sprinklad. Scenen har en manuell sprinkleranläggning som ej är testad sedan den installerades 1979. Dess funktion kan inte garanteras, därför försummas denna i scenariet. Även brandgasventilationen bortses ifrån på grund av bristande information om funktion och flöden. På scenen finns en brandridå vars funktion är att avskilja eventuell brand i lokalen. En sådan avskiljning skulle kunna fördröja eller eventuellt hindra brandgasspridning helt från scen till salong. Dessa delar har bortsetts från, inte enbart på grund av den bristande funktionsgarantin, utan även för att få ett worst case scenario. Det finns inga branddetektorer eller larmdon i lokalen. Vid utrymning skall brandpersonalen meddela publiken och starta utrymningen. Ovanför stolarna mitt i salongen, väldigt nära taket, hänger en ljusramp där ljus teknikerna kan vara under en föreställning. Om dessa personer inte snabbt upptäcker att en brand har utbrutit har de liten chans att ta sig till en säker plats. Därför kommer ej dessa att tas med i scenariet, eftersom tiden till kritiska förhållanden skulle bli avsevärt mycket snabbare för dem.

Vid tester av teaterstolar och mattor i lokalen (Bilaga D) har det stått klart att ett brandförlopp i en folktom teater skulle gå väldigt sakta eller ej starta alls. Det skulle krävas en kraftigt anlagd brand och det är inte säkert alls att det skulle skapa en större brand i lokalen. Detta tack vare att alla möbler är brandskyddade. Om det trots detta skulle starta en långsam brand krävs det att lokalen är tom och det skulle enligt vår bedömning skapa ett mindre utrymningsscenario än om det skulle starta en brand när det är fullsatt i lokalen. Detta scenario kommer att koncentreras på en brand som startar på scen (se figur 3.2) och för att skapa ett värre brandscenario används inte brandridån. En översiktsbild av teatersalongen ses i figur 3.3.

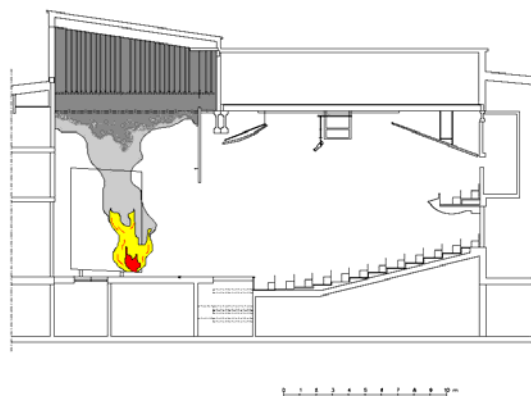


Figur 3.2 Översikt plan 2

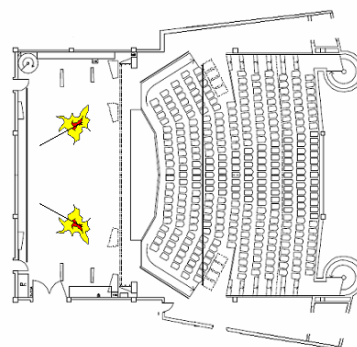


Figur 3.3 Översikt teatersalong och balkong

Scenen har två stora flyttbara träväggar som skall förstärka akustiken i teatern. Akustikväggarna är skyddade med någon form av flamskyddsfärg. Dessa är 5–7m höga, ca 9m breda och ca 15mm tjocka vilket ger en yta på vardera 54 m². En antändning här skulle få ett snabbt förlopp på grund av vertikal flamspridning. Under en fyrverkeriföreställning eller liknande evenemang skulle ett missöde kunna resultera i en brand i akustikväggen. För att få en konservativ bedömning antas att båda akustikväggarna antänder samtidigt (se figur 3.4 och 3.5).



Figur 3.4 Teaterbrand från sidan



Figur 3.5 Teaterbrand från ovan

3.2.1 Brandgasspridning via ventilationssystemet

Vid brandgasspridning har ventilationsritningar av Folkets Hus noga kontrollerats och teaterdelen har enligt dessa en helt enskild ventilation utan koppling till andra brandceller. Även om det skulle bli ett övertryck i teatern som skulle göra att brandgaser skulle tvingas tillbaka in i ventilationskanalerna, skulle detta inte ge någon spridning till andra brandceller. Det finns här ingen risk för brandgasspridning via ventilationssystemet.

3.3 Scenario 2: Brand i garderoben

Som Scenario 2 har en brand i garderoben utanför teatern valts. Vid en paus i teatern kan det vistas mycket folk i foajén och korridoren utanför.

Garderoben kan, under föreställning, rymma 400 jackor och därtill övriga accessoarer såsom paraply, väskor m.m. En tänkbar tändkälla i detta brandscenario kan vara en kvarglömd pipa, tändare, cigarett eller annat varmt föremål i en jacka. Då garderobens belysning utgörs av lysrör kan även de vara en tänkbar tändkälla, sett som tekniskt fel⁶. I scenariot antas jackorna vara den klart största källan till effektutveckling, branden tros inte heller sprida sig, då inga brännbara material finns i området utanför garderoben. Figur 3.6 visar garderoben sedd från foajén. Vid branden antas jalusierna i garderoben vara öppna. På vardera sidan av garderoben finns dörrar som antas vara stängda under branden.

Det finns inga detektorer i garderoben, men det finns en placerad i taket precis utanför. Det finns heller ingen handbrandsläckare i garderoben, men däremot finns en placerad direkt utanför ena dörren. Klädställen i garderoben är placerade ganska tätt, vilket medför att avståndet mellan jackorna inte är mer än ett par decimeter. Därför antas brandspridning mellan klädställen ske snabbt.



Figur. 3.6 Garderob sett från foajén. Till höger ses rökdetectorn ovanför jalusierna

3.3.1 Brandgasspridning via ventilationssystemet

Ventilationssystemet som förser foajén, korridorer och restaurang är ett eget system. Det finns alltså ingen risk för brandgasspridning till andra brandceller via ventilationssystemet i detta scenario.

⁶ Internetreferens: Räddningstjänsten i siffror

3.4 Scenario 3: Brand i biblioteket

Då det ofta visats mycket folk i biblioteket är det intressant att titta närmre på ett brandscenario i biblioteket. Ålder och kön på personerna som besöker biblioteket varierar stort.

På grund av att det finns väldigt mycket böcker i biblioteket måste brandbelastningen anses som hög. Hög brandbelastning kan ge upphov till kraftiga brandförlopp, vilket har visats bland annat i biblioteksbranden i Linköping.⁷

Planlösningen är relativt öppen med bokhyllor som bildar gångar i lokalen. Bokhyllorna är ca 150cm höga, och det står vanligen böcker ovanpå. Det gör det svårt för personer som är korta att se över hela lokalen. I barnboksavdelningen finns ett stort lekträd av trä (se figur 3.7).



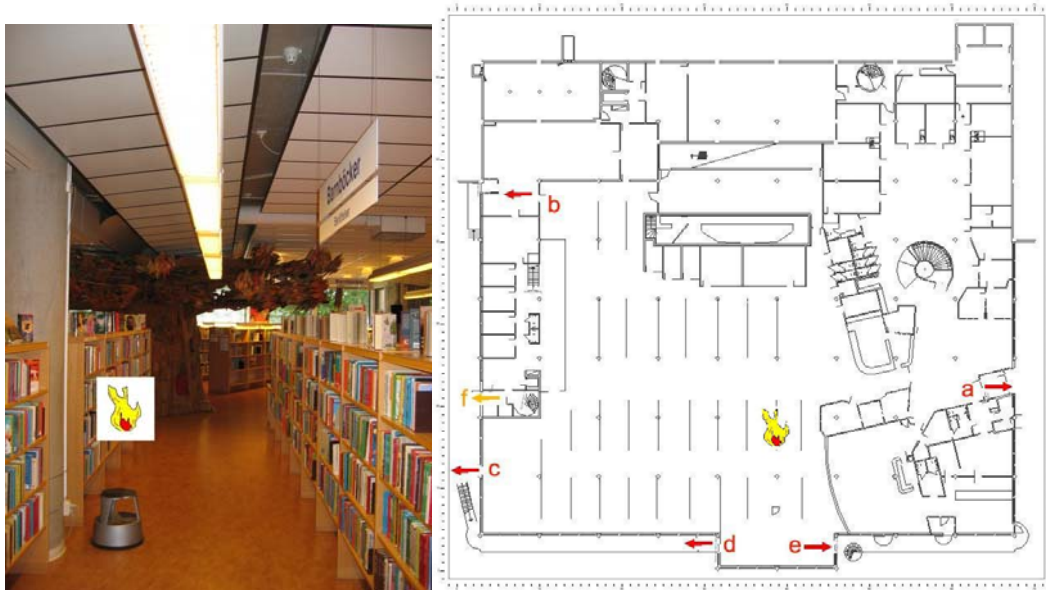
Figur 3.7 Översiktsbild bibliotek och trädet på barnboksavdelningen

Eftersom det vistas mycket folk i lokalen nästan hela tiden är det troligt att en brand skulle upptäckas ganska fort. Ju mer folk i lokalen ju snabbare sker upptäckten.

Troligaste antändningskällan för en brand i biblioteket är anlagd brand eller någon typ av elfel.⁸ Brandens placering har antagits till bokhyllorna på barnboksavdelningen mot utlåningsdisken. Även ”trädet” antas ingå som startföremål i branden (se figur 3.8). Att branden har placerats här beror dels på att det finns mycket brännbart material, samt att en brand på denna plats skulle tvinga folk att utrymma via de utrymningsvägar som finns längst ner i biblioteket.

⁷ Särdaqvist, Stefan (1998)

⁸ Internetreferens: Räddningstjänsten i siffror



Figur 3.8 Brandens placering i Biblioteket

En detalj som har betydelse vid en brand på den här platsen är att en rökdetektor sitter ganska nära branden och man kan anta att detektion skulle ske ganska fort under förutsättning att larmet inte är avaktiverat. Övriga delar av biblioteket saknar detektorer.

3.4.1 Brandgasspridning via ventilationssystemet

Ventilationssystemet i biblioteket förser även bibliotekskontoren på plan 3. Dessa ska vara en egen brandcell. Eftersom inga brandgasspjäll eller andra skydd för spridning av brandgaser finns, är det troligt att brandgasspridning kan ske.

3.5 Effektkurvor⁹

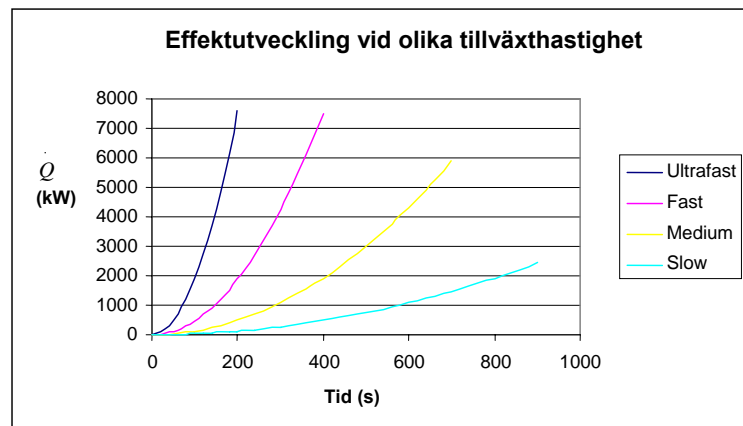
Alfa(α) t^2 är ett förenklat sätt att beskriva tillväxthastigheten på ett brandförlopp. Genom att anta att effekten på branden tillväxer med tiden i kvadrat, beroende på en tillväxtfaktor α , kan olika tillväxter av brandförlopp dimensioneras.

Det slutliga uttrycket för hur branden tillväxer blir:

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

| Tillväxthastighet | α (kW/s ²) |
|-------------------|-------------------------------|
| Ultrafast | 0,19 |
| Fast | 0,047 |
| Medium | 0,012 |
| Slow | 0,003 |

Tabell 3.1 Tillväxthastighet



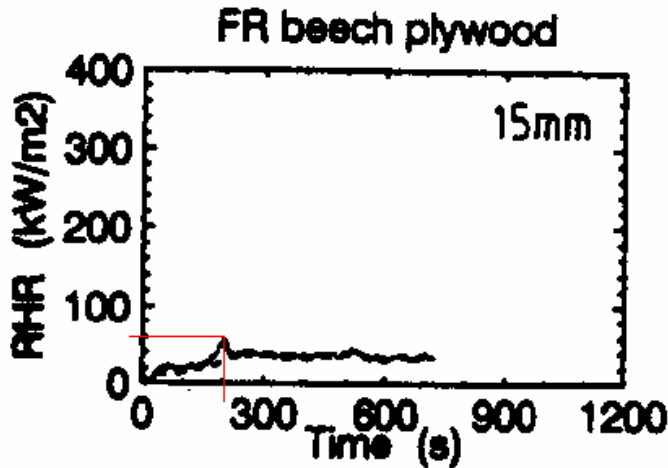
Figur 3.9 Effekttutveckling vid olika tillväxthastighet

De effektkurvor som valts har tagits fram med hjälp av tidigare dokumenterade försök med liknande brandförlopp. Från beräkningar på syre- och bränsletillgång erhålls en maxeffekt på brandförloppet. De tidigare dokumenterade försöken har jämförts med αt^2 -kurvor för att uppskatta en tillväxthastighet som motsvarar de valda brandförloppen.

⁹ Karlsson, B & Quintiere, J.G. (1999)

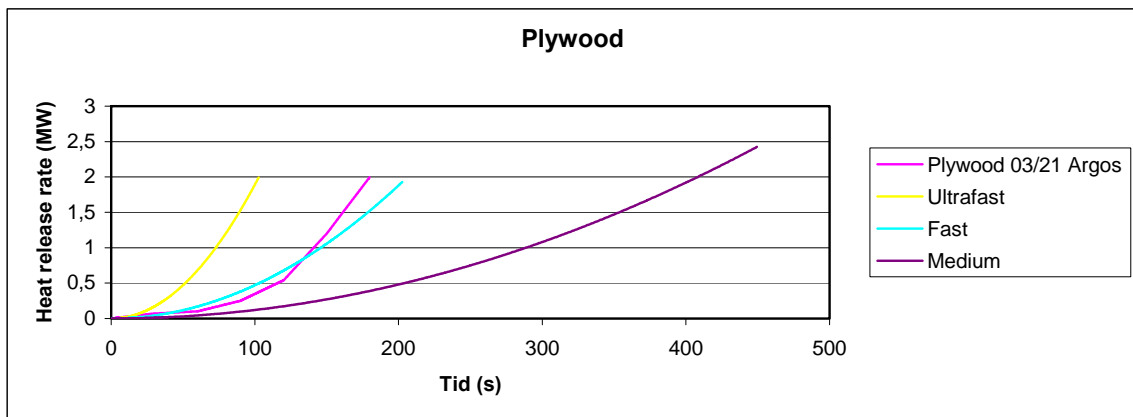
3.5.1 Effektkurva Teatern

Branden väntas starta i de två akustikväggarna bestående av flamskyddad plywood med måtten: höjd ca 6m, bredd ca 9m och tjocklek ca 15mm. Detta ger en area på akustikväggarna på 54m² vardera.



Figur 3.10 Flamskyddad plywood¹⁰

Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut har gjort försök med flamskyddad plywood. Ur effektkurvan (se i figur 3.10) kan en maxeffekt utläsas till 60kW/m² vid 200s och hålls konstant till 700s. Med akustikväggarna skulle det ge en totaleffekt på 60*108 = 6480kW om allt brinner samtidigt. För att få fram tillväxthastigheten till en effektkurva för brandförloppet jämförs en effektkurva från Argos för plywood med α^2 kurvor. Se figur 3.11.

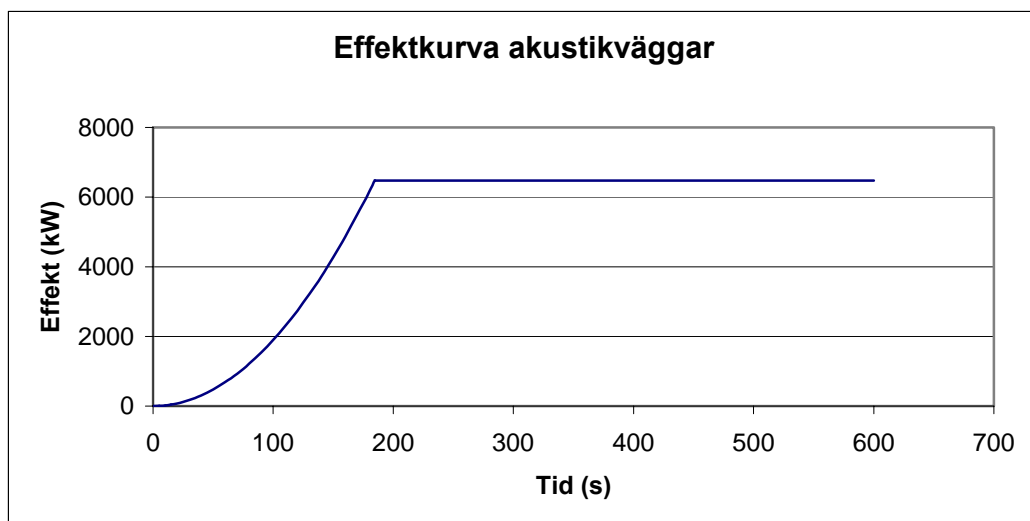


Figur 3.11 Jämförelse effektkurvor

Ur Figur 3.11 kan utläsas att plywood varierar mellan en fast- och en ultrafastkurva. För att vara på säkra sidan när det gäller worst case scenario har en ultrafast tillväxthastighet med $\alpha = 0,19\text{kW/m}^2$ valts.

Effektkurvan som valts att användas i simuleringarna är av typen α^2 med tillväxten enligt ultrafast som växer till 6,5MW och antas sedan brinna med en konstant effekt. Eftersom utrymning bör vara avklarad inom 10 minuter har effektkurvan valts att sluta efter den tiden (se figur 3.12).

¹⁰ Internetreferens: Flamskyddad plywood



Figur 3.12 Effektkurva akustikväggar

Diskussion

Även då effekten 6,5MW och tillväxthastigheten enligt en ultrafastkurva, verkar ganska högt för ett flamskyddat material, används de eftersom detta kan ses som ett worst case scenario. Kontrollberäkning har gjorts som visat att branden inte är syrekontrollerad (se Bilaga F).

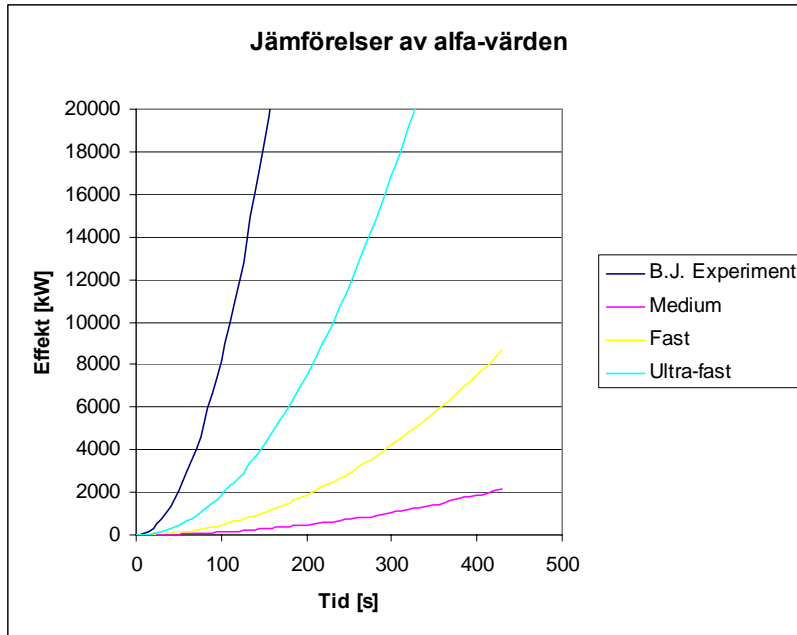
3.5.2 Effektkurva Garderob

Experiment utförda av B. Johansson¹¹ visar att en brand av 100 jackor ger en effektutveckling på 4 MW redan efter 100 sekunder. När sedan resultaten omskalats till en brand med 300 jackor har en maxeffekt på ca 10 MW nåtts efter 110 sekunder. Denna tillväxt omräknat enligt α^2 ger ett α -värde på $0,82\text{kW/s}^2$. Detta är ett extremt häftigt brandförlopp då en ultra fast tillväxt motsvarar ett värde på $0,19\text{kW/s}^2$. En möjlighet till det mycket höga värdet kan vara att Johansson använde sig av en plåtcontainer vid försöket. Detta ger en mycket hög återstrålning och kan ha varit en bidragande orsak. Andra försök har visat att en brand med 100 jackor kan ha en effekt på 3 MW och ha en medium eller fast tillväxthastighet. En brand med fem klädställ med blandade material har en effekt på 6 MW med medium eller fast tillväxthastighet.¹²

Med anledning av att tändkällan inte är riktigt trovärdig i Johanssons försök samt att de andra försöken talar för lägre alfavärden så antas att branden kommer att ha en ultra fast tillväxt (se figur 3.13). Förbrinntiden i detta scenario antas vara noll som ett worst case scenario.

¹¹ Johansson, Björn (2004)

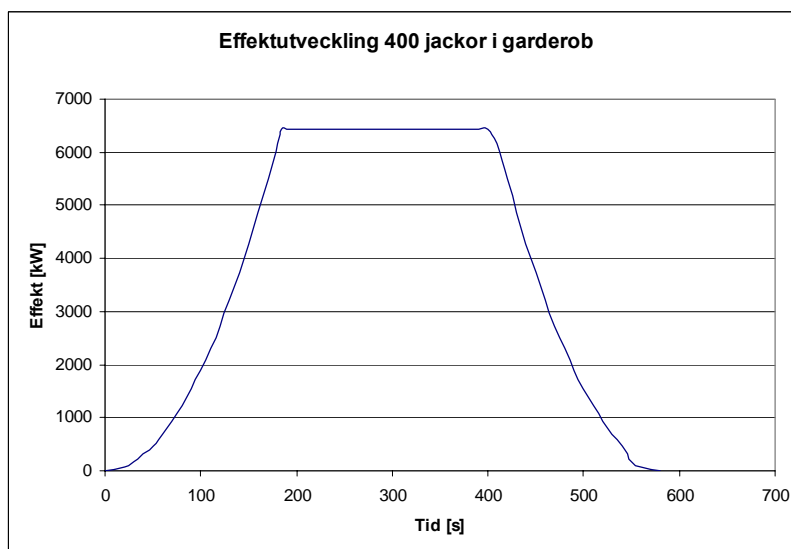
¹² Abrahamsson, Marcus (1998)



Figur 3.13 Jämförelse effektkurvor

Då garderoben innehåller 400 jackor har effektberäkningen valts att utgå från Johanssons försök. Energimängden per jacka som förbränts under försöket har räknats ut. Genom att sedan multiplicera energimängden per jacka med 400 för att få fram energimängden som finns i garderoben. Det är möjligt att energimängden är större än den beräknade, men Johanssons försök varade bara i 10 minuter och effektutvecklingen i slutet var inte så kraftig. För att inte ha ett brandförlopp som pågår i flera timmar, som är ointressant ur personsäkerhetssynpunkt, har det valts att fokusera på de första 10 minuterna. Med energimängden som utgångspunkt har en effektkurva tagits fram.

Garderoben har begränsats med öppningar vilket gör att branden är syrekontrollerad. Enligt beräkningar kommer syretillförseln att begränsa maxeffekten till 6,5 MW. Då denna effekt uppnåtts kommer den att hållas konstant fram till att bränslet börjar ta slut. Branden antas avta på samma sätt som den har tillväxt (se figur 3.14). Antagandet att avtagandet sker lika snabbt som tillväxten grundas på Johanssons försök där effektkurvan avtar mycket snabbt efter att maxeffekten nåtts. För fullständiga beräkningar se Bilaga G.



Figur 3.14 Beräknad effektkurva i garderob

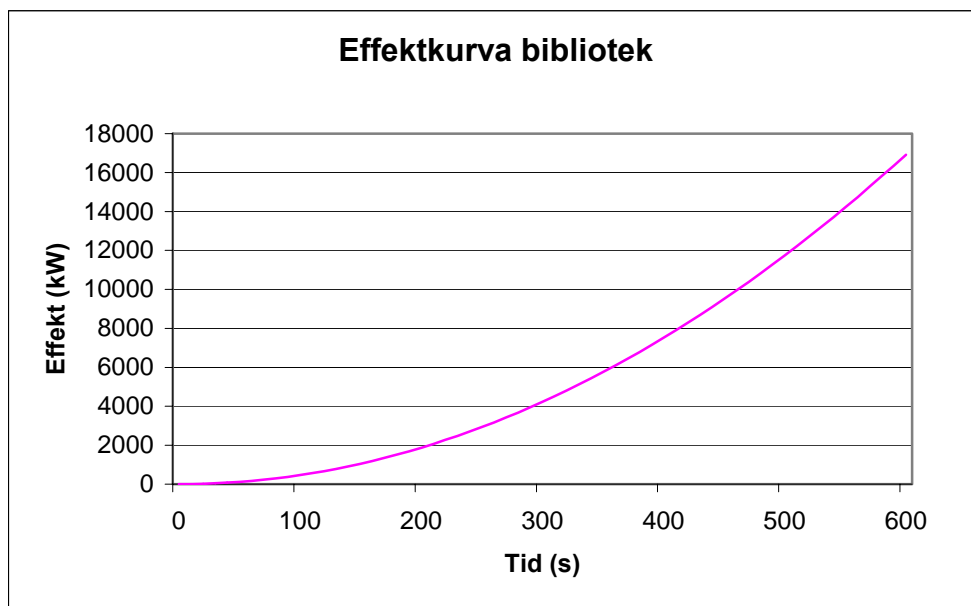
3.5.3 Effektkurva Bibliotek

Eftersom biblioteket är en öppen yta med stor volym är det mycket troligt att branden skulle vara bränslekontrollerad ganska länge, varpå en hög effekt kan uppnås. En kontroll av detta görs i Bilaga H. Som nämnts tidigare är brandbelastningen hög, eftersom det finns mycket brännbart material i form av böcker och bokhyllor av trä. På barnboksavdelningen finns ett stort ”träd” med många grenar som bidrar till den höga brandbelastningen. Stolar och bord finns också i lokalen.

Det är oerhört svårt att uppskatta eller beräkna en maximal effektutveckling för en brand i biblioteket. Det beror på att det är svårt att säga hur många bokhyllor som brinner samtidigt. Eftersom personsäkerheten är det viktiga i denna rapport blir effektutvecklingen efter att byggnaden utrymtes oviktig.

Som dimensionerande brand har en α^2 kurva med fast tillväxt i 10 minuter valts eftersom utrymningen bedöms vara avklarad inom den tiden. Fast tillväxt har valts enligt Abrahamsson¹³, där böcker i bokhylla sägs ha en fast tillväxt. Trä är det material som kan jämföras med en bokhylla med böcker i. Enligt Karlsson¹⁴ tillväxer Wooden Pallets 5 feet high också med en fast tillväxt. Maxeffekten är dock högre, 3970kW/m². Andra tabellvärden för motsvarande trästorlek visar också på en fast tillväxthastighet men med 5220kW/m² i effekt¹⁵. Detta är högre än motsvarande värde för bokhyllorna som har cirka 1200kW/m². Att effekterna är högre för trä än för bokhyllorna har ingen betydelse då tiden är den begränsande faktorn.

Förbrinntiden har antagits vara noll sekunder eftersom det antas att branden är anlagd. Effektkurvan får en effekt på 16,9 MW efter 600 sekunder (se figur 3.15). Detta kan tyckas vara lite högt men efter en kontrollberäkning enligt Bilaga H är det rimligt.



Figur 3.15 Effektkurva bibliotek

¹³ Abrahamsson, Marcus (1998)

¹⁴ Karlsson, B & Quintiere, J.G. (1999)

¹⁵ Abrahamsson, Marcus (1998)

4 Brandförlopp

I detta kapitel ges en beskrivning av kritiska förhållanden, samt simuleringar av brandförlopp.

4.1 Kritiska förhållanden¹⁶

Eftersom det är personsäkerhet som prioriteras i denna rapport måste de icke acceptabla kriterierna vid brandförloppet definieras. Dessa definieras som ”kritiska förhållanden” och innebär att utrymning inte längre är möjlig därefter.

För att få fram den kritiska tidpunkten jämförs det när de kritiska förhållandena inträffar med tiden för utrymningen.

Vid bedömning av kritiska förhållanden bör vissa parametrar beaktas, dessa är:

- Temperatur:** ”Personer under utrymning bör maximalt utsättas för en temperatur på 80°C”.
- Strålning:** ”Personer under utrymning bör maximalt utsättas för en kortvarig strålningsintensitet på 10 kW/m² i några få sekunder eller en sammanlagd strålningsenergi på 60kJ/m² utöver energin från en strålning på 1kW/m². Ett alternativ är att använda maximal strålningsintensitet av 2,5 kW/m²”.
- Brandgaslagrets höjd:** ”Personer skall kunna orientera sig under hela utrymningsförloppet. Som minimum krävs att personer under utrymning inte störs av brandgasskiktet. Detta bör som lägst ligga på höjden 1,6 + 0,1·H meter över golvnivå där människor vistas, där H är rumshöjden”.
- Sikt:** ”Även om i en utrymningssituation den kritiska nivån för brandgaslagrets höjd har uppnåtts, kan utrymningen möjligen fortgå under förutsättning att kriterierna för sikt, toxicitet och temperatur inte uppnåtts. För att utrymningen ska kunna fortgå krävs en siktbarhet på minst 5 meter i brandrummet och 10 meter i utrymningsvägarna”.
- Toxicitet:** ”Under utrymning krävs det också att personer inte utsätts för skadliga doser av giftiga gaser eller för låg syrehalt. Det anses räcka att betrakta CO, CO₂ och O₂. Följande halter anger en miljö där utrymning säkert kan utföras”:

CO < 2000 ppm

CO₂ < 5%

O₂ > 15%

¹⁶ Brandskyddshandboken

4.2 Beräkningsmodeller

CFAST och Argos är datorberäkningsmodeller som använder sig av tvåzonsmodellen. CFAST är utvecklat av Building and fire research, Nist (USA). Dess ursprungliga syfte var att simulera bränder i en- och tvåfamiljshus. Argos är utvecklat av Danish Institute of Fire and Security Technology (DIFT) i samarbete med myndigheter och försäkringsbolag.

4.2.1 Tvåzonsmodellen

Tvåzonsmodellen bygger på att rum delas upp i två zoner, en övre varm brandgasfylld zon och en undre zon med kall brandgasfri luft. Temperaturen antas hålla en enhetlig temperatur i de båda zonerna. Ekvationer för massa och energi löses för de båda zonerna per tidsenhet. Masstransporten mellan zonerna sker via brandgasplymen men inga transporttider beräknas. Dvs. ett brandgaslager skapas i samma ögonblick som branden startar.

Som indata anges bland annat.

Byggnaden:

Rummens utformning inkl öppningar, material på väggar golv och tak, ventilation, detektionssystem, var branden startar, innelufttemperatur, luftfuktighet och lufttryck.

Omgivningen:

Vindförhållande, utelufttemperatur och lufttryck.

Branden:

Bränslets förbränningsegenskaper definieras antingen av en förvald effektkurva som ingår i programmet, eller en egen plottad effektkurva.

4.2.2 Begränsningar¹⁷

En svag brand i ett stort rum behöver inte leda till att en tvåzonsskiktning bildas. Den termiska stigkraften hos brandgaserna kan vara så liten att de inte kan stiga och bilda ett brandgaslager.

En stor brand i ett litet rum bildar inte alltid en tvåzonsskiktning. Turbulens uppstår och brandgaserna blandas i hela rummet så att en enda välblandad zon bildas.

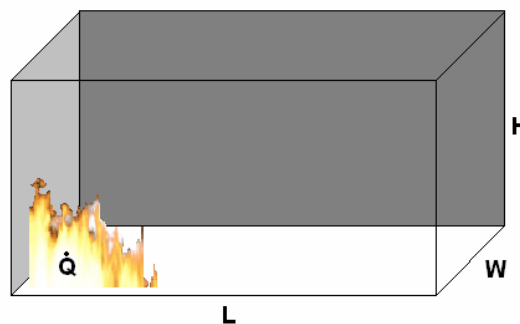
Tvåzonsmodellen fungerar sämre för de plan som ligger över brandplanet vid beräkningar där fler våningsplan är inblandade.

Förhållandet för brandeffekt och rumsgeometrier bör följa dessa begränsningar.¹⁸

$$Q \geq 5 * A * \sqrt{H} \quad (\text{kW})$$

$$A = L * H \quad (\text{m}^2)$$

| | |
|----------------|--------------------------|
| $L/W \leq 3$ | ger acceptabla resultat |
| $L/W > 5$ | ger oacceptabla resultat |
| $L/H \geq 0,2$ | ger acceptabla resultat |
| $L/H \leq 3-4$ | ger acceptabla resultat |
| $L/H > 6$ | ger oacceptabla resultat |
| $L > W$ | ger acceptabla resultat |



Figur 4.1 Begränsningsbeskrivning

¹⁷ Brandskyddshandboken

¹⁸ ISO/WD13390 (1995)

4.2.3 Giltighet

Ett flertal studier har utförts vad gäller tvåzonsmodellernas tillförlitlighet, där uppmätta värden från experiment har jämförts med modellernas resultat, se t.ex. Hägglund (1986), Hägglund et al (2000), Lundin (1997 & 1999), Särndkvist (1993) och Yamana et al (1985). Experimenten utfördes i både stora och små rum, där angränsande utrymmen bestod av olika typer av rum, ofta ett flertal rum. Resultaten av dessa undersökningar visar en relativt hög tillförlitlighet, både vad gäller brandrummet och de närmast angränsande utrymmena inom samma våningsplan¹⁹.

Eftersom simulering av ett brandförlopp bygger på en mängd förenklingar och antaganden, ges resultaten med en viss osäkerhet. Dessa osäkerheter måste behandlas med en känslighetsanalys. Simuleringsmodellen är dock ett bra verktyg för analytisk dimensionering.

Fördelar

- Lätt att lära och använda
- Lätt att vidareutveckla ett påbörjat scenario
- En övergriplig mängd resultat fås
- Korta simuleringstider

Nackdelar

- Tar inte hänsyn till mekanisk påverkan på byggnadsdelar från branden
- Svårt att simulera komplicerade geometrier.
- Endast McCaffreys plymmodell används i simuleringsberäkningarna.

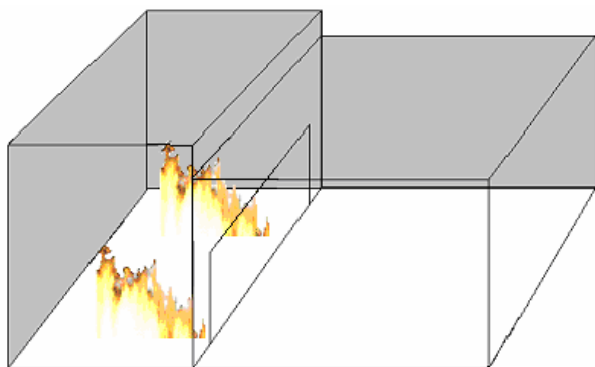
¹⁹ Brandskyddshandboken

4.3 Brandförlopp teater

Utifrån de ritningar på teatern, de observationer som gjordes under besöket och den effektkurva som valts har följande indata används.

4.3.1 Förenkling

Vid beräkning i Argos förenklas Teaterns geometri (se figur 4.2) till två rum med ytorna 21x16,5kvm (salong) och 21x9 kvm (scen) och höjderna 11m respektive 14m. Eftersom Argos inte kan räkna med golvhöjdskillnader mellan rummen har scenens 1m högre nivå tagits bort så rummen är i samma nivå. Även lutningen på golvet i salongen har gjorts plant. Dessa förenklingar gör ingen större skillnad för resultaten eftersom rumshöjderna är de samma.



Figur 4.2 Förenkling i Argos

Rummen är i förbindelse med varandra genom scenöppningen. Vid utrymning öppnas nöd-utgångarna så därför antas dessa dörrar vara öppna vid simulering. Simuleringstiden sattes till 10 minuter. För indata se tabell 4.1.

| | Bredd (m) | Längd (m) | Höjd (m) | Material golv | Material väggar | Material tak |
|---------------------|-----------|-----------|----------|---------------|-----------------|--------------|
| Scen | 21 | 9 | 14 | Trä | Tegel | Betong |
| Salong | 21 | 16,5 | 11 | Betong | Tegel | Betong |
| Scenöppning | 17 | | 5,5 | | | |
| Scendörr f | 0,90 | | 2,10 | | | |
| Scendörr g | 0,90 | | 2,10 | | | |
| Salongdörr a | 1,87 | | 2,10 | | | |
| Salongdörr b | 1,87 | | 2,10 | | | |
| Salongdörr e | 1,20 | | 2,10 | | | |

Tabell 4.1 Indata Argos. För dörrplacering, se figur 5.1

4.3.2 Resultat

Brandgaslagrets höjd ovanför golvet får inte vara mer än $h_{krit} = 1,6 + 0,1 \cdot h_{tak}$ meter, där H är rumshöjden. Detta ger ett krav på 3 meter på scenen och 2,7 meter i salongen. De resultat som simuleringen gav visas i tabell 4.2. För utförligare diagram se Bilaga I. Toxicitet- och siktberäkningar kan läsas i Bilaga N.

| | Scen | Salong | Balkong |
|--|---|---|---|
| Kritisk tid (min:sek) Brandgaslagrets höjd | 04:30 | 04:15 | 03:20 |
| Koncentration CO i brandgaslagret vid kritisk höjd (ppm) | 61 | 57 | 50 |
| Sikt i brandgaslagret vid kritisk höjd (m) | 4,0 | 4,6 | 3,7 |
| Temperatur i brandgaslagret vid kritisk höjd (°C) | 145 | 75 | 55 |
| Kritisk temperatur under brandgaslagret | Kan uppstå efter kritisk tid för brandgaslagrets höjd | Kan uppstå efter kritisk tid för brandgaslagrets höjd | Kan uppstå efter kritisk tid för brandgaslagrets höjd |
| Strålning mot golv 10kW/m ² | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej |
| Strålning mot golv 2,5kW/m ² | 09:00 | Uppnås ej | Uppnås ej |

Tabell 4.2 Tid till kritiska förhållanden

4.3.3 Känslighetsanalys

Det scenario som valts är ett worst case där båda de flamskyddade akustikväggarna fattar eld samtidigt. Eftersom det är det värsta tänkbara brandförlopp som simulerats kan man säga att det egentligen är känslighetsanalysen som har gjorts. Detta gör att en normal scenbrand skulle resultera i en säkrare utrymning. Branden påverkas ej heller av någon ändrad ventilation t.ex. om dörrarna är öppna eller stängda, det finns tillräckligt med syre i dessa lokaler för att en brand av detta exempel skulle kunna verka fritt i 28 minuter (Bilaga F).

4.3.4 Diskussion

Brandgaslagrets tjocklek ökar snabbt i vajervinden på scenen. När brandgaslagret sjunkit ner till scenöppningen börjar salongen rökfyllas. Detta skulle kunna förhindras om brandridån fälls ner. Eventuellt skulle hela brandförloppet kunna hämmas kraftigt eller till och med släckas om sprinklersystemet fungerar och används i tid. Brandgasfläkten skulle förlänga rökfyllnadstiden både i salongen och på scenen, vilket skulle bidra till en längre tid till kritiska förhållanden.

Temperaturen på brandgaslagret kommer inte upp i några höga nivåer eftersom brandgaserna sprider ut sig över en stor volym.

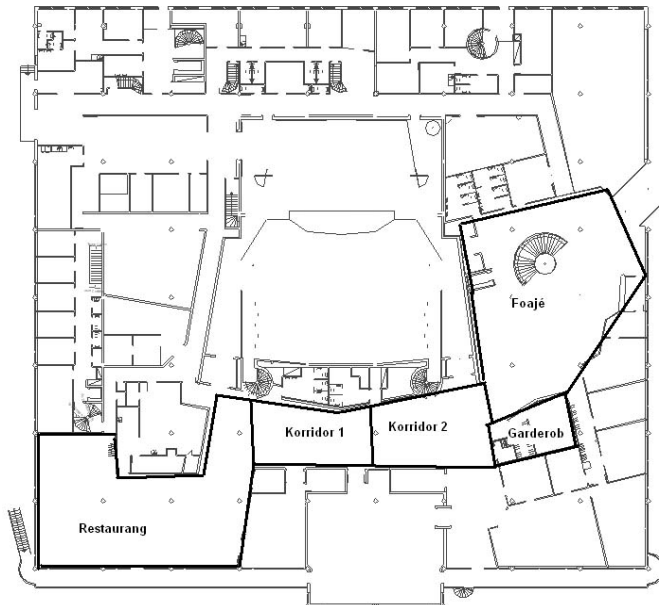
Värmestrålningen från brandgaslagret kommer inte upp i några höga värden eftersom strålningen är proportionell mot brandgastemperaturen upphöjt i 4²⁰.

Eftersom en tvåzonsskiktning sker är det god sikt fram till brandgaslagret understiger kritisk höjd.

²⁰ Drysdale, Dougal (1998)

4.4 Brandförlopp garderob

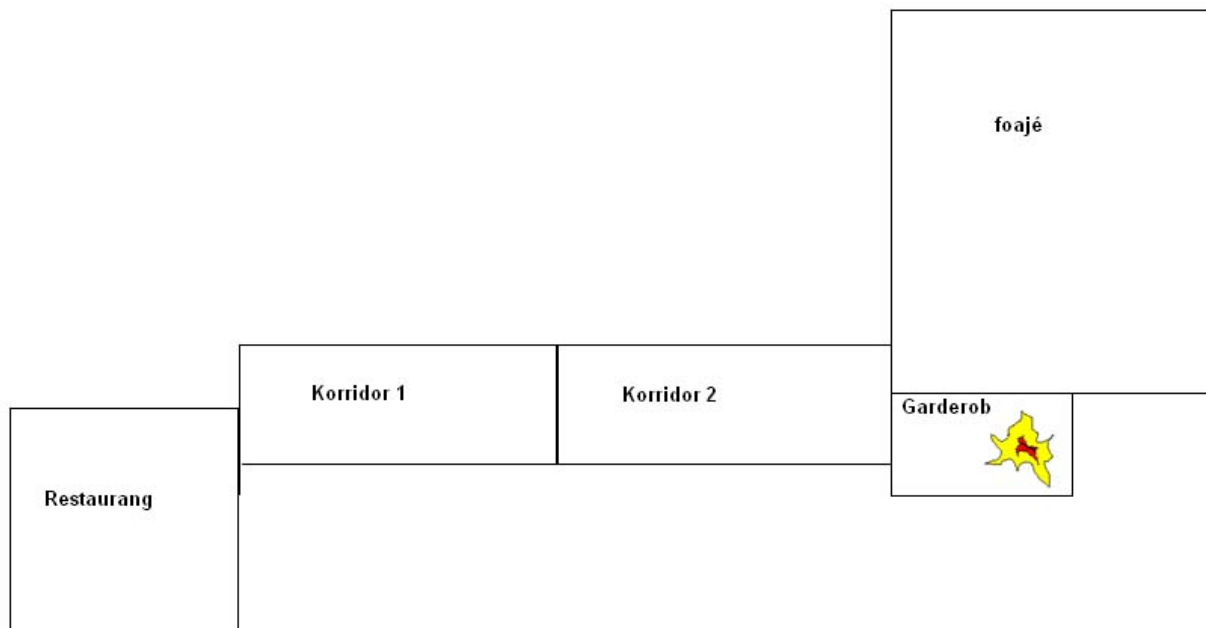
I simuleringen sammanknyts garderoben med foajén bort till restaurangen via korridorerna. Se figur 4.3.



Figur 4.3 Verkligt utseende. Markerade zoner ritas sedan i Argos

4.4.1 Förenkling

Då Argos bara stöder enklare geometrier har rummen approximerats med rektangulära utrymmen med samma yta som i verkligheten. I figur 4.4 kan geometriuppställningen ses. Vid indelningen har hänsyn tagits till kraven på längd/bredd/höjd förhållandena som krävs för att få mer trovärdiga resultat. De mindre korridorerna på vardera sidan av garderoben samt den stora trappan har försumrats, då Argos maximalt klarar fem utrymmen. Detta kan göras då deras enda funktion i simuleringen är att ta upp brandgaser, att ta bort dem hänvisas därmed som ett worst case scenario.



Figur 4.4 Förenkling i Argos. Brandrummet markerat. Ej skalenlig bild.

Höjden av samtliga utrymmen har uppmätts till 3,73 m, undantaget är garderoben där höjden är 2,4 m. Då de olika rummen knutits samman i Argos har öppningarna sänkts med 0,2 m för att få en fördröjning av brandgasspridningen som simuleringen annars inte hade gett. Detta för att ge ett mer verklighetstroget resultat. Tabell 4.3 visar ett urval av indata.

| | Restaurang | Korridor 1 | Korridor 2 | Fojé | Garderob |
|------------------------|------------|------------|------------|--------|----------|
| Höjd till tak (m) | 3,73 | 3,73 | 3,73 | 3,73 | 2,4 |
| Area (m ²) | 270 | 112,5 | 112,5 | 380 | 32,5 |
| Material golv | Betong | Betong | Betong | Betong | Betong |
| Material väggar | Betong | Betong | Betong | Betong | Betong |
| Material tak | Betong | Betong | Betong | Betong | Betong |

Tabell 4.3 Indata Argos

Övrigt

- Dörren i foajén är öppen ut eftersom folk antas utrymma
- Garderoben och foajén är sammanknutna med tre öppna luckor. Två luckor är 90*160 cm och den tredje är 90*180 cm (höjd*bredd) (se Figur 3.6)
- I foajén precis ovanför garderobens öppningar har en rökdetektor placerats.

4.4.2 Resultat

Brandförloppet i garderoben är snabbt och efter ca 1,5 minuter börjar brandgaslagret byggas upp i foajén. Kritiska förhållanden uppstår när brandgaslagrets höjd över golvet ligger på $h_{krit} = 1,6 + 0,1 \cdot h_{tak} = 1,6 + 0,1 \cdot 3,73 = 1,973m \approx 2m$. Ur Bilaga J kan utläsas när denna höjd nås. Toxicitets- och siktberäkningar kan ses i Bilaga N. Resultat redovisas i tabell 4.4.

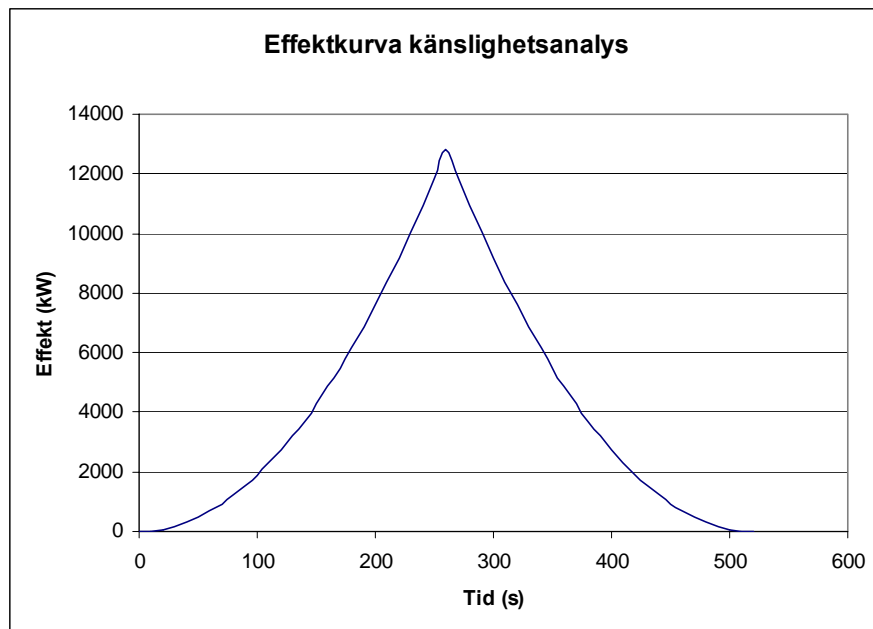
| | Restaurang | Korridor 1 | Korridor 2 | Fojé | Garderob |
|--|---|---|---|---|----------|
| Kritisk tid(min:sek) brandgaslager höjd | 04:30 | 04:40 | 04:50 | 03:40 | Brandrum |
| Koncentration CO i brandgaslagret vid kritisk höjd (ppm) | 3276 | 3372 | 3453 | 2887 | - |
| Sikt i brandgaslagret vid kritisk höjd (m) | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | - |
| Temperatur i brandgaslagret vid kritisk höjd (°C) | 72 | 122 | 169 | 205 | - |
| Kritisk temperatur under brandgaslagret | Kan uppstå efter kritisk tid för brand- gaslagrets höjd | Kan uppstå efter kritisk tid för brand- gaslagrets höjd | Kan uppstå efter kritisk tid för brand- gaslagrets höjd | Kan uppstå efter kritisk tid för brand- gaslagrets höjd | - |
| Strålning 2,5 kW/m ² | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej | 03:40 | - |
| Strålning 10 kW/m ² | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej | - |

Tabell 4.4 Tid till kritiska förhållanden

Även om strålningen kommer över 2,5 kW/m² så är den uthärdlig i så pass lång tid att brandgaslagrets höjd kommer bli ett problem före. Alltså avgörs den kritiska tiden av brandgaslagrets höjd.

4.4.3 Känslighetsanalys

I känslighetsanalysen antas att dörrarna in till garderoben är öppna tillsammans med luckorna. Detta väljs som känslighetsanalys eftersom det ger en högre maxeffekt (se Figur 4.5) och att det är möjligt att dörrarna är öppna. Dörrarna har inga dörrstängare och är 2*0,9 meter. För diagram se Bilaga K.



Figur 4.5 Effektkurva känslighetsanalys garderob

| | Restaurang | Korridor 1 | Korridor 2 | Fojé | Garderob |
|---|---|---|---|---|----------|
| Kritisk tid (min:sek) brandgaslager höjd | 03:50 | 03:40 | 03:35 | 02:50 | Brandrum |
| Koncentration CO i brandgaslagret vid kritisk höjd (ppm) | 2280 | 2173 | 2205 | 1799 | - |
| Sikt i brandgaslagret vid kritisk höjd (m) | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | - |
| Temperatur i brandgaslagret vid kritisk höjd (°C) | 80 | 130 | 190 | 185 | - |
| Kritisk temperatur under brandgaslagret | Kan uppstå efter kritisk tid för brandgaslagrets höjd | Kan uppstå efter kritisk tid för brandgaslagrets höjd | Kan uppstå efter kritisk tid för brandgaslagrets höjd | Kan uppstå efter kritisk tid för brandgaslagrets höjd | - |
| Strålning 2.5 kW/m² | Uppnås ej | Uppnås ej | 03:55 | 03:06 | - |
| Strålning 10 kW/m² | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej | - |

Tabell 4.5 Tid till kritiska förhållanden

Ett snabbare brandförlopp medför att brandgaslagret når kritiska nivåer tidigare, temperaturen i brandgaslagren blir dessutom högre vilket medför högre strålningseffekter. Dock uppnås inte en strålning på 10 kW/m². Denna effektutveckling är inte särskilt trolig t.ex. om man jämför med B. Johanssons experiment. Inte ens denna kurva med sin stora återstrålning ger en sådan hög effekt som över 12 MW.

4.4.4 Diskussion

Om branden i garderoben får tillväxa utan påverkan är de berörda brandförloppen relativt troliga. Känslighetsanalysen förutsätter att båda dörrarna lämnas öppna vilket borde innebära att det finns personal som vaktar garderoben. I och med att det finns en handbrandsläckare strax utanför garderoben är branden lättsläckt om den upptäcks i tid. Välutbildad personal eller annan person med god reaktionsförmåga kan troligen göra att dessa kraftiga bränder undviks.

Koncentrationen av kolmonoxid är svårbedömd. Om kolmonoxiden håller sig i brandgaslagret blir den dock inte ett problem förrän den kritiska höjden nås. Där kan dock koncentrationerna skilja sig mellan de olika rummen eftersom de har olika temperatur, öppningar och avstånd till brandrummet. Detta ger i vilket fall ett riktvärde.

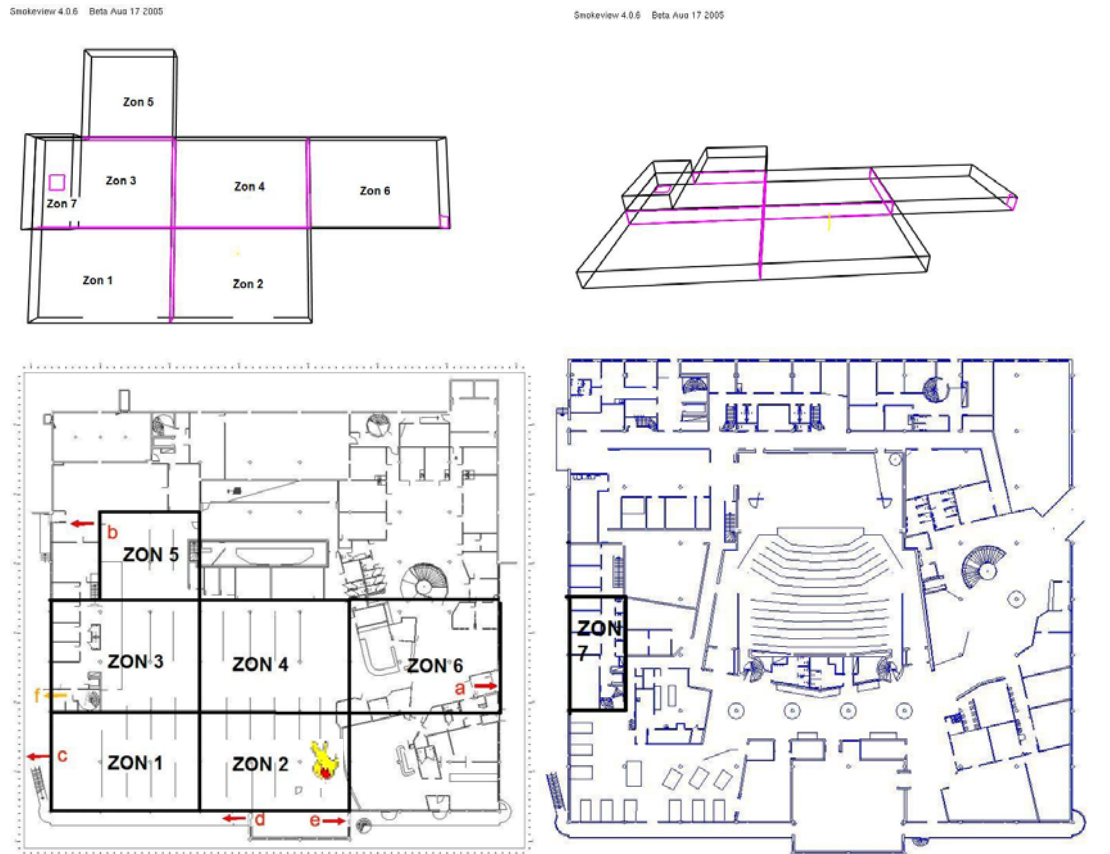
Eftersom en tvåzonsskiktning sker är det god sikt fram till brandgaslagret understiger kritisk höjd.

4.5 Brandförlopp bibliotek

Brandscenariot i biblioteket har simulerats i CFAST. Att simuleringen inte skedde i Argos beror på att Argos inte klarar av att räkna med fler än fem rum. En indelning av lokalen i fler än fem zoner var nödvändig för att täcka in hela biblioteket, utan att hamna utanför de gränsvärden som presenterats i 4.2.2.

4.5.1 Förenkling

Vid simuleringen har ett antal förenklingar gjorts. Stora förenklingar har gjorts av geometrin i lokalen. Eftersom CFAST inte klarar av att hantera annat än rektangulära ytor har lokalen delats in i sju zoner enligt figur 4.6. Branden startar i zon 2.



Figur 4.6 Förenkling i CFAST

Det som har varit svårt att ta hänsyn till är vilken takhöjd som ska användas som indata i simuleringen. Takhöjden är egentligen 3 meter, men ett innertak är monterat på 2,5 meters höjd från golvet. Innertaket är relativt otätt och det är svårt att veta hur mycket av brandgaserna som skulle fastna under innertaket och hur mycket som skulle tränga in mellan taket och innertaket. Som ett värsta scenario har valts att anta att inga brandgaser tränger igenom innertaket. Takhöjden har alltså antagits till att vara 2,5 meter. De vertikala öppningarna mellan de olika zonerna har sänkts med 0,2 meter mot verkligheten för att få en fördröjning av brandgasspridningen som annars inte skulle ske i simuleringen. Öppningshöjden mellan zonerna blir således 2,3 meter.

Simuleringstiden sattes till 10 minuter eftersom utrymning bedöms vara avslutad då. För indata se tabell 4.6.

| | Zon 1 | Zon 2 | Zon 3 | Zon 4 | Zon 5 | Zon 6 | Zon 7 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Golvmaterial | Betong | Betong | Betong | Betong | Betong | Betong | Betong |
| Väggmaterial | Gips | Gips | Gips | Gips | Gips | Gips | Gips |
| Takmaterial | Gips | Gips | Gips | Gips | Gips | Gips | Gips |
| Golvyta (m²) | 294 | 294 | 294 | 294 | 196 | 294 | 98 |
| Takhöjd (m) | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Brandrum | Nej | Ja | Nej | Nej | Nej | Nej | Nej |
| Öppningar ut | Nej | Nej | Nej | Nej | Nej | Ja | Nej |

Tabell 4.6 Indata CFAST

Att inte hela våningsplanet tagits med i simuleringen beror på att det övriga delarna mestadels består av slutna förrådsutrymmen. Café Sjöbris är dock ett undantag, men är och andra sidan en egen brandcell.

4.5.2 Resultat

Resultaten kan ses i tabell 4.7. Eftersom takhöjden är samma i alla zonerna i simuleringen så bli den kritiska höjden också samma för de olika zonerna. Kritisk höjd: $1,6 + 0,1 \cdot 2,5 = 1,8\text{m}$ Brandgasspridning kommer att ske via ventilationens tilluftsystem. En kontroll har gjorts med tumregeln²¹ (se Bilaga E), som visat att brandgasspridning kommer att ske efter ungefär 6,5 minuter. Toxicitets- och siktberäkningar kan ses i Bilaga N och diagram kan ses i Bilaga M.

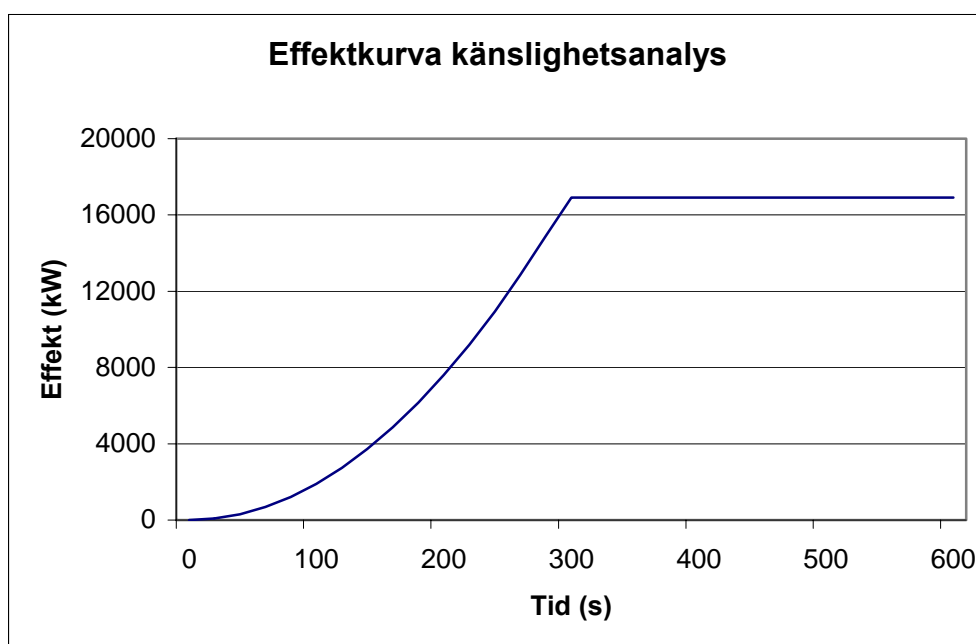
²¹ Jensen, Lars (2002)

| | Zon 1 | Zon 2 | Zon 3 | Zon 4 | Zon 5 | Zon 6 | Zon 7 |
|---|-----------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Kritisk tid (min:sek) brandgaslagrets höjd | 04:50 | 05:00 | 04:30 | 04:50 | 04:30 | 04:30 | 03:50 |
| Koncentration CO i brandgaslagret vid kritisk höjd (ppm) | 49 | 63 | 53 | 49 | 53 | 53 | 47 |
| Sikt i brandgaslagret vid kritisk höjd (m) | 3,6 | 3,5 | 4,2 | 3,6 | 4,2 | 4,2 | 4,7 |
| Temperatur i brandgaslagret vid kritisk höjd (°C) | 127 | 307 | 73 | 146 | 43 | 62 | 25 |
| Kritisk temperatur under brandgaslagret | Uppnås ej | 10:00 | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej |
| Strålning mot golv 10kW/m2 | Uppnås ej | 09:30 | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej |
| Strålning mot golv 2,5kW/m2 | 10:00 | 06:20 | Uppnås ej | 09:30 | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej |

Tabell 4.7 Tid till kritiska förhållanden

4.5.3 Känslighetsanalys

Som känslighetsanalys till brandscenariot i biblioteket har valts att ändra brandens tillväxthastighet. Istället för en fast tillväxt har en ultrafast tillväxt provats i simuleringen. En orsak till att tillväxten skulle kunna bli så stor är om det blir en anlagd brand som antänds med mycket brännbar vätska. Maxeffekten har satts till samma maxeffekt som fastkurvan kom upp i efter 600s. Det betyder att branden växer med ultrafast tills den når 16,9MW vid ungefär 300s. Därefter är effekten konstant 16,9 MW. Effektkurvan blir då enligt Figur 4.7.



Figur 4.7 Effektkurva för känslighetsanalys bibliotek

Resultaten av känslighetsanalysen blir följande:

| | Zon 1 | Zon 2 | Zon 3 | Zon 4 | Zon 5 | Zon 6 | Zon 7 |
|---|-----------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Kritisk tid (min:sek) | 03:10 | 03:00 | 03:00 | 03:10 | 03:10 | 03:00 | 02:50 |
| Brandgaslagrets höjd | | | | | | | |
| Koncentration CO i brandgaslagret vid kritisk höjd (ppm) | 77 | 711 | 711 | 77 | 711 | 711 | 666 |
| Sikt i brandgaslagret vid kritisk höjd (m) | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,0 | 3,0 | 3,1 | 3,3 |
| Temperatur i brandgaslagret vid kritisk höjd (°C) | 168 | 343 | 97 | 196 | 61 | 84 | 31 |
| Kritisk temperatur under kritisk höjd | Uppnås ej | 07:10 | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej |
| Strålning mot golv 10kW/m² | Uppnås ej | 05:20 | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej |
| Strålning mot golv 2,5kW/m² | 06:20 | 03:30 | Uppnås ej | 05:30 | Uppnås ej | Uppnås ej | Uppnås ej |

Tabell 4.8 Tid till kritiska förhållanden

4.5.4 Diskussion

Eftersom det blir en markant temperaturskillnad mellan övre och undre skiktet sker en två-zonsskiktning. Därför har inga siktberäkningar för det undre skiktet utförts. Utifrån detta kan slutsatsen dras att det blir höjden på brandgaslagret som blir det kritiska förhållande som först inträffar. Att brandgaslagret är farligt när det når den kritiska höjden visas av att sikten är dålig, samt att temperaturen i de flesta zoner passerat kritisk nivå. Tiden till att kritisk höjd uppnås är ganska lika i de olika zonerna. Det är i princip bara zon 7 som når kritiska nivåer snabbare än övriga zoner. I känslighetsanalysen blir de kritiska tiderna mer lika för de olika zonerna. Där blir temperaturskillnaden mellan de olika skikten större i samtliga zoner, och även där bildas en tvåzonsskiktning.

4.6 Handberäkningar

Handberäkningar har gjorts för att räkna ut tiden till att brandgaserna sjunker till kritiska nivåer. Beräkningarna är utförda med hjälp av Yamana-Tanakas rökfyllnadsmodell (se Bilaga N). Endast teatern har beräknats med denna modell eftersom takhöjderna i de andra scenarierna är för låga jämfört med effektutvecklingen. På grund av detta kan inte några bra resultat för de övriga scenarierna erhållas.

Den största skillnaden mellan handberäkningarna och simuleringarna blev för balkongen, där tiden till kritiska nivåer blev ca 30 sekunder snabbare med handberäkningarna. En så liten tidsskillnad visar att resultaten för simuleringen verkar stämma bra. Resultaten blev enligt tabell 4.9.

| | Balkong | Salong | Scen |
|---|----------------|---------------|-------------|
| Handberäknad kritisk tid (min:sek) | 02:50 | 04:25 | 04:25 |
| Kritiskt tid Argos (min:sek) | 03:20 | 04:15 | 04:30 |

Tabell 4.9 Kritiska tider vid handberäkning

5 Utrymningsförlopp

Nedan följer en allmän beskrivning av tillvägagångssätt vid utrymning och utrymningsförloppen.

5.1 Allmänt om utrymning²²

”Byggnaden skall utformas så att tillfredställande utrymning kan ske vid brand. Risken för att personer skadas av nedfallande byggnadsdelar eller genom fall eller trängsel, samt risken för att personer blir instängda i nischer eller återvändsgångar skall särskilt beaktas.” (BBR 5:3)

Råd: ”Tillfredställande utrymning innebär antingen en fullständig utrymning av samtliga personer som befinner sig i en byggnad eller – vilket har aktualitet för t.ex. vårdanläggningar eller mycket höga byggnader – en förflyttning till en säker flyktplats inom den av brand direkt berörda delen. I det senare fallet måste skydd mot värme och toxiska gaser kunna erhållas under ett fullständigt brandförlopp eller under minst den tid, som ogynnsammaste fall fodras för att en brand vid aktuella förutsättningar skall vara helt släckt”.

Utrymningslarm samlingslokaler

”Samlingslokaler skall förses med utrymningslarm som aktiveras automatiskt eller från bemannad plats vid brandindikation” (BBR 5:3711).

”I byggnader eller delar av byggnader där utrymningslarm eller högtalaranläggning avsett för utrymningsmeddelande erfordras, skall berörda personer kunna nås med information om lämpliga åtgärder vid utrymning. Vid strömavbrott skall anläggningens funktion kunna upprätthållas under minst 60 min” (BBR 5:3542).

Nödbelysning

”Samlingslokaler skall vara försedda med allmänbelysning och nödbelysning. Trappsteg i samlingslokaler skall förses med nödbelysning. Den belysning som behövs i samlingslokaler vid utrymning skall kunna tändas från plats i lokalen” (BBR 5:3712).

Gångavstånd

”Gångavstånd inom en brandcell till närmaste utrymningsväg skall inte vara längre än att utrymning ur brandcellen kan ske innan kritiska förhållanden uppstår” (BBR 5:331).

Personers uppförande vid utrymning²³

Personer uppför sig olika vid uppkomst av brand. Män tenderar att misstolka signaler om fara och väljer ofta att försöka släcka branden istället för att utrymma. Kvinnor tenderar att varna och hjälpa andra innan utrymning påbörjas. Vilken roll personerna har är av stor betydelse. Som exempel kan tas ett klassrum med pågående undervisning när utrymningslarmet går. Eleverna förlitar sig på att läraren gör rätt och påbörjar inte utrymning innan läraren gör det eller säga till att de ska gå ut, eftersom läraren är ”ledaren” i klassen. Personer tenderar även att utrymma till en bekant miljö, oftast samma väg de kom in igenom. Om personerna skulle välja en annan utrymningsväg vet de inte vad som finns bakom dörrarna och inte helt säkra på att det är en väg till säkerhet.

²² Boverkets byggregler

²³ Föreläsning av Daniel Nilsson

5.1.1 Utrymningsförloppet²⁴

Den dimensionerande tiden vid utrymning delas upp i tre faser som var för sig kräver en viss tid.

- Varseblivningstid
- Besluts- och reaktionstid
- Förflyttningstid

Summan av de tre tiderna ger den totala utrymningstiden. Om utrymningstiden är mindre än tiden till kritiska förhållanden uppstår det som en säker utrymning. Detta ger uttrycket:

$$t_{\text{krit.förh.}} > t_{\text{varseblivning}} + t_{\text{beslut+reaktion}} + t_{\text{förflyttning}}$$

Varseblivningstid

Varseblivningstiden är den tid som förflyter tills en person upptäcker att något onormalt sker, t.ex. en brand eller ett utrymningslarm som aktiveras. Tiden varierar beroende på om personen ser branden eller inte eller om det finns automatiskt brandlarm med tillkopplat utrymningslarm. När det inte finns något automatiskt brandlarm som indikerar på att en brand har utbrutit är det svårt att uppskatta varseblivningstiden. Varseblivningstiden varierar från några sekunder upp till flera minuter beroende på de förutsättningar som är.

Besluts- och reaktionstid

Besluts- och reaktionstiden är den tid som förflyter tills personen förstår att det brinner, lyssna på utrymningslarmet och bestämma sig vad den ska göra, t.ex. hjälpa andra, bekämpa branden m.m. All den tid som förflyter från varseblivningstiden tills personen börjar utrymma räknas in i besluts- och reaktionstiden. En åtgärd för att få personen i fråga att fatta rätt beslut är att installera ett utrymningslarm som tydligt indikerar på att utrymning skall påbörjas, t.ex. genom talat meddelande. Även väl markerade utrymningsvägar leder till minskad besluts- och reaktionstid.

Förflyttningstid

Förflyttningstiden är tiden det tar för personerna att förflytta sig ut ur lokalen. Denna tid varierar beroende på hur personerna är fördelade i lokalen, personernas egenskaper som hjälpbehov, förmåga att flytta sig m.m. Gånghastigheter hos personerna varierar även beroende på belysningsnivå och andra hjälpmedel som t.ex. ledande utrymningsskyltar.

5.2 Beräkningsmodell

För beskrivning av utrymningsförloppet används som sagt summan av varseblivnings-, besluts-, reaktions- och förflyttningstiderna. Förflyttningstiden beräknas i utrymningsprogrammet Simulex (version 11.1.3). Detta gör att man enklare och överskådligare skall kunna se om de kritiska utrymningsförhållandena är rimliga. Det går i detta program enkelt att se var eventuella flaskhalsar och liknande hinder kan förekomma.

I programmet Simulex visas utrymningsprocessen i tre dimensioner på de ritningar som användaren lagt in. I programmet läses CAD-ritningar in som bör vara förredigerade med eventuellt möblemang och utgångar för att få ett så verkligt utrymningsförlopp som möjligt.

²⁴ Utrymningsdimensionering (2004)

Tre typer av fönster visas, ett för varje våningsplan, fönster för trappor och ett informationsfönster med allmän data. Personer, representerade av symboler, kan röra sig mot förbestämda utgångar alternativt den närmaste. Deras gånghastighet, varseblivningstid, beslut/reaktionstid m.m. kan ställas in för att matcha olika typer av person, ålder, rörelsehinder eller liknande personliga kriterier.

När simuleringen är klar visas den totala förflyttningstiden och en återuppspelning är även möjlig för att stegvis kunna finna eventuella hinder.

Fördelar

- Utrymningstider visas överskådligt.
- En grafisk bild över utrymningsförloppet gör att man får en lätt överskådlig blick av eventuella problem i utrymningen.
- Förinställda personegenskaper kan väljas för att matcha individer eller grupperns olika egenskaper.
- Inställningar kan göras för varje individ eller grupps val av utgång

Nackdelar/begränsningar

- Vid köbildning kan inte personerna välja alternativa utrymningsvägar.
- Personer kan fastna i utrymnen.
- Alternativa rum eller orimliga vägval måste blockeras på ritningen för personer väljer alltid kortaste vägvalet.

5.3 Indata i Simulex

Vid simuleringar i Simulex beräknas transporttiden för personerna som skall utrymmas. För att få en total utrymningstid måste det ansättas en indata för varje person med önskade tider för varseblivning, beslut och reaktion.

5.3.1 Indata varseblivnings-, reaktions- och beslutstid

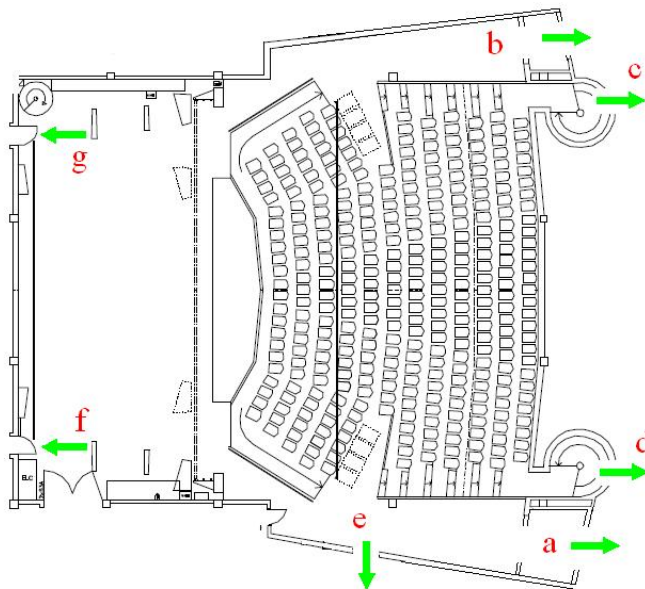
Dessa tider slås i Simulex samman till en tid och en \pm tid med motivering att detta är en oerhört varierande faktor. Det är allmänna lokaler som är öppna och majoriteten av dom har inga larmdon. Detektion (varseblivningstiden) i teatern kan exempelvis sättas till 0 sekunder p.g.a. att alla personer sitter med uppmärksamheten riktad mot scenen. Där finns även en brandansvarig där som kan meddela publiken om utrymning. Helt andra regler gäller vid biblioteket där det finns personalrum utan larmdon i flera våningar och utan några former av larmmeddelanden. Motivering till dessa val kommer därför beskrivas i varje scenario för sig.

5.3.2 Indata personkategori

Motala folkets hus är en allmän byggnad med en stor variation av personer. Därför har det i simuleringarna använts kategorierna barn, pensionärer, män, kvinnor och rörelsehindrade.

5.4 Utrymning teater

Teatern är en egen brandcell med en egen ventilation så under dessa förutsättningar beräknas i första hand utrymningen genom att personerna skall ha lämnat lokalen innan kritiska förhållanden uppstått.



Figur 5.1 nödutgångar i teatern

| Utrymningsväg | a | b | c | d | e | f | g |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Typ | Dörr | Dörr | Dörr | Dörr | Dörr | Dörr | Dörr |
| Mått (b x h) (m) | 1,87x2,10 | 1,87x2,10 | 1,20x2,10 | 0,90x2,10 | 0,90x2,10 | 0,90x2,10 | 0,90x2,10 |

Tabell 5.1 Beskrivning av utrymningsvägar

Lokalen har (se figur 5.1 och Tabell 5.1) 5 nödutgångar i salongen, två huvudentréer (utgång a och b), en i varje trapphus (c och d), en i mitten av den västra delen (utgång e). Sedan finns det även nödutgångar på scenen (utgångarna f och g) men dessa förutsätts att bara personalen på scen kommer att använda. Simuleringen har utförts under förutsättning att teatern är fullsatt och någon form av aktivitet pågår på scenen. Detta ger ett totalt antal åskådare till 399 personer varav 8 stycken är rullstolsbundna. Åskådarna är procentuellt fördelade om 35% män, 40% kvinnor, 15% pensionärer och 10% barn och slumpmässigt utplacerade.

Då det antas att alla i publiken har sin uppmärksamhet riktad mot scenen vid brandens uppkomst ansätts detektionstiden till 0 sekunder.

Enligt rapporten *Utrymningsdimensionering*²⁵, föreslås en besluts och reaktionstid i offentliga miljöer, där personer ser branden, till 1 minut vilket kan vara väl lämpat till detta scenario. Det har här tillagts att den brandansvarige på scenen kommer att meddela publiken efter 1 minut att dom skall lämna lokalen så att eventuell tvekan om utrymning kan tas bort. Eftersom personerna ändå kommer att reagera olika vid händelsen antas tiden i Simulex till 70 ± 20 sekunder.

²⁵ Utrymningsdimensionering (2004)

För ensembler och övrig personal på scen antas även här detektionstiden till 0 sekunder. Men en lite kortare besluts- och reaktionstid 45 ± 10 sekunder eftersom de står i stort sätt mitt i branden. Personerna på scenen antas i båda följande scenarion ta sig ut genom de båda nöd-utgångarna på scenen. Endast den brandansvarige står kvar på scenen strax över minuten för att meddela publiken att utrymning skall ske.

5.4.1 Utrymningsscenarier

- Utrymning 1 (Dimensionerande scenario)

Alla personer rör sig till närmaste tillgängliga utgång. Personplacering enligt Bilaga O.

- Utrymning 2 (Känslighetsanalys)

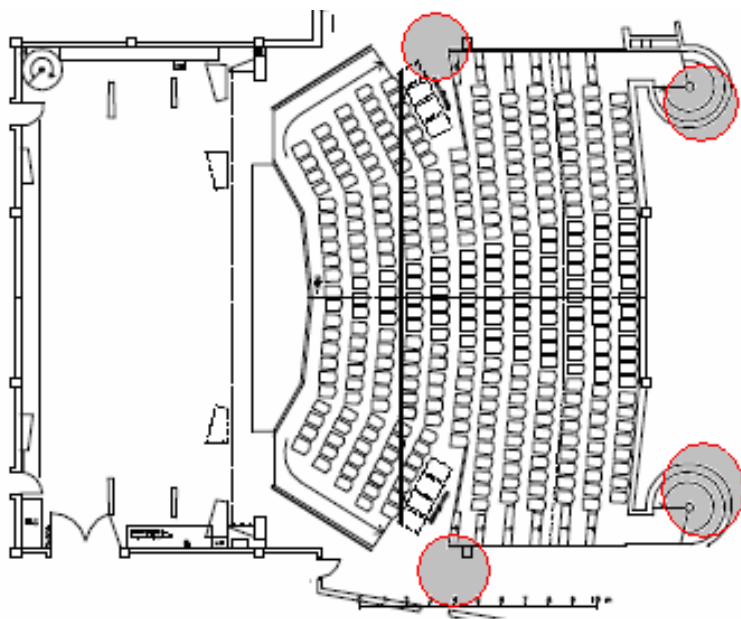
Alla personerna vill komma ut genom den väg de kom in d.v.s. genom huvudentréerna. Därför sätts det i detta scenario att 50% av personerna går ut genom entré a och övriga 50% går ut genom entré b. Personplacering enligt Bilaga O.

5.4.2 Resultat

Simuleringarna visar att Utrymning 2 ger längst total utrymningstid medan utrymningen från balkongen inte skiljer sig så mycket(se tabell 5.2). Den totala utrymningstiden påverkas av köbildning som främst kommer att ske vid trapporna från balkongen men även vid anslutningsvägen till huvud in-/utgångarna (markerade i figur 5.2). Köerna kommer att starta efter ca 1 minut och 30 sekunder vid trapporna, och efter ca 1 minut och 20 sekunder vid anslutningsvägarna i båda scenarierna (se figur 5.2). Men eftersom de leder till den enda utrymningsvägen i Utrymning 2 resulterar detta till den avgörande tidsökningen.

| Utrymning | Fullständig utrymning scen (min:sek) | Fullständig utrymning balkong (min:sek) | Fullständig utrymning ur lokalen (min:sek) |
|-----------|--------------------------------------|---|--|
| 1 | 01:13 | 02:04 | 03:29 |
| 2 | 01:13 | 02:10 | 04:11 |

Tabell 5.2 Tider för utrymning



Figur 5.2 Köbildningspunkter i teatern markerat i grått

5.4.3 Diskussion

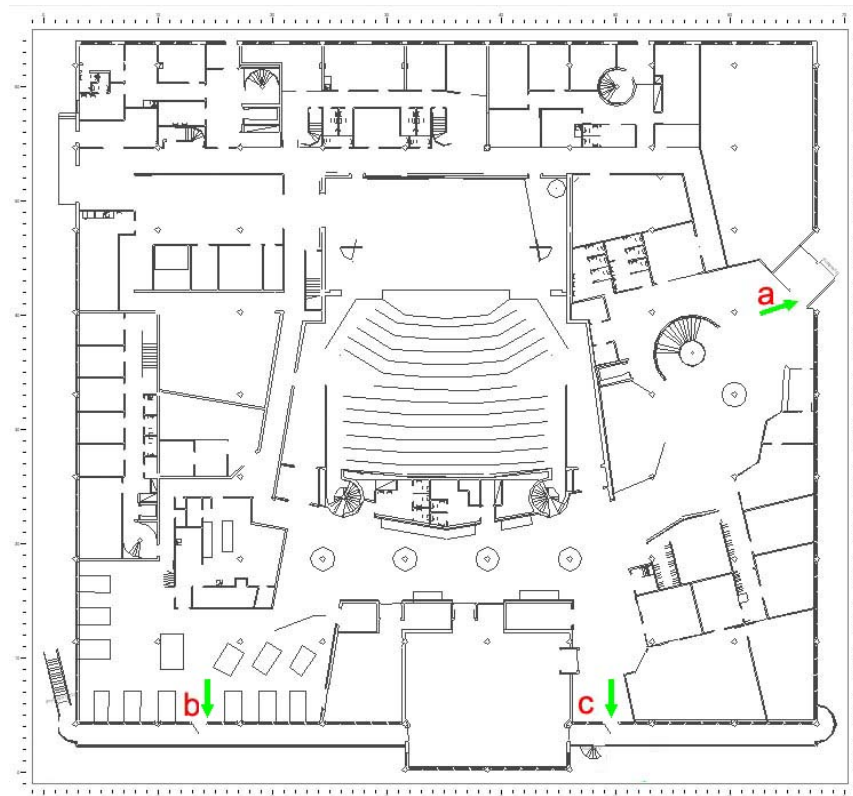
Det som påverkar utrymningstiden är anslutningsvägen till huvudin- och utgångarna (markerade i figur 5.2). Oavsett om det är en utrymning där alla nödutgångar används eller där endast huvudentréerna används bildas det köer vid dessa punkter. Skillnaden är dock att när alla utgångar används så kan alternativa vägar väljas och det fylls inte på med lika mycket folk från balkongen. Alltså blir inte köbildningen lika extrem här.

Något som skulle kunna underlätta för en stressad brandansvarig skulle vara någon form av manuellt aktiverat akustiskt larmdon eller talande meddelande vid händelse av störning på scenen.

5.5 Utrymning garderobsbrand

En brand i en full garderob påverkar troligen inte de som sitter inne i teatern, eftersom det är en egen brandcell och har utrymningsvägar till andra brandceller. Personerna i teatern behöver alltså inte utrymma via foajén. Därför antas att en brand i garderoben startar under en paus i teatern och samtliga besökare, ca. 400 personer, befinner sig då i foajén, restaurangen och korridoren mellan dem. Branden antas få verka utan släckförsök och tillväxer då enligt vald effektkurva (avsnitt 3.5.2).

Utrymnet har utöver entrén (a på Figur 5.3 samt Tabell 5.3.) två nödutgångar (b och c). Nödutgångarna från byggnaden öppnas utåt, för att hindra att de skall slå mot väggen utanför har de förhindrats att öppnas mer än på bilden. Detta gör att bredden på loftgången utanför blir betydligt mindre. I Simulex har utgångarna satts längst upp i vardera trappa. På ritningen har även satts in möblemang såsom bord, bänkar och skärmar. Till vänster om dörren (b) i restaurangen finns ytterliggare en nödutgång märkt med skylt, dock är ett av borden placerat så att öppning inte är möjlig utan att flytta borden (se figur 5.4).



Figur 5.3 Foajéns utseende inklusive möblemang

| Utrymningsväg | a | b | c |
|------------------|-----------|-----------|-----------|
| Typ | Dörr | Dörr | Dörr |
| Mått (b x h) (m) | 1,80x2,10 | 1,00x2,10 | 1,00x2,10 |

Tabell 5.3 Beskrivning av utrymningsvägar



Figur 5.4 Blockerad nödutgång

5.5.1 Utrymningsscenarier

Som dimensionerande scenario har antagits att samtliga personer från en fullsatt föreställning minglar i foajén. Sammanlagt 402 personer har lagts in i Simulex. Då personegenskaperna hos besökarna kan variera väldigt mycket beroende på vilken sorts föreställning det är, har personerna satts in som medelvärde (All median). Varesblivnings-, reaktions- och beslutstiden har satts till 90 sekunder \pm 30 sekunder. Detta har valts eftersom rökdetektorn utanför garderoben utlöser efter ungefär 60 sekunder, enligt simuleringen i Argos. Dock borde de som är nära garderoben uppmärksamma branden snabbare, men då de är de första som ser branden kommer deras beslutstid bli längre. De personer som är längre ifrån branden blir mer beroende av utrymningslarmet, men deras beslutstid antas kortare i och med att personer då redan börjat utrymma. Dessa antas alltså göra som resten och efter en kortare tid röra sig mot utgångarna. Sammanlagt har två scenarier valts med olika utgångsalternativ.

- Utrymning 1 (Dimensionerande scenario)

I och med tydliga skyltar och det faktum att man tydligt ser att utgångarna leder direkt till det fria antas samtliga röra sig till närmast möjliga utgång. Personplacering enligt Bilaga P.

- Utrymning 2 (Känslighetsanalys)

Personer antas vilja gå ut samma väg de kom in, fördelningen görs så att 75 %²⁶ går ut genom huvudentré (utgång a) och resten går genom den utgång de är närmast. Personplacering enligt Bilaga P.

- Utrymning 3 (Känslighetsanalys)

Som ytterligare en känslighetsanalys har ett worst case antagande gjorts, att en teaterföreställning pågår samtidigt som att konferenssalarna är fyllda med folk. Sammanlagt är det runt 170 personer utöver de 400 i foajén. Se Bilaga P för grunduppställning och figur 5.5 för köbildning.

²⁶ Enkätundersökning (Bilaga T)

- Utrymning 4 (Känslighetsanalys)

Samma antaganden som Utrymning 3 men med skillnaden att 75% utrymmer genom huvudentrén.

I bilaga J kan diagram över strålningsnivåerna på olika avstånd från elden ses. Enligt dessa utläses att det är möjligt att springa förbi garderoben utan att utsättas för kritiska nivåer.

5.5.2 Resultat

I Utrymning 1 och 2 är utrymningstiderna ganska lika. Fenomenet med köbildning sker i båda scenarierna men på olika platser, vid nödutgångarna (b,c) respektive entrén (a). Det är tydligt att nödutgångarnas begränsade öppningar skapar köer (se figur 5.5).



Figur 5.5 Trängsel vid nödutgångar pga. dörrarnas begränsade öppningsmöjligheter

Fortfarande är utrymningstiderna, med tanke på personantalet, relativt korta. Tiderna kan ses i tabell 5.4.

| Utrymning | Fullständig utrymning (min:sek) |
|-----------|---------------------------------|
| 1 | 03:16 |
| 2 | 03:26 |
| 3 | 04:04 |
| 4 | 04:43 |

Tabell 5.4 Tider för utrymning

5.5.3 Diskussion

Troligen skulle inte så många personer stanna kvar inne i foajén utan många gå ut för att röka eller hämta frisk luft. Då personer tenderar att reagera vaket är det inte helt omöjligt att någon släcker elden med hjälp av handbrandsläckare som finns i restaurangen och mitt i korridoren. Dock har simuleringen gjorts med ett worst case tänkande, vilket ändå har gett relativt korta utrymningstider. Vid Utrymning 3 uppstår ungefär samma fenomen som med Utrymning 2, trängsel runt nödutgångarna. Utrymningstiden blir då istället ungefär fyra minuter. Konferensdeltagarna har då satts att utrymma genom sina nödutgångar b och c. Då majoriteten av dem satts att utrymma genom huvudentrén (Utrymning 4) förlängs utrymningstiden till ungefär fyra och en halv minut. Detta ses dock som ett worst case antagande i och med att det bör förlänga utrymningstiden. Alltså är det inte helt orimligt att en utrymning kan ta uppemot fem minuter.

Vid utrymning genom nödutgångarna blockerar dörren en stor del av balustraden utanpå huset, därför har även en körning gjorts då dessa tagits bort. I verkligheten motsvaras det av att de kan öppnas fullt och då stå parallellt med husväggen. Simuleringarna visar dock en marginell förkortning med samma personuppställning som i Utrymning 1 och 2. I scenariot med fulla konferenssalar är även där utrymningstiderna ungefär desamma. Slutsatsen dras att i och med trängseln vid dörrarna så är snarare dörrarnas bredd den begränsande faktorn. Genom enkla handberäkningar visas att om nödutgångarna breddas med 50% ökar personflödet genom nödutgången med 50% (beräkningar i Bilaga N).

5.6 Utrymning bibliotek

Biblioteket har sammanlagt fyra nödutgångar, b till e. Därpå tillkommer den vanliga entrén, a. Utgång f är personalentré och kan inte nås av biblioteksbesökare. Se figur 5.7 för bildförklaring. Fönsterutgångarna (utgång d och e) är relativt små samt utrymmet utanför dem begränsas av en spiraltrappa (utanför e) och då markiserna är nedfällda begränsas d av markisens stag. Detta tas dock inte hänsyn till i simuleringen. Utanför utgång c är det relativt tätt med buskar, dessa tas dock inte heller hänsyn till vid utrymningen. Se figur 5.6 nedan.

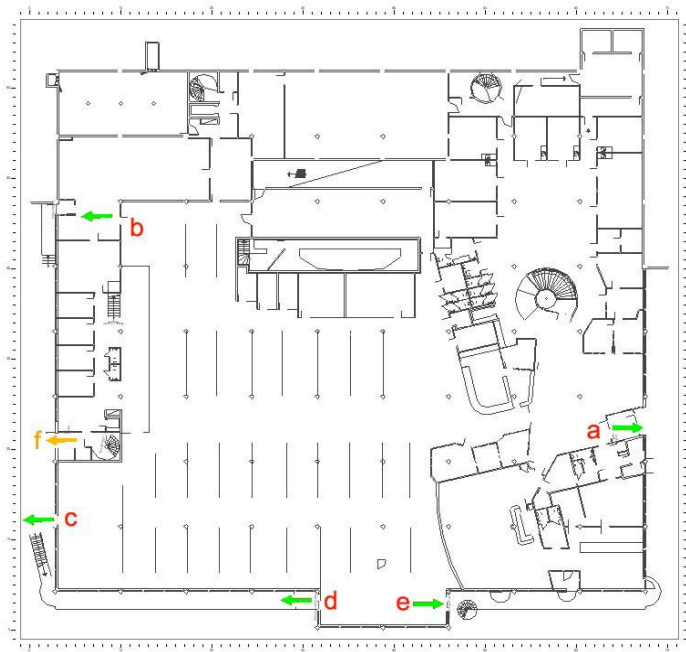


Figur 5.6 Begränsning av utrymningsvägar

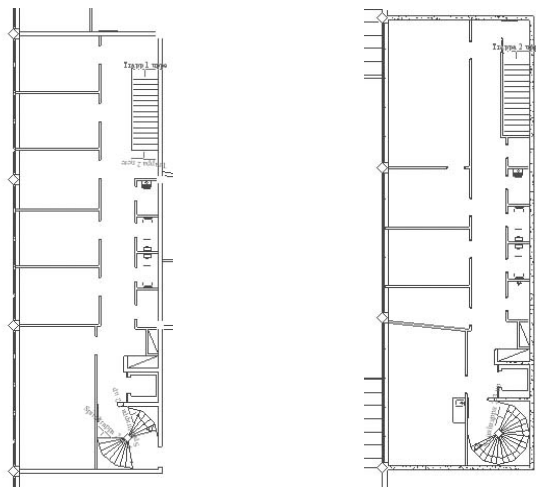
5.6.1 Utrymningsscenarier

I *Utrymningsdimensionering*²⁷ kan utläsas att då man inte vet exakt antal personer i byggnaden kan den sättas till 0,2 personer per m² i ett bibliotek. Där kan även utläsas att i en offentlig miljö där personerna ser branden kan besluts- och reaktionstiden till 1 minut, då personerna befinner sig på olika avstånd från branden har en osäkerhetsfaktor på ± 15 sekunder lagts på tiden. Varseblivningstiden för personalen är mycket svår att bestämma. Utrymnet saknar utrymningslarm, men det är troligt att de märker uppståndelsen och stimmets som sker vid utrymningen. Tiden har satts till två minuter, mer om detta ses under diskussionen.

Personkaraktärer ses som att utgöra 25 % äldre, 25 % kvinnor, 25 % män samt 25% barn. I de olika försöken är det totala antalet besökare runt 240 personer. Personalen är satt som office staff. Personalen antas ta sig ut genom sin vanliga ingång (utgång f).



Figur 5.7 Utgångar från bibliotek plan 1 (markplan)



Figur 5.8 Personalutrymme plan 2 respektive 3

²⁷ Utrymningsdimensionering (2004)

| Utrymningsväg | a | b | c | d | e | f |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Typ | Dörr | Dörr | Dörr | Fönster | Fönster | Dörr |
| Mått (b x h) (m) | 1,80x2,10 | 1,00x2,10 | 0,90x2,10 | 0,80x1,30 | 0,80x1,30 | 0,90x2,10 |

Tabell 5.5 Beskrivning av utrymningsvägar

För att undersöka utrymningstiden har tre olika utrymningsscenarier valts.

- Utrymning 1 (Dimensionerande analys)

Alla personer rör sig till närmaste tillgängliga utgång. Personalen på plan 2 och 3 står på samma sätt i alla scenarier. Personplacering enligt Bilaga Q.

- Utrymning 2 (Känslighetsanalys)

75% av besökarna antas vilja gå ut samma väg som de kom in (utgång a)²⁸, övriga går till närmaste utrymningsväg. Personplacering enligt Bilaga Q.

- Utrymning 3 (Känslighetsanalys)

Branden antas slå ut möjligheten att utrymma genom utgång a, förutom ett fåtal som befinner sig vid utlåningsdisken. Kvarvarande personer utrymmer huvudsakligen genom utgång b och c. Ett fåtal tar sig genom d och e. Personplacering enligt Bilaga Q.

5.6.2 Resultat

Simuleringarna visar att Utrymning 2 ger längst utrymningstid. Utrymning 1 och 3 ger ungefär samma tid. Resultaten visas i tabell 5.6. Totala utrymningstiden påverkas av tiden som personalen tar på sig att utrymma i fall 1.

| Utrymning | Fullständig utrymning (min:sek) | Fullständig utrymning personal (min:sek) | Fullständig utrymning besökare (min:sek) |
|-----------|---------------------------------|--|--|
| 1 | 02:55 | 02:55 | 02:25 |
| 2 | 05:02 | 02:55 | 05:02 |
| 3 | 02:58 | 02:55 | 02:58 |

Tabell 5.6 Tider för utrymning

5.6.3 Diskussion

Då personalutrymnen inte har något utrymningslarm är det mycket svårt att uppskatta deras varseblivningstid. Med tanke på den vanligtvis låga ljudnivån i biblioteket är det möjligt att personal hör tumultet som uppstår vid utrymning och då undersöker vad som händer. Det tar ca 55 sekunder för personalen att utrymma, så deras totala tid är helt och hållet beroende av varseblivningstiden. Det krävs närmare mätningar för att undersöka om och i så fall när de uppfattar att en utrymning krävs. Det är självklart att en tätare placering av rökdetektorer i bibliotekslokalen samt utrymningslarm i personalutrymnen förkortar utrymningstiden. I scenario två uppstår kraftiga köer vid lånediskens larmbågar (se figur 5.9), efter ca. två minuter är övriga besökare ute. Larmbågarnas bredd gör att bara en person i taget kan gå igenom och påverkar hela resultatet starkt.

²⁸ Enkätundersökning (Bilaga T)



Figur 5.9 Trängsel vid larmbågar efter ca. 2½ minut. T.H ses larmbågarna

Ytterligare en simulering lades till (Utrymning 4), i denna breddas larmbågarna så de hela bredden kan utnyttjas. Tiden kortas då ungefär till 3:40 min. En markant minskning med en relativt enkel åtgärd.

5.7 Utrymning hela byggnaden

Denna del beskriver utrymningsförloppet om hela byggnaden behöver utrymmas.

5.7.1 Utrymningsscenarier

Vid besöket i Motala framförde räddningstjänsten önskemål om en utrymningsberäkning på hela byggnaden. De önskade en utrymning under en vanlig arbetsdag, en utrymning en vanlig kväll med t.ex. verksamhet i teatern och biblioteket, samt en utrymning där det uppskattas max antal personer som kan tänka sig finnas i hela byggnaden.

Personer med olika egenskaper har placerats ut i de berörda delarna i byggnaden. Från resultat av enkätundersökningen antas att 75% av personerna vill utrymma samma väg som de kom in²⁹, resterande har fritt fått välja närmsta utrymningsväg.

Ett utrymningslarm antas starta vid tid 0. Varseblivnings- besluts- och reaktionstiderna har varierats med tanke på tillgången av larmdon. Längst varseblivningstid har antagits på personerna i teatern eftersom där inte finns något larmdon. Om ett utrymningslarm skulle gå i byggnaden under en föreställning måste någon som inte befinner sig i teatern kontakta personalen i teatern, som sedan varnar publiken via högtalarsystemet. Utrymningstiden beräknas tills alla personer har lämnat byggnaden. Se bilaga R.

5.7.2 Resultat

| Utrymningsförlopp | Max antal | Dagtid | Kvällstid |
|-------------------------|-----------|--------|-----------|
| Utrymningstid (min:sek) | 08:21 | 04:37 | 08:21 |

Tabell 5.7 Tider för utrymning

Från simuleringen framgick att den avgörande faktorn för utrymningstiden är varseblivningstiden för teatern (jämför tabell 5.7 och 5.8). Därför minskades varseblivningstiden för personerna i teatern för att simulera att ett utrymningslarm aktiveras även där.

| Utrymningsförlopp | Max antal | Dagtid | Kvällstid |
|-------------------------|-----------|--------|-----------|
| Utrymningstid (min:sek) | 05:12 | 04:37 | 04:52 |

Tabell 5.8 Tider för utrymning

²⁹ Enkätundersökning (Bilaga T)

5.7.3 Diskussion

Teaterutrymningen är den absolut avgörande faktorn och från simuleringarna kan slutsatsen att om larmdon, kopplat till byggnadens utrymningslarm, skulle finnas i teatern skulle utrymningstiderna förkortas markant. Köbildningar förekom på samma ställen som i de tidigare försöken på utrymningsförlopp på teatern, foajén och biblioteket (se avsnitt 5.4, 5.5, 5.6) men även i trappan från musikskolan (Bilaga R).

6 Värdering av personsäkerhet

Här följer en sammanställning samt jämförelse mellan tiden till kritiska förhållanden och utrymningstiden.

6.1 Teater

Det som påverkar de kritiska förhållandena vid denna tvåzonsskiktning är brandgaslagrets höjd (Tabell 6.1). Brandgaslagret kommer aldrig ner till området där personerna vistas innan de lyckats ta sig ut (Tabell 6.2). Kritiska förhållanden uppkommer alltid efter det att brandgaslagret sjunkit ner under kritisk gräns. Eftersom det är så stora volymer på rummen kommer inte heller den temperatur som skapas ge några högre värden eller strålning, innan brandgaserna sjunkit under kritisk nivå. Även sikten i det undre lagret uppskattas vara fullgod fram till dess på grund av tvåzonsskiktningen. Därför blir det tiden till brandgaslagrets kritiska höjd som jämförs med utrymningstiderna.

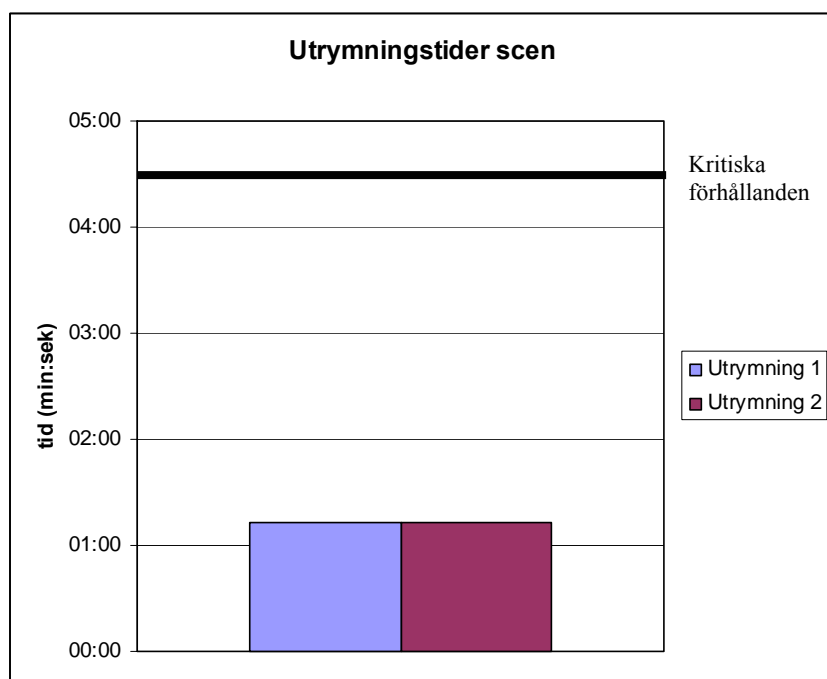
| | Scen | salong | Balkong |
|-------------------------------------|-------|--------|---------|
| Brandgaslagrets höjd (Argos) | 04:30 | 04:15 | 03:20 |

Tabell 6.1 Tid till kritiska förhållanden

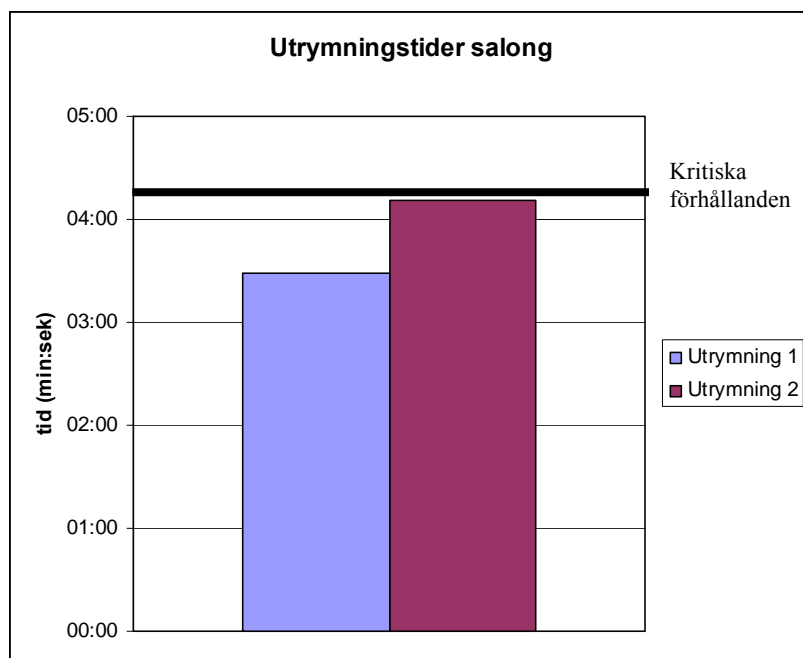
| Utrymning | Fullständig utrymning scen (min:sek) | Fullständig utrymning balkong (min:sek) | Fullständig utrymning ur lokalen (min:sek) |
|-----------|--------------------------------------|---|--|
| 1 | 01:13 | 02:04 | 03:29 |
| 2 | 01:13 | 02:10 | 04:11 |

Tabell 6.2 Tider för utrymning

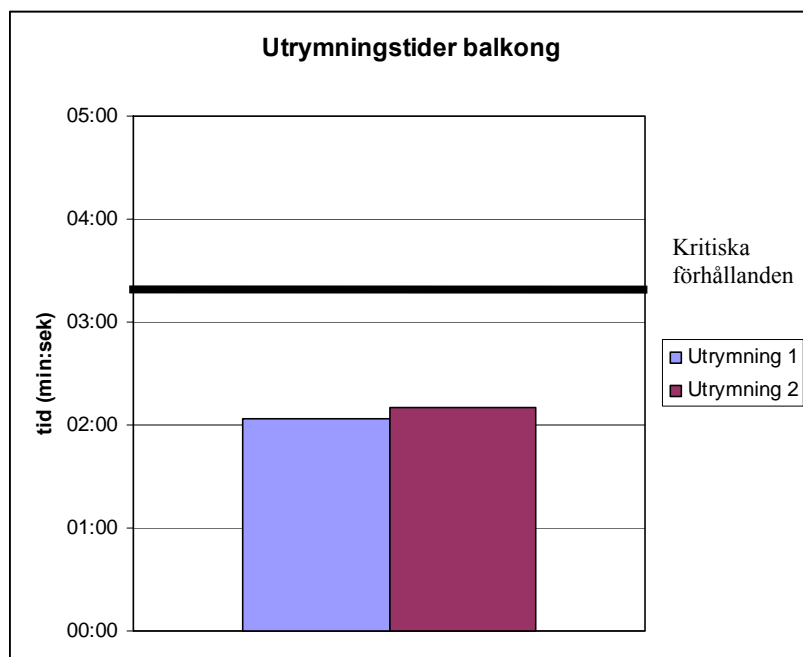
Tiderna i tabellerna ovan jämförs i stapeldiagram (Figur 6.1, 6.2, 6.3) för att enklare kunna urskilja var utrymningstiderna ligger i förhållande till de kritiska förhållandena.



Figur 6.1 Utrymningstid och kritiska förhållanden scen



Figur 6.2 Utrymningstid och kritiska förhållanden salong



Figur 6.3 Utrymningstid och kritiska förhållanden balkong

6.1.2 Slutsats

Enligt diagrammen ovan visar simuleringarna att personerna, som vistas i teatern under en föreställning, skulle hinna ta sig ut innan kritiska förhållanden uppstår. Det lite mindre troliga fallet, där alla utrymmer genom huvudentréerna, visar enligt simuleringarna att en större köbildning skulle ske. Denna köbildning skapar ändå inte några hinder för en säker utrymning av teatern.

Alla simuleringarna i detta scenario bygger på worst case antaganden. De resultat som kommit fram ur den här rapporten leder till att teatern måste anses som säker ifråga om utrymning vid brand i teatern.

Om sprinklersystemet, brandridån och brandgasventilationen fungerar och aktiveras i tid, skulle tiden till kritiska förhållanden kunna förlängas ytterligare och eventuellt helt förhindras. Detta skulle medföra en säkrare utrymning.

6.2 Garderob

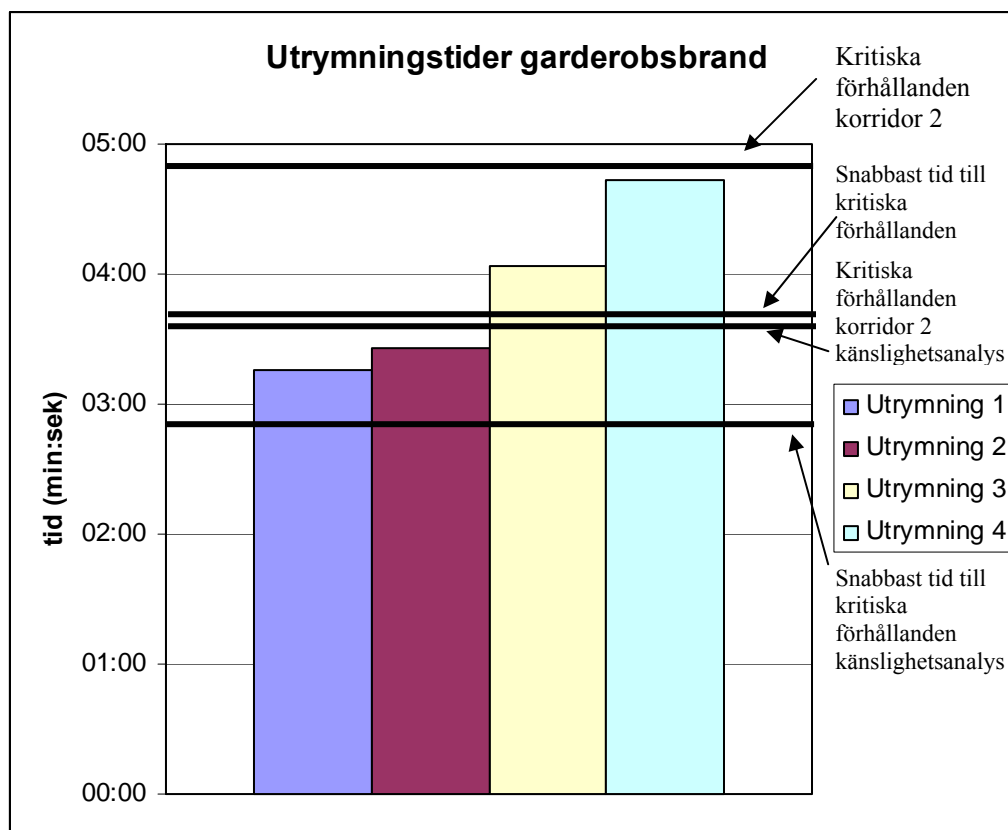
En jämförelse mellan utrymningstiden och tid till kritiska förhållanden kan ses i figur 6.4. Det näst översta strecket visar den snabbaste tiden till kritiska förhållanden i foajén (de andra rummen når kritiska förhållanden senare). Utrymningstiden är kortare än tiden till kritiska förhållanden i Utrymning 1 och 2. I känslighetsanalysen klaras inte de kritiska förhållandena om man använder den snabbaste kritiska tiden. Dock uppstår inte köerna i foajén utan vid nödutgångarna. Då en av dessa är placerad i en korridor som inte är med i brandsimuleringen är det svårt att säga vad den kritiska tiden är där. Det anses inte orimligt att anta att förhållanden där kommer vara ungefär desamma som i korridor 2 (se figur 6.5).

| | Restaura ng | Korridor 1 | Korridor 2 | Foajé | Garderob |
|---|----------------|------------|------------|-------|----------|
| Kritisk tid(min:sek) brandgaslager höjd | 04:30 | 04:40 | 04:50 | 03:40 | Brandrum |
| Kritisk tid (min:sek) brandgas- lagrets höjd Känslighetsanalys | 03:50 | 03:40 | 03:35 | 02:50 | Brandrum |

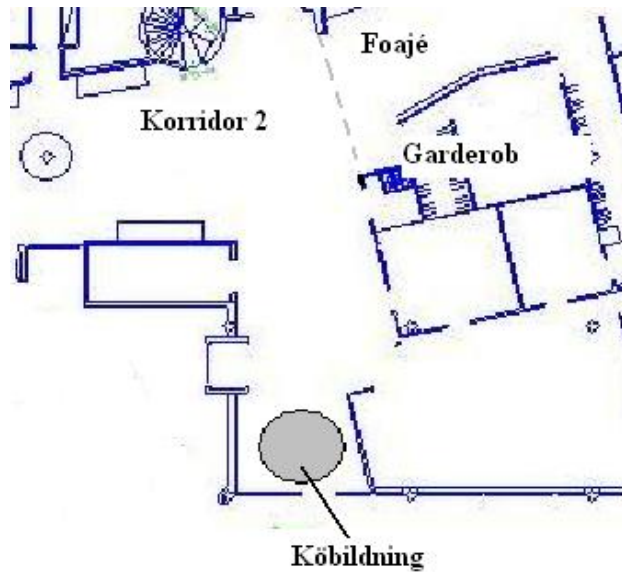
Tabell 6.3 Tid till kritiska förhållanden

| Utrymning | Fullständig utrymning (min:sek) |
|-----------|---------------------------------|
| 1 | 03:16 |
| 2 | 03:26 |
| 3 | 04:04 |
| 4 | 04:43 |

Tabell 6.4 Tider för utrymning



Figur 6.4 Utrymningstid och kritiska förhållanden garderob



Figur 6.5 Förtydligande bild angående köbildning och kritiska förhållanden

6.2.1 Slutsats

Säker utrymning kan ske i utrymning 1 och 2, om man undantar snabbaste kritiska tiden vid känslighetsanalysen. Utrymning 3 och 4 klaras enbart vid kritiska tiden i foajé vid den dimensionerande branden. Men i och med att känslighetsanalysens effekt inte är trolig samtidigt som att köbildning snarare sker i förhållanden liknande korridor 2 anses utrymning tillfredsställande

6.3 Bibliotek

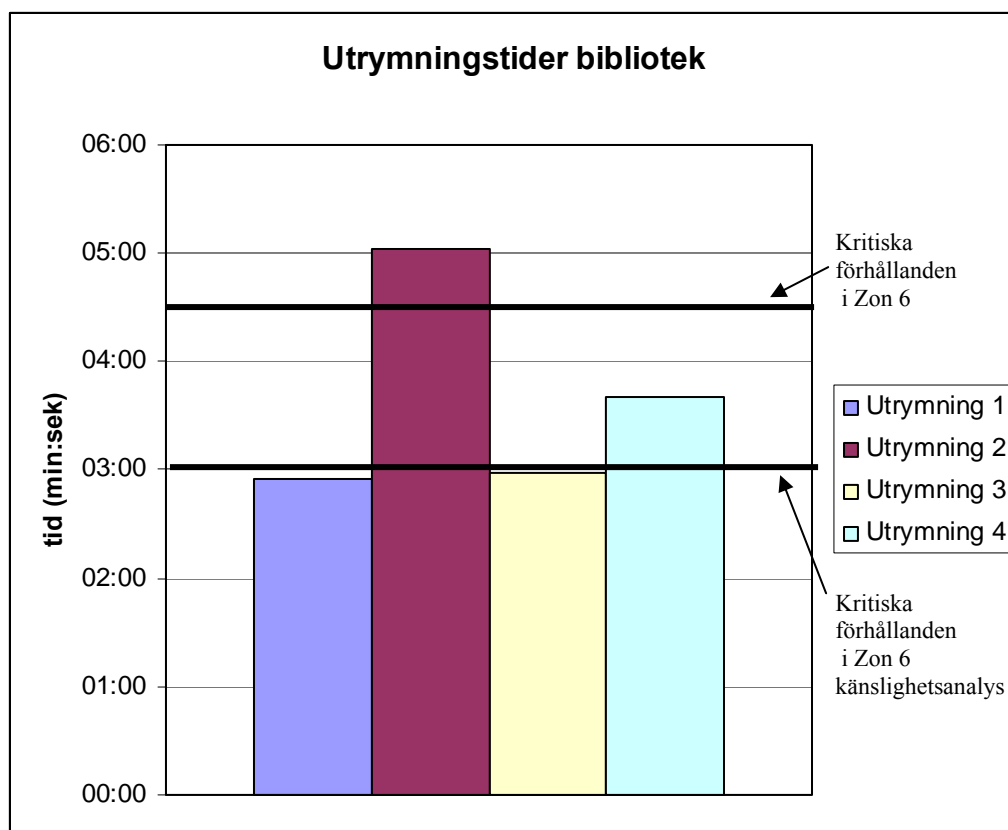
Nedan i tabellerna 6.6 och 6.7 samt figur 6.6 jämförs tider till kritiska förhållanden. Se figur 4.6 för zonindelning. Utrymningstiderna klaras i alla fall utom i utrymning 2, dvs. då 75 % går genom huvudentrén. Dock klaras tiden då avståndet mellan bågarna ökats (utrymning 4). Vid känslighetsanalysen klaras inte utrymning i Utrymning 1 och 4. Dock är brandscenariet då kraftigt, samtidigt som personantalet i samtliga scenarier är större än vad som är normalt.

| | Zon 1 | Zon 2 | Zon 3 | Zon 4 | Zon 5 | Zon 6 | Zon 7 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Brandgaslagrets höjd | 04:50 | 05:00 | 04:30 | 04:50 | 04:30 | 04:30 | 03:50 |
| Brandgaslagrets höjd Känslighetsanalys | 03:10 | 03:00 | 03:00 | 03:10 | 03:10 | 03:00 | 02:50 |

Tabell 6.6 Tid till kritiska förhållanden

| Utrymning | Fullständig utrymning (min:sek) |
|-----------|---------------------------------|
| 1 | 02:55 |
| 2 | 05:02 |
| 3 | 02:58 |
| 4 | 03:40 |

Tabell 6.7 Tider för utrymning



Figur 6.6 Utrymningstid och kritiska förhållanden bibliotek

6.3.1 Slutsats

I utrymning 2 (75 % genom huvudentré) klaras inte utrymning innan kritiska förhållanden uppstår. Dock ger en breddning av larmbågarna i Utrymning 4 en god marginal. Vid känslighetsanalysen är brandförloppet extremt snabbt, vilket gör att utrymning inte klaras i Utrymning 2, även om larmbågarna breddas i Utrymning 4. Det skulle alltså vara bra om fler utrymmer via den nödutgång som är närmast, som i Utrymning 1. Tydligare skyltning och mer attraktiva nödutgångar skulle behövas i biblioteket. Utrymning från zon 7 kan ske innan kritiska förhållanden uppstår, förutsatt att varseblivnings-, besluts- och reaktionstiden sammanlagt inte blir längre än 2 minuter. Det är svårt att uppskatta den tiden eftersom larmdon saknas. Det tar cirka 55 sekunder för personalen att utrymma zon 7 när de väl börjat röra på sig. Tiden till att de nått säker plats är egentligen kortare eftersom de utrymmer via ett trapphus som är egen brandcell. Med detta som grund anses att säker utrymning kan ske, även fast det är svårt att dra klara slutsatser av när de kritiska nivåerna inträffar i zon 7.

Sammanfattningsvis bedöms det som att biblioteket kan utrymmas säkert om vissa åtgärder görs. Den bedömningen görs även fast marginalen för säker utrymning i känslighetsanalysen inte är stor eller till och med överskrids i Utrymning 4. Men i och med att branden i känslighetsanalysen är överdimensionerad görs bedömningen att marginalen räcker. Åtgärder som behöver göras är att bredda larmbågarna till hela bredden mellan vägg och utlåningsdisk.

7 Diskussion

Här följer en diskussion av personsäkerheten i de valda scenarierna och byggnadens nuvarande brandskydd.

7.1 Personsäkerhet

De scenarier som utretts har endast inriktats på lokaler med stor persontäthet där de största konsekvenserna kan antas. Det bör beaktas att scenarier även kan förekomma i mindre persontäta delar av byggnaden och även i dessa resultera i kritiska förhållanden. Om få personer befinner sig i de stora lokalerna kan branden lätt växa till sig innan den upptäcks och resultera i mycket allvarligare utrymningsförhållanden eftersom detektionssystem och larmdon saknas i flera delar av byggnaden. De scenarier som utretts har byggts med worst case tänkande för att få fram de värsta troliga förhållanden som kan uppstå vid brand. Dessa scenarier kan inte representera hela byggnaden utan bara de delar som granskats.

En tillfredställande utrymning har visat sig kunna ske ur teatern. Dock saknas larmdon som skulle påskynda utrymningen om branden utbryter i andra delar av byggnaden. Att lägga över brandsäkerheten i teatern på en brandansvarig anses som en osäkerhetsfaktor eftersom kraven på denna person är höga. Något som skulle underlätta för den brandansvarige vore att installera ett fast utrymningslarm som kan aktiveras manuellt och även är kopplat till övriga byggnadens utrymningslarm. Utrymningslarm i samlingslokaler är ett krav enligt BBR 5:3711. Sprinkleranläggningen på scenen bör testas då den skulle kunna hämma alternativt stoppa ett brandförlopp på scen.

En tillfredsställande utrymning vid en garderobsbrand har visat sig kunna ske. Känslighetsanalysens effektkurva resulterar i att en säker utrymning inte kan ske, men ett sådant brandförlopp är inte troligt. Den snabba reaktionstiden hos rökdetektorn gör att samtliga personer som vistas i de berörda utrymnena blir uppmärksammade på att de skall utrymma. Om personal har uppsikt över garderoben kan branden troligen släckas med handbrandsläckare innan branden nått för hög effektutveckling.

En tillfredsställande utrymning av biblioteket anses kunna ske under förutsättning att vissa åtgärder görs. Åtgärderna handlar om att bredda larmbågarna vid entrén till biblioteket. Vid en breddning av larmbågarna förbättras utrymningstiden med ca 1 minut och 20 sekunder. I utrymningssimuleringarna har förutsatts att nödutgångarna fungerar felfritt. Detta kan inte sägas vara fallet idag. Här behöver några enkla åtgärder sättas in för att säkerställa en säker utrymning. Det handlar om att utrymningsvägarna inte ska vara skymda.

7.2 Befintligt brandskydd

Utrymningsscenarierna är beräknade med att befintligt brandskydd så som att brandcellsgränserna hålls intakta, personalens ansvarsområden fungerar och utrymningsvägarnas funktion är tillfredställande.

Utifrån enkätundersökningen på personalen har det visats att personalen har bristfällig kännedom om vilka eventuella uppgifter de har vid utrymning eller uppkomst av brand enligt SBA.

Företagen som hyr lokaler i Folkets Hus har visats fått undermålig information om gällande brandskydd i byggnaden. Möjligheten finns också att det är bristande motivation eller förståelse för att hålla brandskyddet på en hög nivå som saknas hos en del av personalen. Vid besöket framgick att nytillkomna installationer som tex. kabelgenomföringar mellan brandceller inte utförts med godkända tätningar. Även befintligt brandskydd sköts inte tillfredsställande. Exempel på detta är den avhängda dörrstängaren i köket, kärvande dörrar mellan brandceller, utrymningsvägar som helt eller delvis är blockerade. Markering och placering av handbrandsläckare sköts i vissa fall bristfälligt (se Bilaga B). Det befintliga brandlarmet i byggnaden är undermåligt, detektorer och larmdon finns endast i vissa delar av byggnaden.

8 Åtgärdsförslag

Här sammanfattas de åtgärder som behöver göras i Folkets Hus.

Följande åtgärder *skall* genomföras för att personskyddet vid brand skall anses som tillräckligt:

- Larmbågarna *skall* breddas i biblioteket.

Eftersom utrymningstiden kortas avsevärt genom en breddning av larmbågarna, vilket resulterar i skillnaden mellan en säker och en icke säker utrymning, måste dessa breddas

- Gardiner och möblemang som skymmer nödutgångar i biblioteket *skall* plockas bort.
- Buskar utanför nödutgång i biblioteket *skall* tas bort.
- Nödutgångar och utrymningsvägar *skall* i alla lägen hållas fria från hinder.

För att kunna nyttja alla nödutgångarna i biblioteket skall gardiner och övrigt möblemang som skymmer dessa plockas bort. Som det ser ut i dag kan inte alla utrymningsvägar nyttjas tillfredställande vilket kan jämföras med utrymnings-simulering (Utrymning 2) där fler personer måste utrymma via huvudentrén. I det scenariet klaras inte utrymning innan kritiska förhållanden uppstår. I utrymnings-simulering (Utrymning 1) där alla nödutgångar nyttjas kan en säker utrymning ske. Buskarna utanför biblioteket kan ställa till med besvär t.ex. när personer med funktionshinder måste ta sig ut den vägen. Därför måste dessa tas bort. I övrigt skall alla nödutgångar och utrymningsvägar i hela byggnaden hållas fria så de kan nyttjas vid behov.

- Utrymningslarm *skall* installeras i teatern.

Ett utrymningslarm i teatern har visats genom utrymningssimuleringen av hela byggnaden, förkorta den totala utrymningstiden avsevärt. Detta skulle även underlätta för den brandansvarige på plats. Både när brand utbryter i andra delar av byggnaden, och när en brand uppstår i teatern, då denne person redan har många ansvarsområden.

- Information och utbildning hos all personal i byggnadens samtliga verksamheter *skall* ses över enligt SBA.

Eftersom man utarbetat ett bra SBA på pappret så skall det även bedrivas bra i verkligheten, annars fyller det ingen funktion. Det har visats, i enkätundersökningen och vid besöket, att brister i utbildning och förståelse för byggnadens brandskydd finns hos många anställda.

- Brandcellsavskiljande dörr i köket *skall* ha en fungerande dörrstängare. Eventuellt vara uppställd på magnet kopplad till utrymningslarm

En brandcellsavskiljande dörr skall ha en fungerande dörrstängare. Kan den inte hållas stängd är det inte längre någon brandcell. Detta är extra viktigt eftersom köket angränsar till en utrymningsväg från flera brandceller.

- Larmdon *skall* installeras i bibliotekets personalutrymmen för att säkerställa att personalen blir varse om att utrymning måste ske. I dagens läge finns risk för att personalen upptäcker en brand för sent.
- Larmdon och detektorer *skall* kompletteras i biblioteket så att en tidig detektion av en brand i bibliotekets alla delar kan ske. Detta för att alla personer som vistas där skall bli varse om att en utrymning måste påbörjas.
- Befintliga brandsläckare *skall* monteras och tydligt markeras samt hållas fria. Det finns i dagens läge brister på dessa, som bland annat kan ses i Bilaga B.
- Belysning i nödutgångsskyltar som ej fungerar *skall* lagas för att inga tvivel skall uppstå vid eventuell utrymning.

Följande åtgärder *bör* genomföras för att personskyddet vid brand skall förbättras:

- Belysta nödutgångsskyltar *bör* inte kunna släckas utan endast dämpas för att garantera att de lyser vid eventuell utrymning.
- Antalet detektorer samt utrymningslarm *bör* kompletteras och ses över i övriga delar av byggnaden så en brand inte kan uppkomma obemärkt i obebakade utrymmen.
- Sprinkleranläggningen på scenen i teatern *bör* testas för att garantera dess funktion vid eventuell scenbrand.

9 Referenser

Böcker

Drysdale, D. (1998), *An Introduction to Fire Dynamics*, Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Karlsson, B. & Quintiere, J. G. (1999), *Enclosure Fire Dynamics*, Boca Raton: CRC Press LLC

Rapporter och Handböcker

Abrahamsson, Marcus (1998), *Scenariotänkande vid brandsyn – utrymning av samlingslokaler*, FoU Rapport, Räddningsverket, Karlstad

Brandskyddshandboken. Rapport 3117 (2002), Brandteknik, Lunds tekniska Högskola, Lund

Boverkets Byggregler BFS 1993:57 med ändring till och med 2002:19(2002), Föreskrifter och allmänna råd, Karlskrona.

Jensen, Lars (2002), *Brandgasspridning via ventilationssystem*, KFS AB, Lund

Johansson, Björn (2004), *Analys av utrymningssäkerheten vid brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå*, Rapport 5135, <http://www.brand.lth.se/utbild/pbr/pbr-5135.pdf>, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund

Kompendium i kursen Aktiva system (VBR082), (2005) Brandteknik, Lunds tekniska Högskola, Lund

National Fire Protection Association & Society of Fire Protection (1988), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Quincy National Fire Protection Association, USA

Särdqvist, Stefan (1998), *Djupanalys av tre storbränder*, Institutionsrapport 3096, <http://www.brand.lth.se/bibl/3096.pdf>, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund

Utrymningsdimensionering(2004), Boverket, Karlskrona

ISO/WD13390 (1995), *Subsystem 1, Initiation and development of fire and effluents*.

Elektroniska källor

Räddningstjänsten i siffror : Fakta om räddningstjänstens insatser 1996-2004, <http://www.srv.se/Shopping/pdf/20836w.pdf>, 2005-11-06

Flamskyddad Plywood diagrammet, Statens Provnings och forsknings institut, <http://www.sp.se/databas/rapportpubl/ViewDocument.aspx?RapportId=4140>, 2005-10-25

Kolmonoxidens densitet <http://www.coheadquarters.com/coproperties.htm>, 2005-11-14

Övriga källor

Erlandsson, Johan. brandingenjör, Räddningstjänsten Motala (2005)

Örnstedt, Anders. Vaktmästare, Motala Folkets Hus (2005)

Gojkovic, Daniel. Universitetsadjunkt Brandteknik LTH (2005)

Jensen, Lars. Professor Installationsteknik LTH (2005)

Frantzich, Håkan. Universitetslektor Brandteknik LTH (2005)

Nilsson, Daniel. Doktorand Brandteknik LTH (2005)

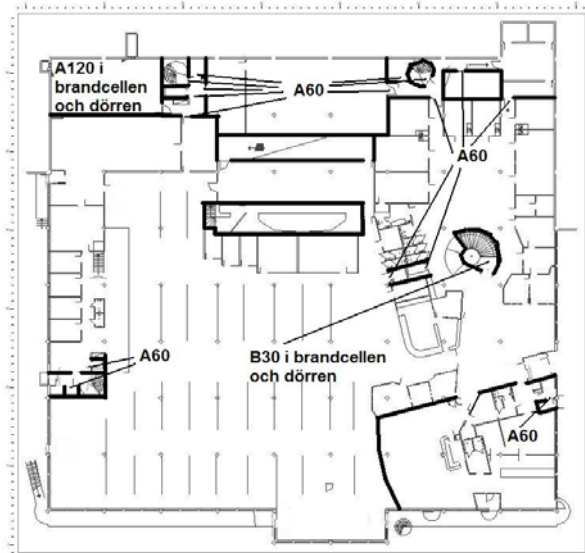
Bilaga A: Brandcellsritningar

Dessa ritningar är avritade från gamla brandcellsritningar. På vissa platser har viss ombyggnad skett varför det är oklart var de nya brandcellsgränserna går, eller om det ens finns några nya gränser. Platser där ombyggnad har skett som påverkat brandcellerna är:

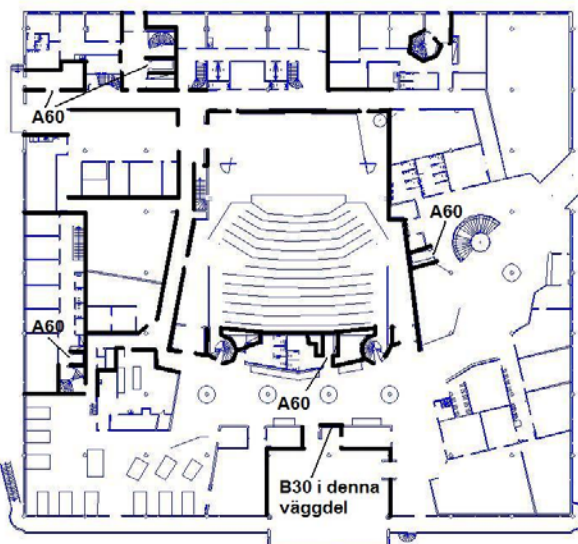
- Plan 1 - Ingång till Café Sjöbris från biblioteket
- Plan 2 - En mellanvåning, tillhör nu plan 3, har byggts till i vänstra delen bakom scenen. Flera dörrar är flyttade på olika ställen.
- Plan 3 - Samma mellanvåning som plan 2.
- Plan 5 - Inga förändringar som kan ha försämrat brandcellernas funktion.

Samtliga brandceller är gjorda i klass A60 där ej annat anges.

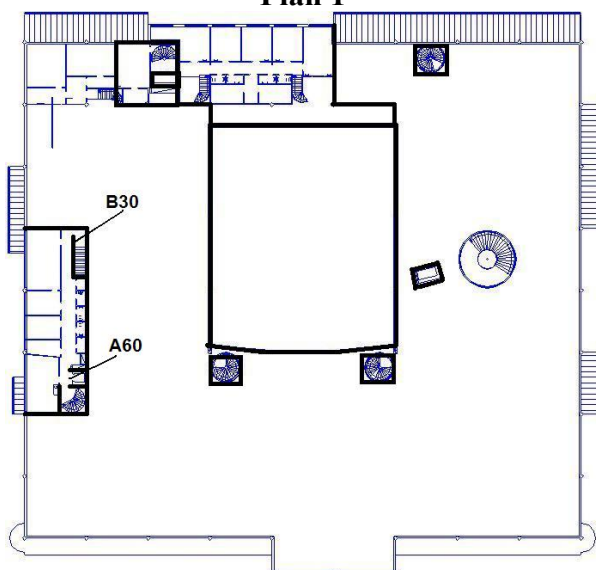
Samtliga dörrar mellan brandceller är av klass B30 där ej annat anges.



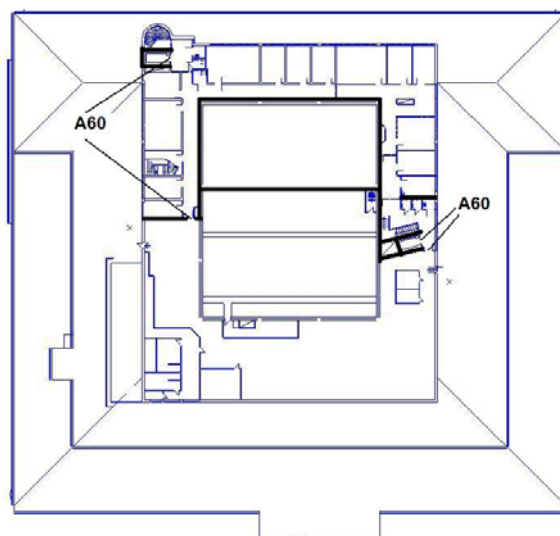
Plan 1



Plan 2



Plan 3



Plan 5

Bilaga B: Brister i befintligt brandskydd

Här följer några av de brister i det befintliga brandskyddet som upptäcktes under besöket.



Figur B.1 Blockerad nödutgång. Fr. v. sedd inifrån biblioteket, utrymningsvägen innanför



Figur B.2 Icke markerad och blockerad brandsläckare



Figur B.3 Delvis blockerade nödutgångar

Bilaga C: Systematiskt brandskyddsarbete (SBA)

Brandskyddsorganisation

| <u>Befattning</u> | <u>Namn</u> | <u>Titel</u> |
|----------------------------|--------------------|--------------------|
| Brandskyddsansvarig | Hellner Malte | Fastighetsansvarig |
| Brandskyddsombud Motala | Wetterberg Håkan | Biblioteket |
| Brandskyddsombud | Samuelsson Kenneth | Socialdemokraterna |
| Brandskyddsombud | Widarsson Siw | Lo- facken |
| Vaktmästare | Örnstedt Anders | Vaktmästare |
| Vaktmästare | Samuelsson Banne | Vaktmästare |
| Vaktmästare | Matalalampi Jari | Vaktmästare |
| Vaktmästare | Lenin Ronny | Vaktmästare |

Delegation till Brandskyddsombud inom Folkets Hus & Park i Motala

Ärenden:

Daglig tillsyn av brandskyddet på arbetsplatsen

Arbetsuppgifter

Ansvara för att utrymningsvägar hålls fria inom sitt område. Göra uppgiftsindelning för personalens handlande vid brand

OM BRAND UTBRYTER

Rädda först de som är i uppenbar fara

Varna övriga som hotas av branden

Larma räddningstjänsten på tel. 1 12

när larmoperatören svarar, meddela kortfattat: - var det brinner

- vad som brinner

- om det finns inneslagna personer

- vem som ringer och telefonnummer

Vid utrymning

Leda utrymningen på **lämpligt** och lugnt sätt enligt utrymningsplanen

I egenskap av **delegerar jag** härmed ovanstående arbetsuppgifter

Ort och datum

Underskrift

Jag accepterar ovanstående delegering

Ort och datum

Underskrift

Delegation till Vaktmästare inom Folkets Hus & Park i Motala

Delegationsområde: Folkets Hus och Gamla Folkets Hus ärenden:

Kontroll av:

- Brandtekniska skyddet
- Byggnadsteknisk brandskydd
- Eltekniskt brandskydd
- Hantering av brandfarliga varor
- Säkerhetsföreskrifter

Arbetsuppgifter

Daglig kontroll av:

- Utrymningsvägar (inomhus **och** utomhus)
- Trasiga lysrör (bytes omedelbart)

Månatlig funktionskontroll av:

- dörrar med brandavskiljande funktion
- genomlysta utgångsskyltar
- nödbelysning
- brandlarmet
- rökevakueringensfläkten på teatern
- brandridån

Månatlig kontroll av att:

- brandredskapen finns på plats och är i funktionsdugligt skick
- utrymningsplanerna finns på plats och är aktuella

Folkets Hus & Park i Motala, Sjögatan 5, 591 30 Motala

Årlig funktionskontroll av:
- dörrar med öppningsautomatik
- ventilation

Föra journal över kontroller
Medverka vid brandsyn
Delta i räddningstjänstens utbildning/information om automatiska brandlarm

I egenskap av brandskyddsansvarig delegerar jag härmed ovanstående arbetsuppgifter

ort och datum Underskrift Malte Hellner

Jag accepterar ovanstående delegering

Motala 050124

Ort och datum

Ronny Ledin

Underskrift

Ronny Ledin

Folkets Hus & Park i Motala, Sjögatan 5, 591 30 Motala

Anvisningar för kontroll av det byggnadstekniska brandskyddet

Beskrivning:

Anvisningar för kontroll av det byggnadstekniska brandskyddet

Utrymningsvägar

kontrollera dagligen att:

de inte är blockerade av möbler, blommor, draperier, skräp eller annat som kan försvåra utrymning

på vintern snöröjning sker utanför samtliga utrymningsvägar (glöm inte balkonger och liknande)

Dörrar

kontrollera 1 gång per månad att:

självstängaren är rätt inställd

magnetuppställningen fungerar (även rökdetektorerna)

koordineringen är rätt så att pardörrarna stänger i rätt ordning

fallkolven griper in tillräckligt i slutblecket

automatiska kantreglar griper in tillräckligt i slutblecket

låsanordningen är i utrymningsriktningen lätt öppningsbar utan användande av

nyckel

karm, gångjärn, lås, trycke, glasinfästning är juste

Frågeställningar beträffande dörrar

kommer jag tillbaka in där jag kom ifrån utan nyckel om dörren slår igen?

hur fungerar kodlåset/kortläsaren om strömmen bryts?

hur fungerar de automatiska skjutdörrarna om strömmen bryts?

finns godkännandeintyg, besiktningssintyg etc.?

det finns väl inga kilar för otillåten uppställning av dörrarna?

Nödljusfunktionen

kontrollera 1 gång per månad att:

belysningen i skyltarna fungerar

nödljusfunktionen i skyltarna fungerar

övriga nödljus fungerar vid strömbortfall

Akkumulatorer bör urladdas och återuppladdas minst 1 gång per år

Ansvarig för innehållet:

Malte Hellner

Folkets Hus & Park i Motala, Sjögatan 5, 591 30 Motala

Utbildningsplan i brandskydd för fast anställda i FHP Motala

Syfte:

Skapa ett brandskyddsmedvetande hos funktionärerna för att kunna ta egna initiativ och medverka till en väl brandskyddad verksamhet.

Efter utbildningen skall deltagarna:

Förstå företagets brandskyddspolicy

Kunna identifiera möjliga brandrisker

Känna till hur utrymning från byggnaden sker

Kunna larma räddningstjänst

Kunna förhindra brandspridning

Kunna handha släckutrustning

Program

Företagets eller organisationens brandskyddspolicy

Brandrisker inom byggnaden och verksamheten

Tillfredsställande utrymning

Skydd mot brand- och brandgasspridning

Anordningar för brandsläckning

Åtgärder vid brand: Rädda, Larma, Släck

Övning med förekommande brandsläckningsutrustning.

Omfattning:

Alla anställda ska ges en grundläggande utbildning i brandskydd om 2 timmar. Vart tredje år ska utbildningen återkomma. Uppföljning ska ske en gång varje år.

Praktisk brandskyddsutbildning

Utförare:

Sakkunnig person

Ansvarig för innehållet:

Malte Hellner

Ansvarig för Genomförandet:

Malte Hellner

Bilaga D: Försök i brandlab

Vid en brand i teatern antogs stolarna kunna ge ett mycket kraftigt brandförlopp. Uppgiften var att dessa var behandlade med flamskyddsmedel, men för att testa dess egenskaper utfördes försök i Brandtekniks laboratorium på LTH. Även mattprovs brandegenskaper testades. Försöken utfördes under konkalorimeter för att kunna få effektkurva samt rökutveckling m.m.

Stolens utformning

Stolen är mycket lik en vanlig biografstol. Den består av en fjädrad skumgummikudde fäst på en grov metallram. Egentyngden gör att den vippar till ett vertikalt läge då den inte belastas. Den ”vippande” delen är fäst på ett ryggstöd med armstöd på sidorna. Hela stolen är beklädd med ett dubbelt lager vävt tyg.

Metod

Antändning av tyget respektive mattan testades genom att lägga en tändsticka på ytan. Därefter gjordes samma sak med en cigarett. Slutligen testades antändning med en gaslåga. Stolsförsöket gjordes med en stolsdyna utan tygskiktet, även där var antändningskällan en tändsticka. För att få en användbar kurva antände vi efter ett tag dynan med en gaslåga i ett snittat område (stolens inre var blottat för lågan). Stolen riggades i vertikalt läge och tändstickan placerades på dess topp (se Figur D.1). Vägning skedde före och efter experimentet för att kunna beräkna energiinnehållet.



Figur D.1 Antändning av stolsdynan. Bredvid flamman ses slocknade tändstickor på beklädnaden

Resultat

Både mattan och tyget påverkades knappt av tändstickan (se Figur D.2 och D.3), som slocknade fort. Däremot gaslågan gjorde att materialen smälte. Materialet brann under tiden som lågan var på, men så fort den togs bort slocknade det snabbt (se Figur D.4). Dock förbränns material under tiden. Det visade sig att då gaslågan legat emot en längre tid började skumgummit under brinna.

Stolen antändes av den liggande tändstickan, dock var brandförloppet mycket långsamt, den extra antändningskällan i dynans nedre kant gav ett snabbare brandförlopp. På den platsen var dynans flamskyddande beklädnad bortriven. Detta visas i Figur D.5.

Droppande skumgummi på mattan brann även under stolen.

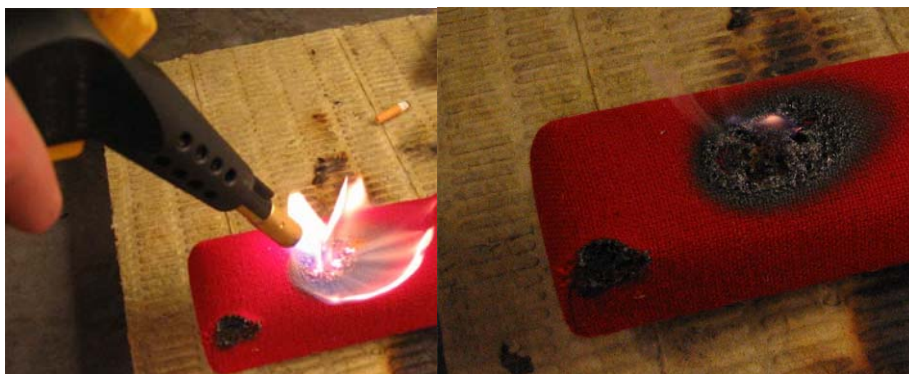
Antändning av stolar och matta är inte möjlig utan en kraftig antändningskälla. Kanske kan en brand som startar i ett annat utrymme eller på scenen och sedan sprider sig in i teatern ge upphov till antändning, alternativt kan stolarna skadas av någon och sedan antändas, för att därefter antända resten av teatern.



Figur D.2 Tändstickor på mattprov.



Figur D.3 Tändstickor på tygbeklädnad



Figur D.4 Tyget vid direkt exponering av brännare. Till höger har brännaren precis tagits bort



Figur D.5 Stolen kort efter antändning i nederkant. T.H ses stolen efter branden

Mätningar

Våra mätresultat från försöket redovisas inte med tanke på att det inte är troligt att antändning sker eftersom materialen är mycket svårantändliga. Den uppmätta maxeffekten var så låg som 70 kW, ett lågt värde med tanke på att det var en relativt stor brand. Jämförelse med att en papperskorg beräknas ha en effekt på ca 100 kW. Figur D.6 visar flammor då ungefär halva stolen brinner.



Figur D.6 Stolen då hela högra sidan brinner

Diskussion och felkällor

Materialen vi använde var mycket mindre använda än de som finns i teatern idag, slitaget kanske kan påverka flamskyddsbehandlingen vilket gör de mer lättantändliga. Antändningen av stolen var lite tveksam, mest för att tändstickan inte gick att lägga på annat ställe. Troligen hade den antänt även i nederkant på stolen, men brandförloppet hade blivit häftigare med tanke på vertikal flamspridning. Gaslågan tillsattes i högra kanten av stolen vilket gjorde att hela stolen inte brann samtidigt. En antändning i mittens av stolens nedre kant hade troligen gett en snabbare spridning över hela stolen.

Dessutom verkar mätresultaten lite låga, generellt brukar man säga att en papperskorg brinner med ca. 100 kW. Vår uppmätta maxeffekt var ca. 70 kW, ett värde som verkar lågt. Vad detta beror på är okänt.

Bilaga E: Brandgasspridning via T-system i bibliotek

Beräkning enligt tumregeln³⁰

Ventilationsflöde: Snabb översiktsberäkning genom att läsa av ventilationsritningen och räkna tilluftsdon och deras kapacitet.

29 stycken á 525m³/h

2 stycken á 400m³/h

1 stycken á 300m³/h

4 stycken á 100m³/h

1 stycken á 200m³/h

Detta ger ett totalt ventilationsflöde, q_n , till lokalen av 16925m³/h, det vill säga 4,7m³/s.

Fasadläckage:

Läckageflöde antas till 1,6liter/m²s.

Läckageytorna är beräknade på ytterväggarna i zonerna 1,2,3 och 6.

$$(14+14+14+21+21) \cdot 2,5 = 210\text{m}^2$$

$$q_l = 210\text{m}^2 \cdot 0,0016\text{m}^3/\text{m}^2\text{s} = 0,34\text{m}^3/\text{s}$$

Frånluftsflöde:

Antag att tryckfallen för lokalens ventilationsgren för frånluft och tilluft är lika stora.

Då kan brandflödet, q_{bi} , räknas ut.

$$q_{bi} = q_n \cdot ((p_f + p_t)/p_f)^{0,5} = 4,7 \cdot 2^{0,5} = 6,65\text{m}^3/\text{s}$$

Lägg ihop läckageflöde och brandflöde och man får gränsfallet.

$$q_{bi} + q_l = 7\text{m}^3/\text{s}$$

Enligt tumregeln motsvarar 1m³/s ungefär en brandeffekt på 1MW. Det skulle betyda att när brandeffekten överskrider 7MW kommer brandgasspridning ske via T-systemet.

En brand som tillväxer med fast tillväxt når en effekt på 7MW vid ungefär 6,5 minuter

| Brandscenario i brandcell | Till/frånluftsdon |
|---------------------------|-------------------|
| Teater | T9/F9 |
| Garderobsbrand | T3/F3 |
| Biblioteksbrand | T4/F4 |

Tabell E.1 Till- och frånluftsdon i scenariernas lokaler

³⁰ Jensen, Lars (2002)

Bilaga F: Effektkurva teater

V = Rummets volym

E = Total energimängd

γ = Volymandel syre i luft

χ = Andelen syre som kan förbrännas (Antaget värde 0,5)

α = 0,19 kW/m² tillväxtkonstant

ρ = densitet

$$V = 21 \cdot 9 \cdot 14 + 21 \cdot 16,5 \cdot 11 = 6457,5 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{syre}} = V \cdot \rho_{\text{syre}} \cdot \gamma = 6457,5 \cdot 1,2 \cdot 0,23 = 1782,27 \text{ kg}$$

$$E = \chi \cdot m_{\text{syre}} \cdot \Delta H_{c, \text{syre}} = 0,5 \cdot 1782,27 \cdot 13 = 11584,755 \text{ MJ} = 11584755 \text{ kJ}$$

Därefter integrera över brandeffekt kurvan $\alpha \cdot t^2$ upp till 6,48 MW och därefter hålls det konstant tills syret tar slut.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 = 6,48 \text{ MW}$$

$$t = \sqrt{\frac{6480 \text{ kW}}{0,19}} = 184,676 \text{ sekunder}$$

Integrera för att få fram energin under tillväxtfasen:

$$E_B = \int_0^{184,676} \alpha \cdot t^2 dt = \left[\frac{\alpha \cdot t^3}{3} \right]_0^{184,676} = 398,9 \cdot 10^3 \text{ kJ}$$

Energi som kan förbrännas vid maxeffekten:

$$E_C = E - E_B = 11584755 - 398900 = 11185854,62 \text{ kJ}$$

$$\dot{Q} = 6,48 \text{ MJ/s}$$

$$E_C = \dot{Q} \cdot t$$

$$t = \frac{E_c}{\dot{Q}} = \frac{11185,85 \text{ MJ}}{6,48 \text{ MJ/s}} = 1726,21 \text{ sek.} > 28 \text{ min}$$

Slutsatsen kan därför dras att branden inte är ventilationskontrollerad.

Bilaga G: Effektkurva garderob

Kontroll av strömning av syre in i foajé, foajédörr på 1,8 x 2,1m öppen.

$$\dot{m}_{\text{foajédörr}} = 0,5 \cdot 1,8 \cdot 2,1 \cdot \sqrt{2,1} = 2,7389 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{\text{syrefoajédörr}} = 0,23 \cdot 2,7389 = 0,6299 \text{ kg/s}$$

Största möjliga strömning in i garderoben³¹

$$A_{\text{öppning}} = \text{bredd}_{\text{total}} \cdot \text{höjd} = (1,6 + 1,6 + 1,8) \cdot 0,9 = 4,5 \text{ m}^2$$

$$\dot{m}_a = 0,5 \cdot A_{\text{öppning}} \cdot \sqrt{H_{\text{öppning}}} = 0,5 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{0,9} = 2,1345 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{\text{syre}} = 23\% \cdot 2,1345 = 0,490935 \text{ kg/s}$$

Ventilationskontrollerad brand ger en maxeffekt baserad på tillförseln av luft.

Worst case → allt syre förbränns

13,2 MJ / kg syre

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{syre}} \cdot Q_{\text{syre}} = 0,490935 \cdot 13,2 = 6,480342 \text{ MJ/s} \approx 6,5 \text{ MW}$$

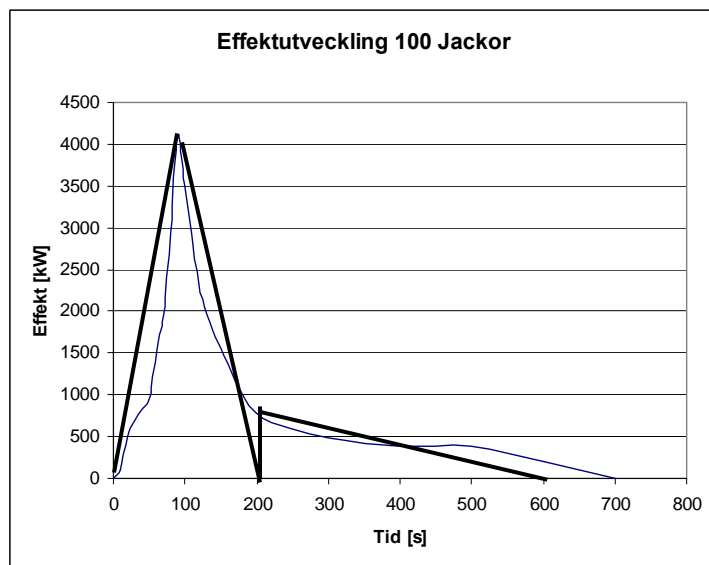
Beräkning av ΔH_c -värde för jackor

Den totala energiutvecklingen under en brand kan beräknas genom att $Q_{\text{tot}} = \int_{t_0}^{t_{\text{slut}}} P dt$.

Detta motsvarar den totala arean under grafen. Då en brands effektkurva kan vara mycket fluktuerande kan kurvan approximeras till en ungefärlig yta. Det viktiga är att den totala ytan kommer med, inte ur den varierar med tiden.

ΔH_c /jacka ges sedan av $\frac{Q_{\text{tot}}}{100 \text{ jackor}}$.

Johanssons experiment³² resulterar i en svårintegrerbar kurva, denna approximeras med räta linjer (figur G.1 och tabell G.1).



Figur G.1 Effektutveckling

³¹ Karlsson, B. & Quintiere, J. G. (1999)

³² Johansson, Björn (2004)

Areaberäkning

| Tidsintervall [s] | Q [MJ] |
|-------------------|---|
| 0-100 | $\frac{4MW \cdot 100sekunder}{2} = 200MJ$ |
| 100-200 | $\frac{4MW \cdot 100sekunder}{2} = 200MJ$ |
| 200-600 | $\frac{0,8MW \cdot 400sekunder}{2} = 160MJ$ |

Tabell G.1 Energiinnehåll

$$Q_{tot} = \sum Q = 200 + 200 + 160MJ = 560MJ$$

ΔH_c -beräkning

$$\Delta H_c = \frac{Q_{tot}}{100 \text{ jackor}} = \frac{560MJ}{100 \text{ jackor}} = 5,6MJ/\text{jacka}$$

Kurvan delas upp i tre delar: tillväxt, konstant och avtagande. Den effektiva energimängden är 2260MJ för 400 jackor, då denna mängd förbränts slocknar branden.

Tillväxt

$$t_{tillväxt} = \sqrt{\frac{P}{\alpha}} = 185s$$

$$Q_{tillväxt} = \int_0^{185} \alpha t^2 dt = \left[\frac{\alpha t^3}{3} \right]_0^{185} = 398,9MJ$$

Slocknande

Eftersom branden avtar på samma sätt som den tillväxer är

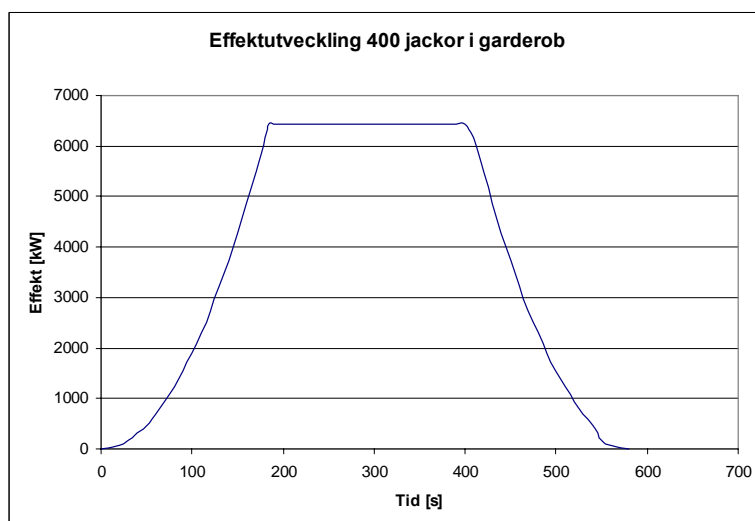
$$Q_{avtagande} = Q_{tillväxt} = 311, MJ$$

Konstant

$$Q_{kons \text{ tan } t} = Q_{tot} - Q_{tillväxt} - Q_{avtagande} = 2240 - 398,9 - 398,9MJ = 1442,2MJ$$

$$t_{kons \text{ tan } t} = \frac{Q_{kons \text{ tan } t}}{P_{max}} = \frac{1442,2MJ}{6,5MW} = 222s$$

Effektkurva



Figur G.2 Effektkurva

Bilaga H: Effektkurva bibliotek

V = Rummets volym

E = Total energimängd

γ = Volymandel syre i luft

χ = Andelen syre som kan förbrännas (Antaget värde 0,5)

α = 0,19 kW/m² tillväxtkonstant

ρ = densitet

Syretillförsel via dörrarna i huvudentré:

Antag att huvudingången är öppen under brandscenariot på grund av att folk utrymmer.

Dörröppning: Höjd: 2,1m Bredd: 1,8m

Massflöde syre genom dörren³³:

$$0,5 \cdot \text{Areal} \cdot \text{höjden}^{0,5} = 0,5 \cdot 2,1 \cdot 1,8 \cdot 2,1^{0,5} = 2,74 \text{ kg/s}$$

Tillgänglig effekt via dörren:

$$2,74 \text{ kg/s} \cdot 23\% \cdot 13,2 \text{ MJ/kg} = 8,3 \text{ MW}$$

Syretillförsel via ventilationssystemet:

Snabb översiktsberäkning genom att läsa av ventilationsritningen och räkna tilluftsdon och deras kapacitet.

29 stycken á 525m³/h, 2 stycken á 400m³/h, 1 stycken á 300m³/h, 4 stycken á 100m³/h

1 stycken á 200m³/h

Detta ger ett totalt luftflöde till lokalen av 16925m³/h, det vill säga 4,7m³/s.

Antag att inströmmande luften har en temperatur på 20 grader Celsius. Då blir densiteten 1,2kg/m³ för luften.

Maximal effekt blir då:

$$4,7 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 13,2 \text{ MJ/kg} \cdot 23\% = 17,1 \text{ MW}$$

Syre som finns i biblioteket:

$$V = 1764 \text{ m}^2 \cdot 2,5 = 4410 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{syre}} = V \cdot \rho_{\text{syre}} \cdot \gamma = 4410 \cdot 1,2 \cdot 0,23 = 1217,16 \text{ kg}$$

$$E = \chi \cdot m_{\text{syre}} \cdot \Delta H_{c, \text{syre}} = 0,5 \cdot 1217,16 \cdot 13,2 = 8033,256 \text{ MJ} = 8033256 \text{ kJ}$$

Integrera effektkurvan och sätt energin till 8033256kJ och lös sedan ut tiden.

Tiden blir mer än 800s vilket bekräftar att syret räcker till.

Kontroll av effekten:

Enligt Abrahamsson ger en 2,4 meter hög bokhylla en effekt av 600kW/meter.

Bokhyllorna i biblioteket är mycket lägre, ca 1,5 meter, men står också i dubbla rader. Därför görs antagandet att samma effekt per meter kan erhållas, det vill säga 600kW/meter.

$$(16900 \text{ kW}) / (600 \text{ kW/m}) = 28,2 \text{ meter}$$

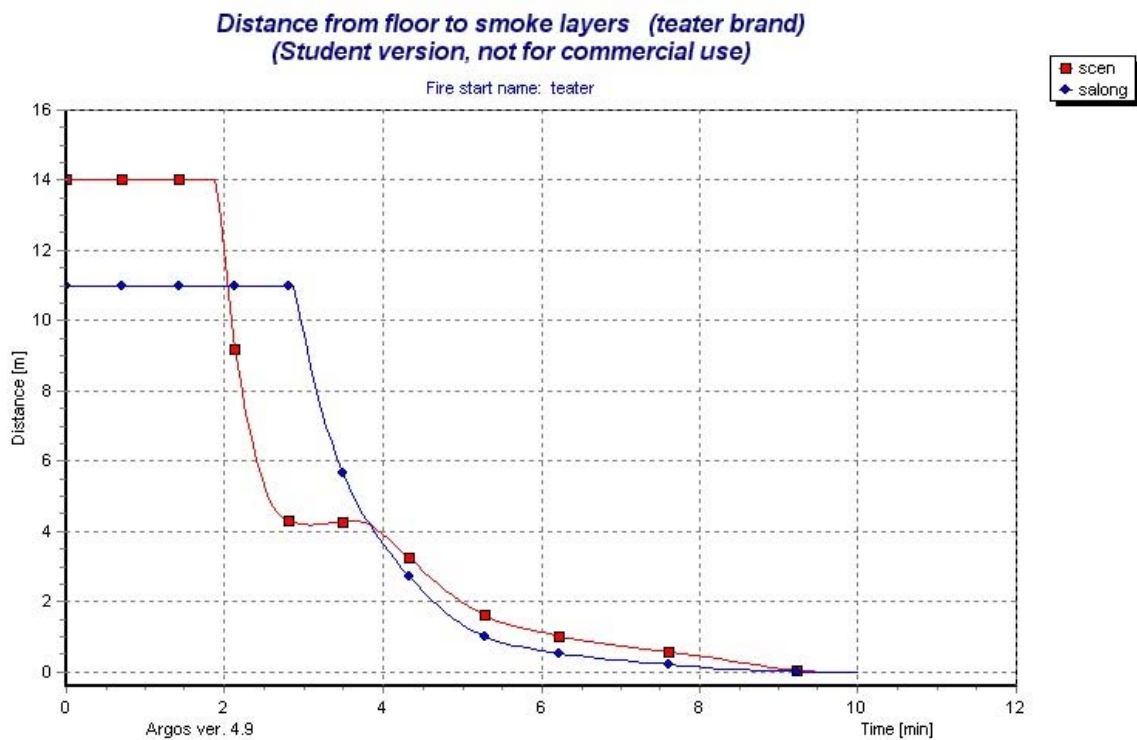
³³ Karlsson, B. & Quintiere, J. G. (1999)

Det skulle innebära att ungefär 4 rader á 7meter med bokhyllor brinner efter 600 sekunder. Det är ett ganska mycket. Men med tanke på att även ”trädet” i barnboksavdelningen finns med i brandens tidiga skede är detta värde inte helt otänkbart.

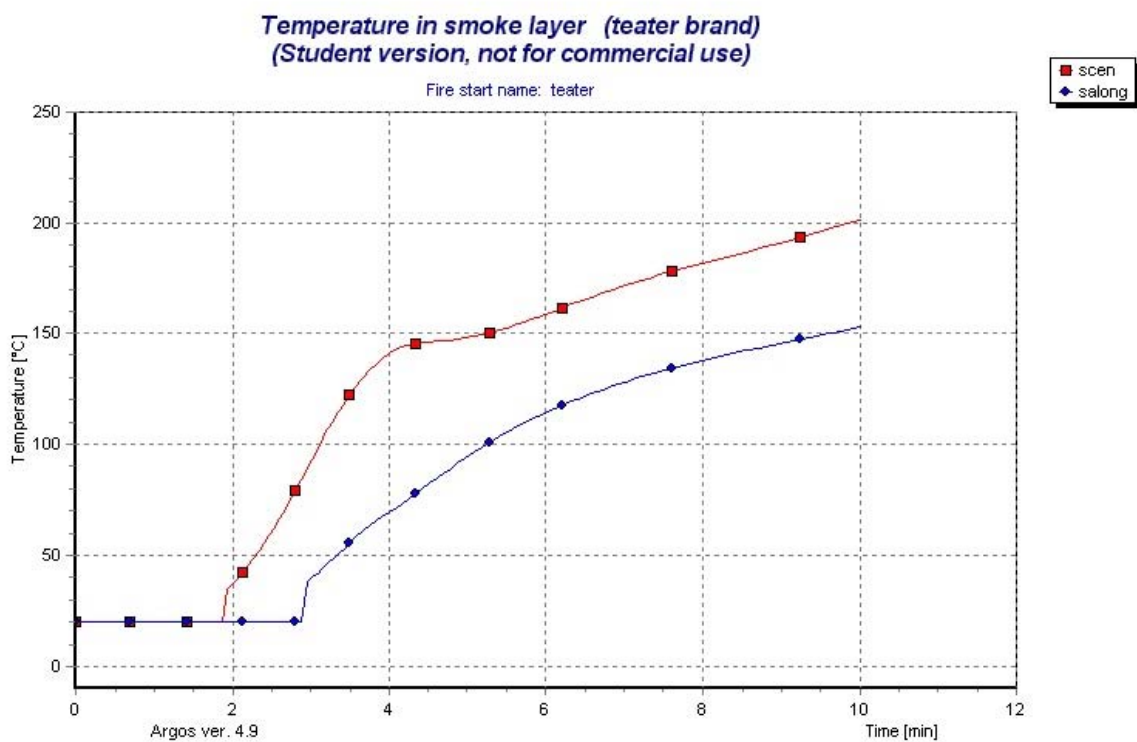
Beräkning av effekt per m²:

En bokhylla är cirka 0,25 meter djup vilket leder till att effekten per kvadratmeter blir:
 $600\text{kW}/(1\text{m}\cdot 0,5\text{m}) = 1200\text{kW}/\text{m}^2$

Bilaga I: Argos resultat teater

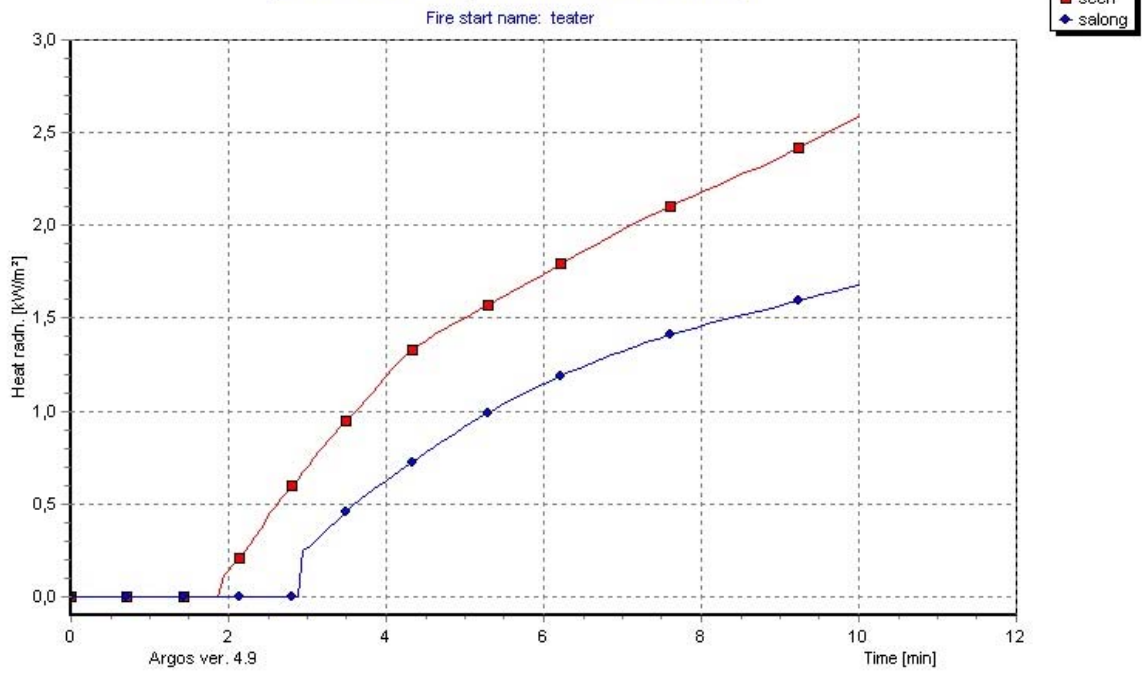


Figur I.1 Brandgaslagrets höjd på scen och i salong



Figur I.2 Temperatur i brandgaslagret på scen och i salong

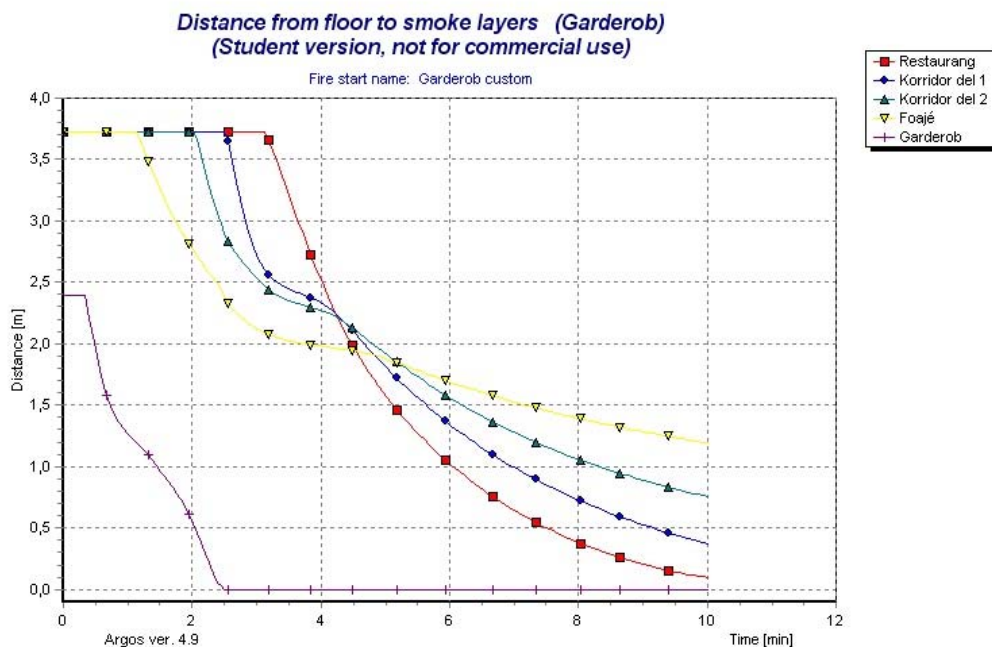
Heat radiation from smoke layers (teater brand)
(Student version, not for commercial use)



Figur I.3 Värmestrålning från brandgaslagret på scen och i salong

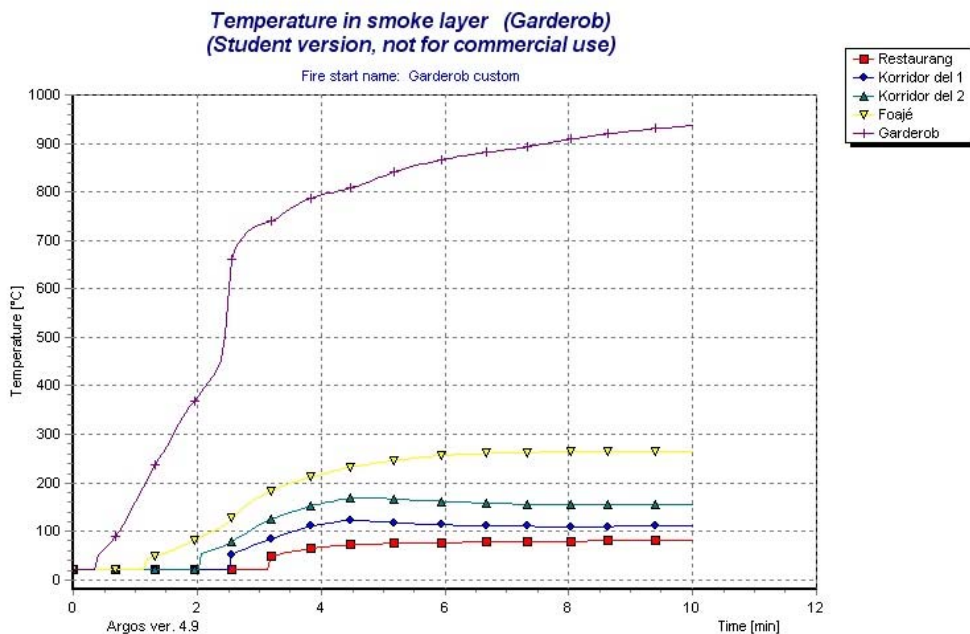
Bilaga J: Argos resultat garderob

Brandförloppet i garderoben är snabbt och efter ca. 1,5 minuter börjar brandgaslagret byggas upp i foajén.

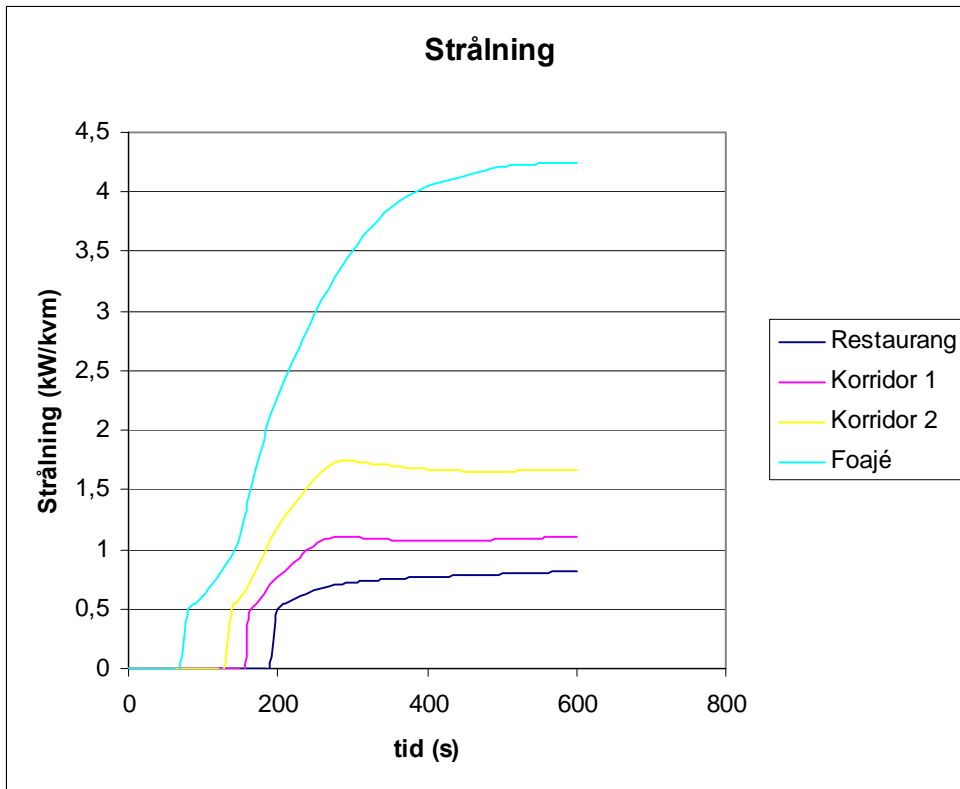


Figur J.1 Höjd från golvet till brandgaslagret

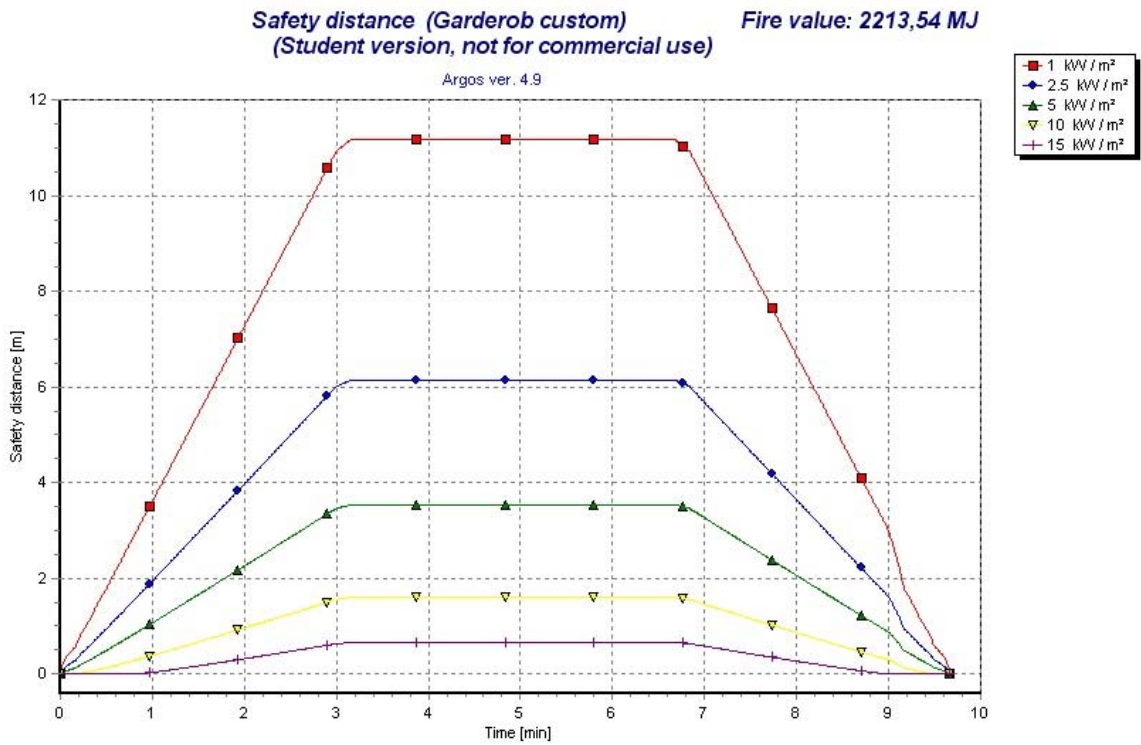
Temperaturen hos brandgaserna är väldigt hög i brandrummet, efter ungefär 10 minuter är den över 900°C. Även i de övriga rummen uppnås temperaturer på nästan 300°C och neråt. Se Figur J.2 för hela diagrammet.



Figur J.2 Temperatur i brandgaslagret i olika rum

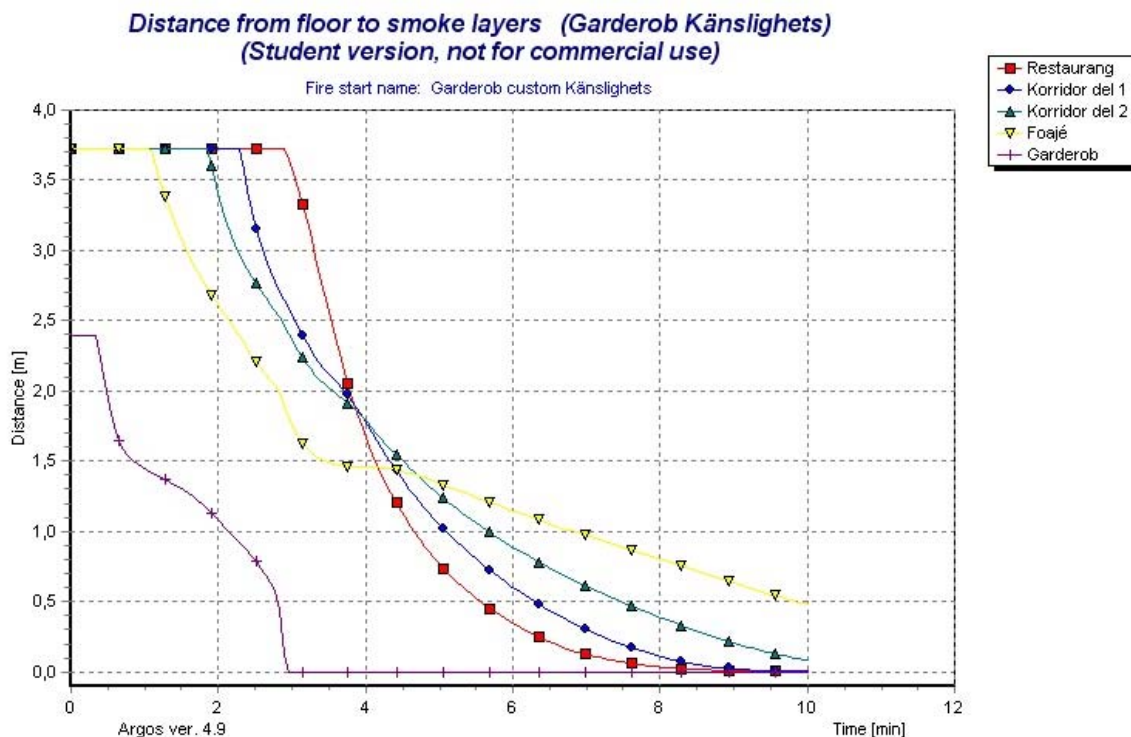


Figur J.3 Strålning mot golvet

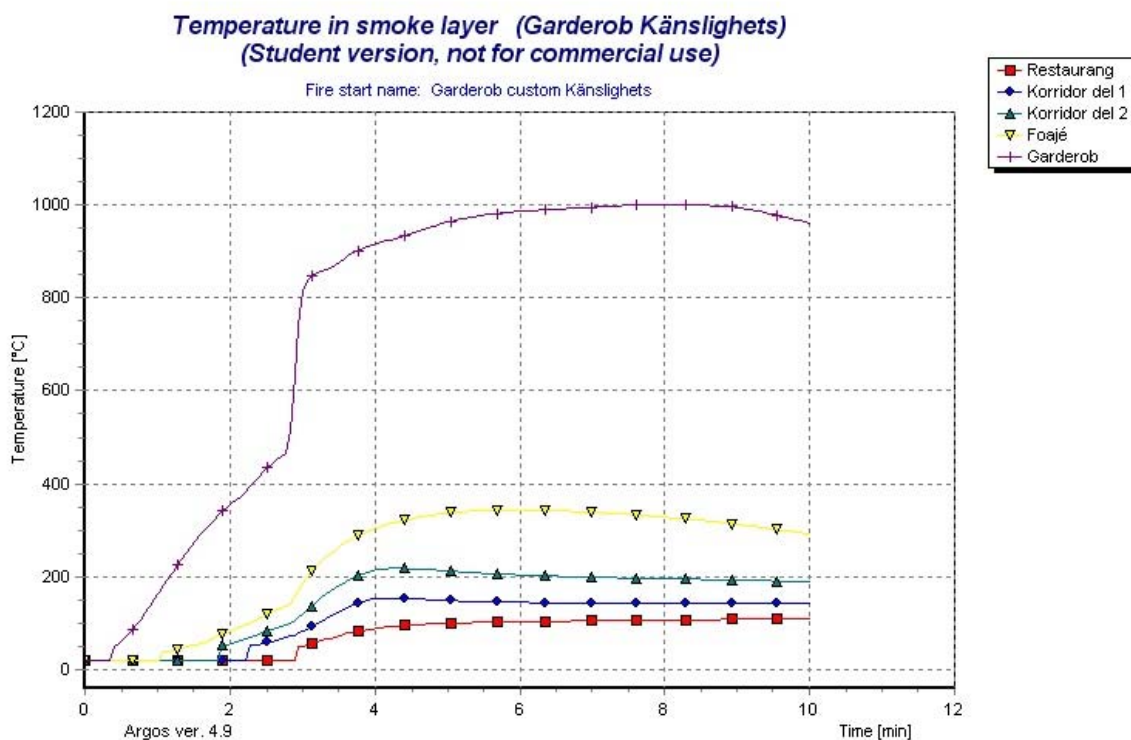


Figur J.4 Strålning på olika avstånd från branden

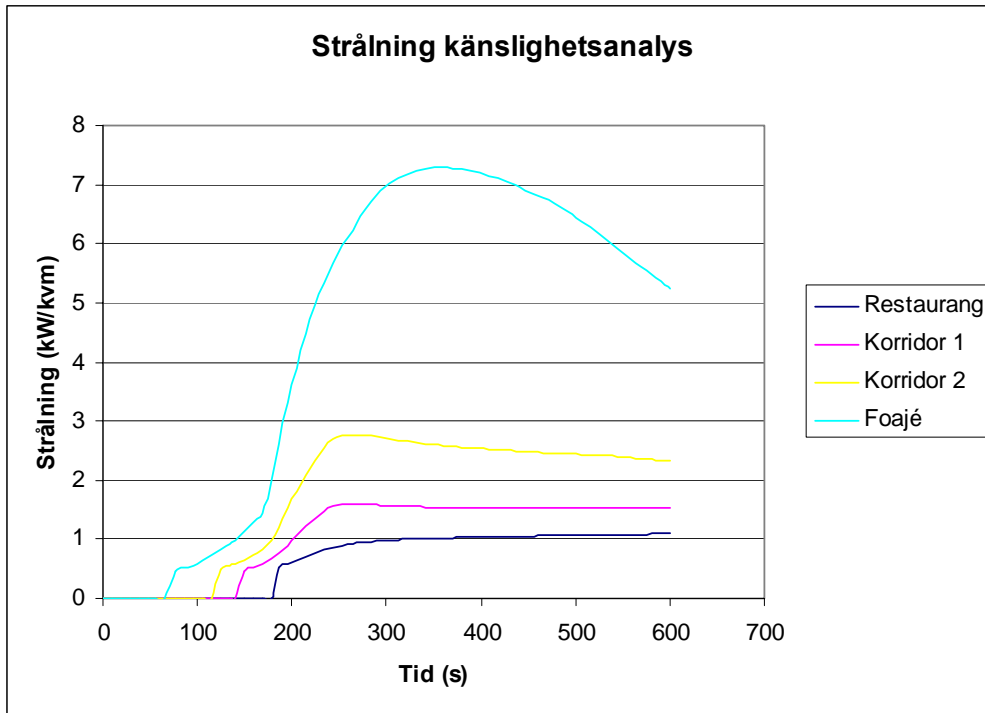
Bilaga K: Känslighetsanalys garderob



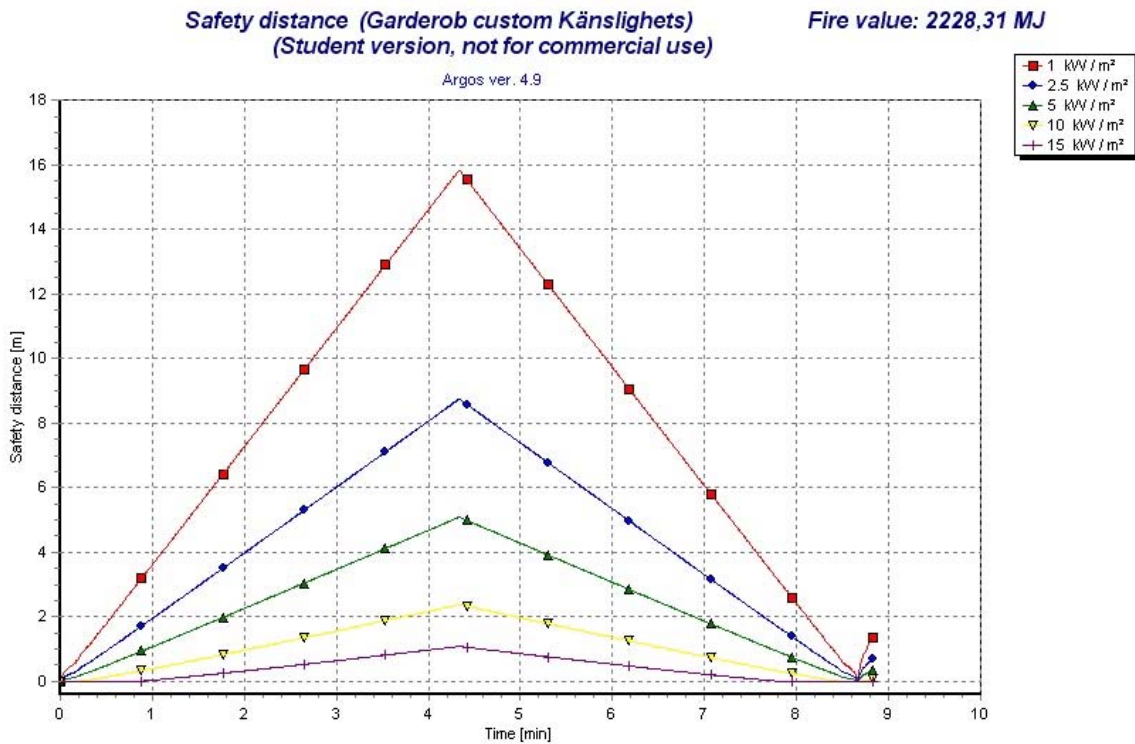
Figur K.1 Brandgaslagrets höjd



Figur K.2 Temperatur i brandgaslagret

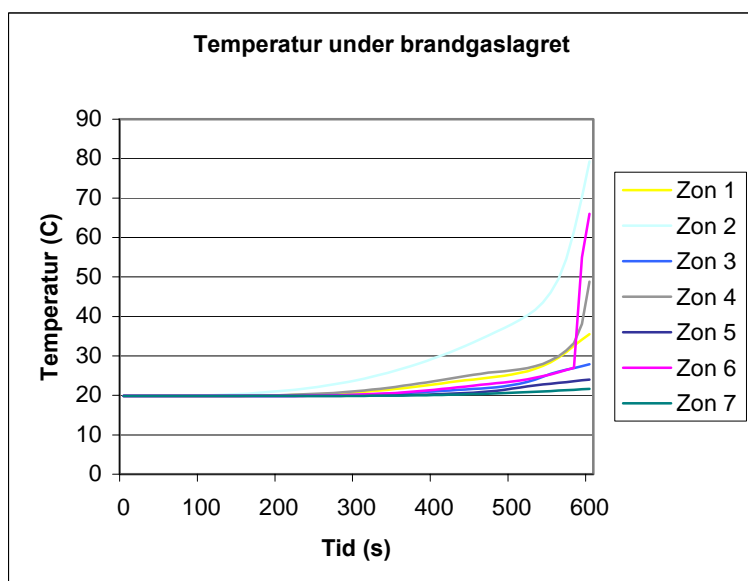
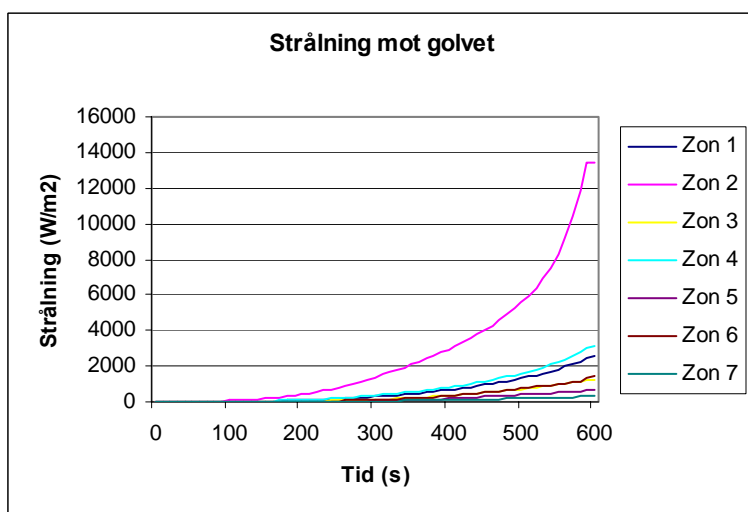
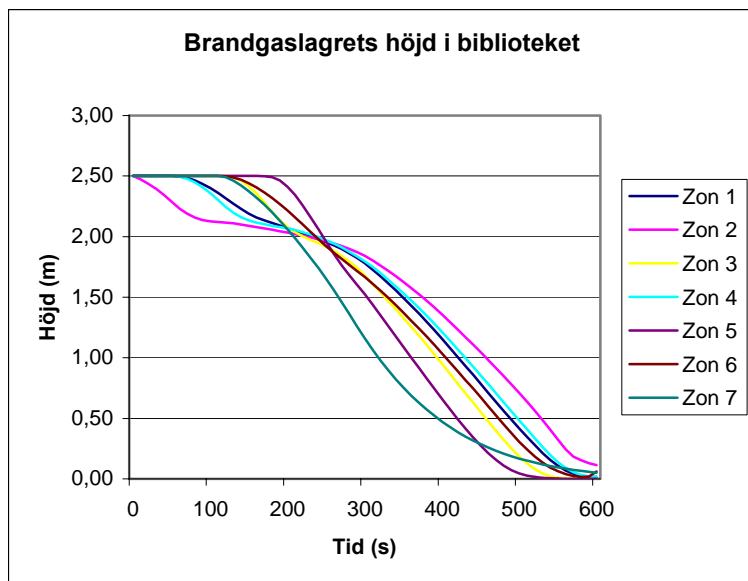


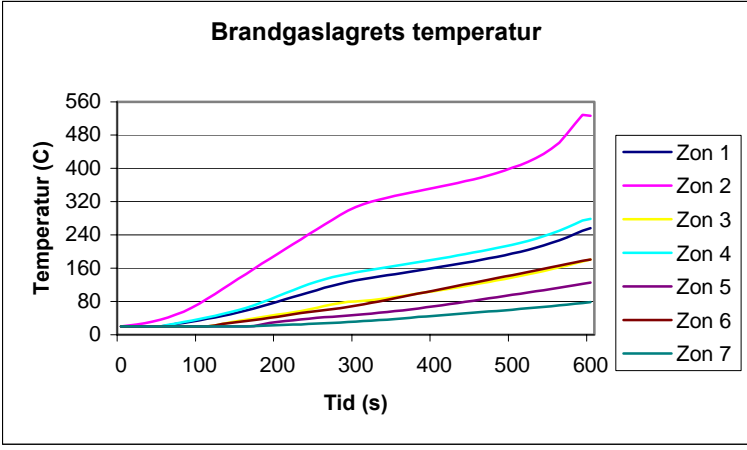
Figur K.3 Strålning mot golvet



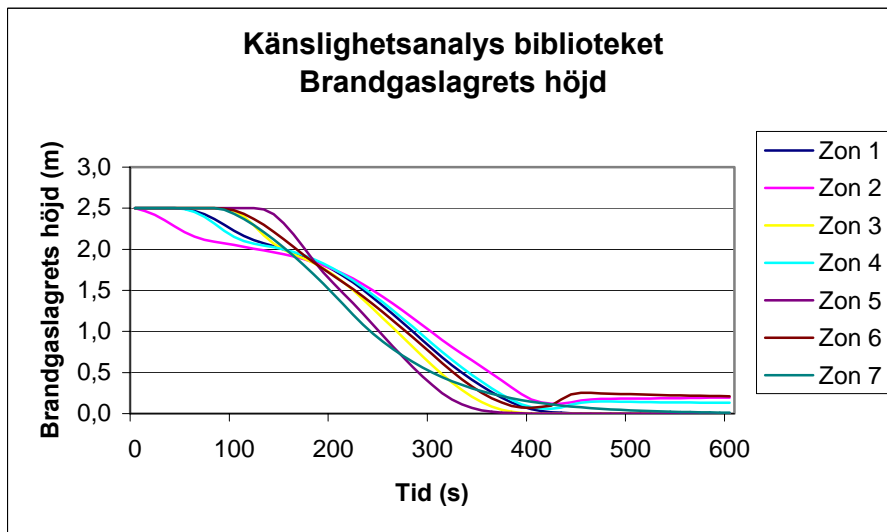
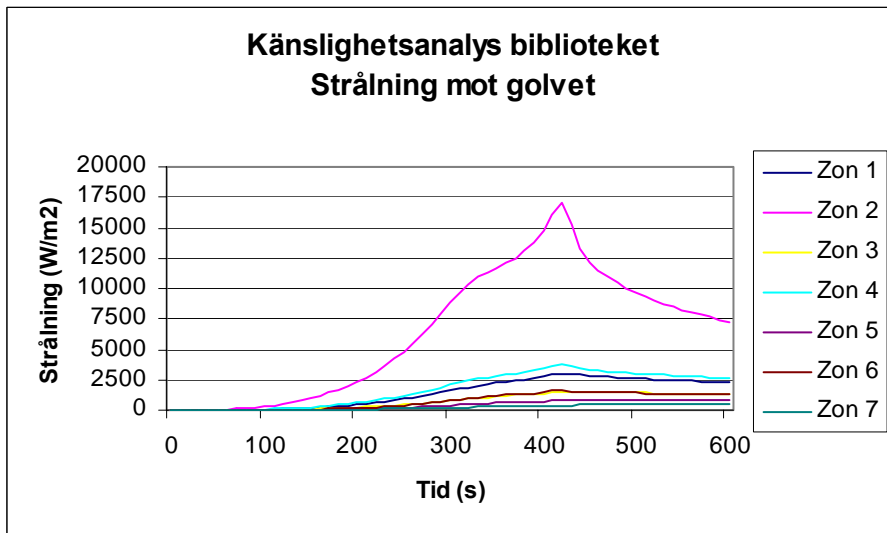
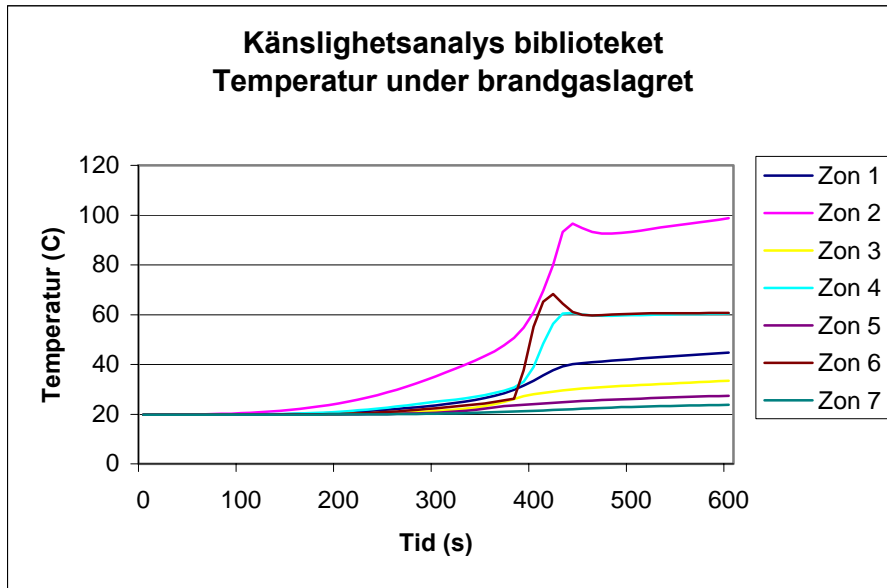
Figur K.4 Strålning på olika avstånd från branden vid känslighetsanalys

Bilaga L: CFAST resultat bibliotek

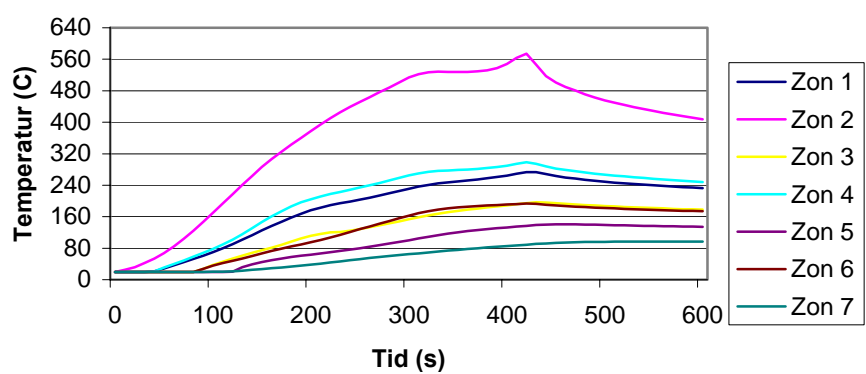




Bilaga M: Känslighetsanalys bibliotek



Känslighetsanalys biblioteket Temperatur i brandgaslagret



Bilaga N: Handberäkningar

Beräkning rökfyllnad

För att räkna ut tiden till kritisk höjd för brandgaslagret har Yamana-Tanakas modell för rökfyllnad använts.

Ekvationen ser ut enligt följande³⁴:

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

z = Brandgaslagrets höjd (m)

S = Golvyta (m^2)

α = Brandens tillväxtfaktor (kW / s^2)

t = Tiden (s)

H = Rumshöjden (m)

n = Tillväxtexponent från $\dot{Q} = \alpha t^n$

$$k = \frac{0.21}{\rho_g} \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3}$$

Om $n=2$ kan man lösa ut t ur ekvationen som då blir:

$$t = \left(\frac{S \cdot 5}{\alpha^{1/3} \cdot k \cdot 2} \cdot \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H^{2/3}} \right) \right)^{3/5}$$

För att ta fram k -värdet börjar man med att gissa ett värde på brandgasernas densitet. Den tid man sedan får fram stoppas in i följande ekvation:

$$\rho_g = \rho_a \left(1 - \frac{\alpha t^{n+1}}{(n+1)(H-z)Sc_p 353} \right)$$

Om densiteten är ungefär densamma som man gissade så har man fått fram en lösning. Om densiteten skiljer sig allt för mycket från den man gissat får man iterera med att räkna ut nytt k -värde med den nya densiteten.

Resultat

Beräkning av teatern har skett genom att först räkna ut tiden till att brandgaserna sjunkit till scenöppningen. Därefter har tiden till kritiska höjder räknats ut för läktaren och salongen. Genom att lägga ihop dessa tider fås den kritiska tiden. Tiden för kritisk nivå på scenen antas vara samma som i salongen.

³⁴ Karlsson, B. & Quintiere, J. G. (1999)

| | Teater scen | Teater salong läktare | Teater salong |
|----------|-------------|-----------------------|---------------|
| S | 189 | 346,5 | 346,5 |
| α | 0,19 | 0,19 | 0,19 |
| H | 14 | 11 | 11 |
| n | 2 | 2 | 2 |
| Z | 5,5 | 7,2 | 2,7 |

Tabell N.1 Ingångsvärden för rökfyllnadsberäkningar

| | Teater scenöppning | Teater salong läktare | Teater salong |
|----------------|--------------------|-----------------------|---------------|
| Tid (s) | 90s | 80s | 165s |

Tabell N.2 Tider till brandgaslagret har sjunkit till viss nivå

Tider till kritiska nivåer blir:

Läktaren i teatern: $90 + 80 = 170 \text{ s} = 2\text{min } 50\text{s}$

Teatern: $90 + 165 = 255 \text{ s} = 4\text{min } 25\text{s}$

Scenen: $255\text{s} = 4\text{min } 25\text{s}$

Beräkning av kolmonoxidhalt

Ur SFPE-handboken³⁵ kan mängden bildad kolmonoxid (yield) hittas för olika bränslen. Totala mängden bildad kolmonoxid räknas ut för det förbrända bränslets massa vid tidpunkten för kritisk höjd. Volymkoncentrationen räknas ut i brandgasernas volym vid den aktuella tiden. Dessa volymer har beräknats för brandgaslagrets tjocklek vid varje kritisk tidpunkt. Utrymningskriterierna³⁶ är att halten inte får överstiga 2000 ppm. Kolmonoxids densitet sätts till $1,145 \text{ kg/m}^3$ vid 25 grader ³⁷.

$$m_{CO} = Y_{CO} \cdot m_{\text{bränsle}}$$

$$V_{CO} = \frac{m_{CO}}{\rho_{CO}}$$

$$C_{CO} = \frac{V_{CO}}{V_{\text{brandgaser}}}$$

m_{CO} = massa bildad kolmonoxid [kg]

Y_{CO} = konstant för bildad kolmonoxid (kg CO / kg förbränt bränsle) [-]

$m_{\text{bränsle}}$ = massa förbränt bränsle [kg]

V_{CO} = Volymen bildad kolmonoxid [m^3]

ρ_{CO} = kolmonoxids densitet [kg/m^3]

C_{CO} = koncentration kolmonoxid

$V_{\text{brandgaser}}$ = Total volym av brandgaserna vid aktuell tidpunkt

³⁵ National Fire Protection Association & Society of Fire Protection (1998)

³⁶ Boverkets byggregler

³⁷ Internetreferens: Kolmonoxids densitet

| | Huvudsakligt material | Yield CO (g/g) |
|------------------|------------------------|----------------|
| Teater | Trä (medelvärde) | 0,0043 |
| Garderob | Polyester (medelvärde) | 0,0345 |
| Bibliotek | Trä (medelvärde) | 0,0043 |

Tabell N.3 Yields för de olika bränslen

Brandförlopp teater

| | Salong | Scen | Balkong |
|---|--------|-------|---------|
| Kritisk tid (min:sek) | 04:15 | 04:30 | 03:20 |
| Brandgaslagrets höjd | | | |
| Förbränd massa vid tid till kritisk höjd (kg) | 73 | 81 | 42 |
| Brandgasernas volym (m³) | 4879 | 5024 | 3257 |
| Koncentration CO i brandgaslagret vid kritisk höjd (ppm) | 57 | 61 | 50 |

Tabell N.4 Koncentration CO i brandgaslagret

Brandförlopp garderob

| | Restaurang | Korridor 1 | Korridor 2 | Fojé | Garderob |
|---|------------|------------|------------|-------|----------|
| Kritisk tid(min:sek) brandgaslager höjd | 04:30 | 04:40 | 04:50 | 03:40 | Brandrum |
| Förbränd massa vid tid till kritisk höjd (kg) | 172 | 184 | 195 | 115 | - |
| Brandgasernas volym (m³) | 1581 | 1643 | 1703 | 1202 | - |
| Koncentration CO i brandgaslagret vid kritisk höjd (ppm) | 3276 | 3372 | 3453 | 2887 | |

Tabell N.5 Koncentration CO i brandgaslagret

Känslighetsanalys garderob

| | Restaurang | Korridor 1 | Korridor 2 | Fojé | Garderob |
|---|------------|------------|------------|-------|----------|
| Kritisk tid (min:sek) brandgaslager höjd | 03:50 | 03:40 | 03:35 | 02:50 | Brandrum |
| Förbränd massa vid tid till kritisk höjd (kg) | 142 | 125 | 116 | 58 | - |
| Brandgasernas volym (m³) | 1882 | 1735 | 1587 | 973 | - |
| Koncentration CO i brandgaslagret vid kritisk höjd (ppm) | 2280 | 2173 | 2205 | 1799 | - |

Tabell N.6 Koncentration CO i brandgaslagret

Brandförlopp bibliotek

| | Zon 1 | Zon 2 | Zon 3 | Zon 4 | Zon 5 | Zon 6 | Zon 7 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Kritisk tid (min:sek) brandgaslagrets höjd | 04:50 | 05:00 | 04:30 | 04:50 | 04:30 | 04:30 | 03:50 |
| Förbränd massa vid tid till kritisk höjd (kg) | 22 | 25 | 18 | 22 | 18 | 18 | 11 |
| Brandgasernas volym (m³) | 1360 | 1482 | 1278 | 1360 | 1278 | 1278 | 891 |
| Koncentration CO i brandgaslagret vid kritisk höjd (ppm) | 49 | 63 | 53 | 49 | 53 | 53 | 47 |

Tabell N.7 Koncentration CO i brandgaslagret

Känslighetsanalys bibliotek

| | Zon 1 | Zon 2 | Zon 3 | Zon 4 | Zon 5 | Zon 6 | Zon 7 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Kritisk tid (min:sek) brandgaslagrets höjd | 03:10 | 03:00 | 03:00 | 03:10 | 03:10 | 03:00 | 02:50 |
| Förbränd massa vid tid till kritisk höjd (kg) | 26 | 22 | 22 | 26 | 26 | 22 | 19 |
| Brandgasernas volym (m³) | 1295 | 1168 | 1168 | 1295 | 1295 | 1168 | 1051 |
| Koncentration CO i brandgaslagret vid kritisk höjd (ppm) | 77 | 711 | 711 | 77 | 711 | 711 | 666 |

Tabell N.8 Koncentration CO i brandgaslagret

Siktberäkningar vid kritisk höjd

$$D_L = \frac{\ln 10}{sikt(m)}$$

$$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m}$$

$$D_0 = POD \cdot y_s$$

D_L = Optisk densitet per meter [m^{-1}]

D_0 = Rökpotential [m^2/g]

V = Volym brandgaser [m^3]

m = Massan förbränt ämne [g]

POD = Konstant, Particulate Optical Density ($7,6m^2/g$ för flambrand)

y_s = Yielden sot för förbränt ämne [-]

Brandförlopp Teater

$$D_0 = 0,039 m^2/g \text{ (plywood}^{38}\text{)}$$

| | Salong | Scen | Balkong |
|--|--------|-------|---------|
| Kritisk tid (min:sek) | 04:15 | 04:30 | 03:20 |
| Brandgaslagrets höjd | | | |
| Förbränd massa vid tid till kritisk höjd (kg) | 73 | 81 | 42 |
| Brandgasernas volym (m^3) | 4879 | 5024 | 3257 |
| Sikt i brandgaslagret vid kritisk höjd (m) | 4,6 | 4,0 | 3,7 |

Tabell N.9 Sikt i brandgaslagret

Brandförlopp Garderob

$$y_s = 0,075 \text{ (Nylon}^{39}\text{)}$$

| | Restaurang | Korridor 1 | Korridor 2 | Fojé | Garderob |
|--|------------|------------|------------|-------|----------|
| Kritisk tid(min:sek) brandgaslager höjd | 04:30 | 04:40 | 04:50 | 03:40 | Brandrum |
| Förbränd massa vid tid till kritisk höjd (kg) | 172 | 184 | 195 | 115 | - |
| Brandgasernas volym (m^3) | 1581 | 1643 | 1703 | 1202 | - |
| Sikt i brandgaslagret vid kritisk höjd (m) | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | - |

Tabell N.10 Sikt i brandgaslagret

³⁸ Kompendium i kursen Aktiva system

³⁹ National Fire Protection Association & Society of Fire Protection (1998)

Känslighetsanalys Garderob

| | Restaurang | Korridor 1 | Korridor 2 | Fojé | Garderob |
|--|------------|------------|------------|-------|----------|
| Kritisk tid (min:sek) brandgaslager höjd | 03:50 | 03:40 | 03:35 | 02:50 | Brandrum |
| Förbränd massa vid tid till kritisk höjd (kg) | 142 | 125 | 116 | 58 | - |
| Brandgasernas volym (m³) | 1882 | 1735 | 1587 | 973 | - |
| Sikt i brandgaslagret vid kritisk höjd (m) | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | - |

Tabell N.11 Sikt i brandgaslagret

Brandförlopp Bibliotek

$$D_0 = 0,039 \text{ m}^2/\text{g} \text{ (plywood}^{40}\text{)}$$

| | Zon 1 | Zon 2 | Zon 3 | Zon 4 | Zon 5 | Zon 6 | Zon 7 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Kritisk tid (min:sek) brandgaslagrets höjd | 04:50 | 05:00 | 04:30 | 04:50 | 04:30 | 04:30 | 03:50 |
| Förbränd massa vid tid till kritisk höjd (kg) | 22 | 25 | 18 | 22 | 18 | 18 | 11 |
| Brandgasernas volym (m³) | 1360 | 1482 | 1278 | 1360 | 1278 | 1278 | 891 |
| Sikt i brandgaslagret vid kritisk höjd (m) | 3,6 | 3,5 | 4,2 | 3,6 | 4,2 | 4,2 | 4,7 |

Tabell N.12 Sikt i brandgaslagret

Känslighetsanalys bibliotek

| | Zon 1 | Zon 2 | Zon 3 | Zon 4 | Zon 5 | Zon 6 | Zon 7 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Kritisk tid (min:sek) brandgaslagrets höjd | 03:10 | 03:00 | 03:00 | 03:10 | 03:10 | 03:00 | 02:50 |
| Förbränd massa vid tid till kritisk höjd (kg) | 26 | 22 | 22 | 26 | 26 | 22 | 19 |
| Brandgasernas volym (m³) | 1295 | 1168 | 1168 | 1295 | 1295 | 1168 | 1051 |
| Sikt i brandgaslagret vid kritisk höjd (m) | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,0 | 3,0 | 3,1 | 3,3 |

Tabell N.13 Sikt i brandgaslagret

Beräkning av personflöde genom dörr

Utrymningsdimensionering säger att för kända dörrar kan personflödet uppskattas med 1,1 pers/sm. För en dörr med bredden en meter är alltså flödet 1,1 pers/s. Breddas dörren till 1,5 meter blir flödet 1,65 pers/s. Detta innebär om t.ex. 100 pers köar förkortas kötiden från 90 till 60 sekunder.

⁴⁰ Kompendium i kursen Aktiva system

Bilaga O: Simulex indata och uppställning i teater

Utrymning 1 (Dimensionerande scenario)

Number of Floors = 2

Number of Staircases = 4

Number of Exits = 7

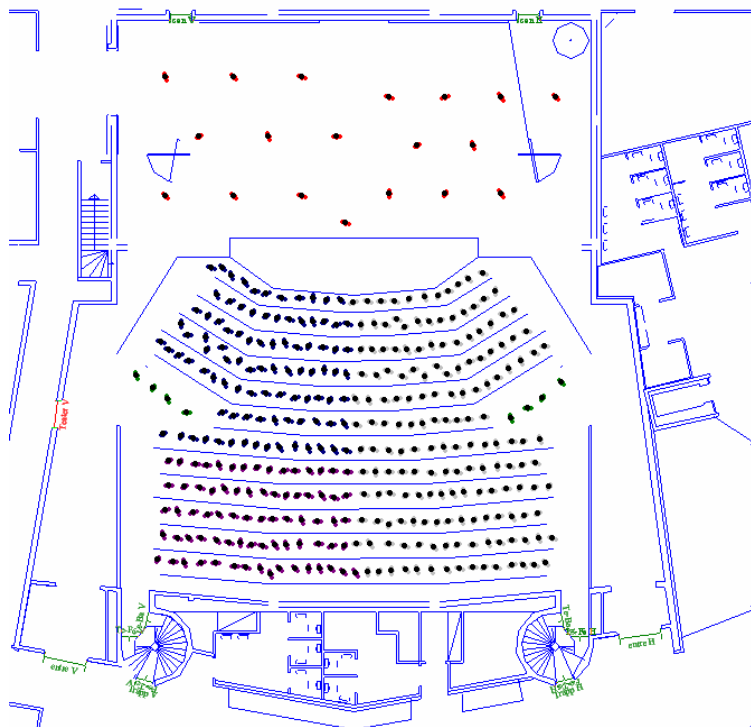
Number of Links = 8

Number of People = 425

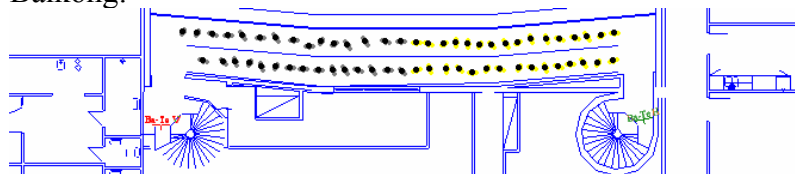
All people reached the exit in 3:29.1.

Simuleringsuppställning av individer vid start.

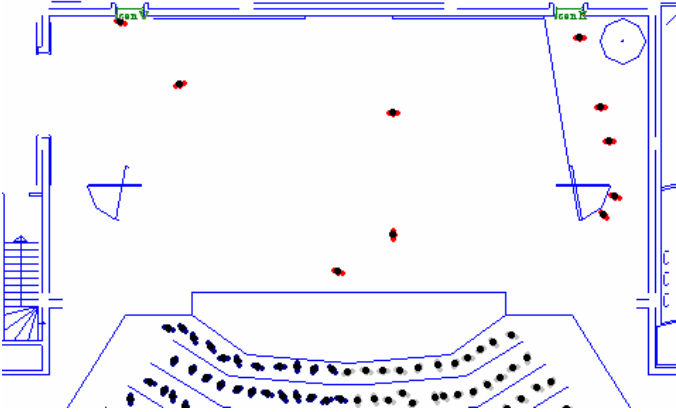
Salong och scen:



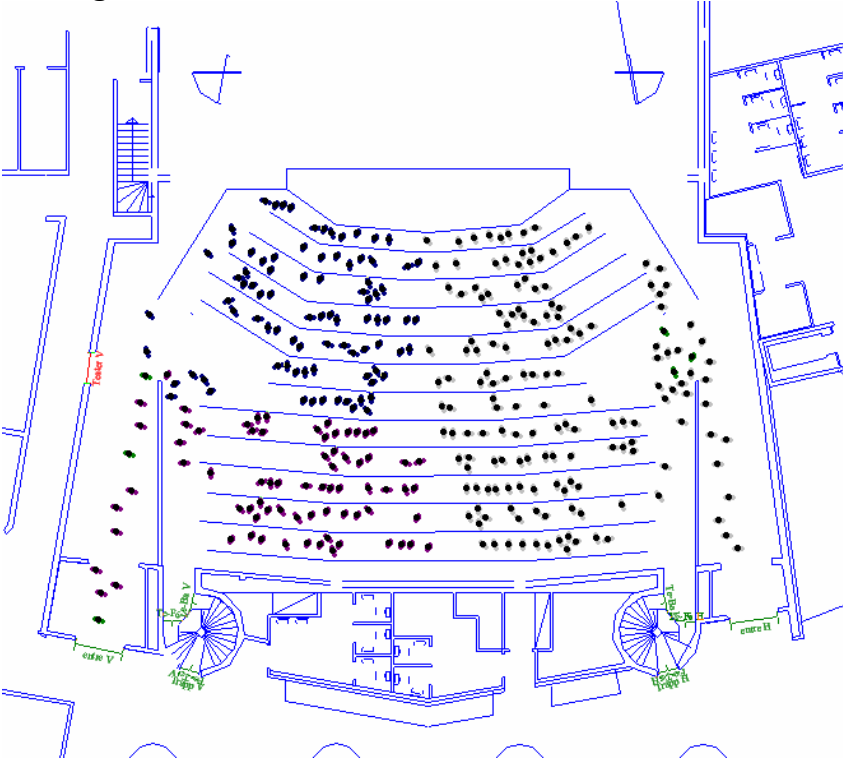
Balkong:



Scenen efter 53 sekunder:

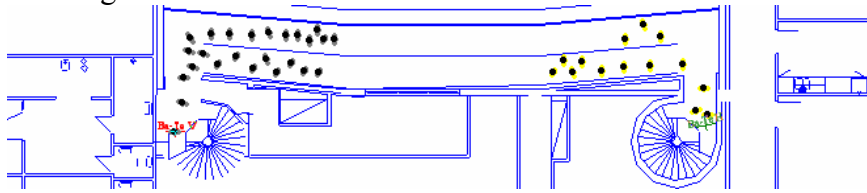


Salong efter 1 minut och 20 sekunder:

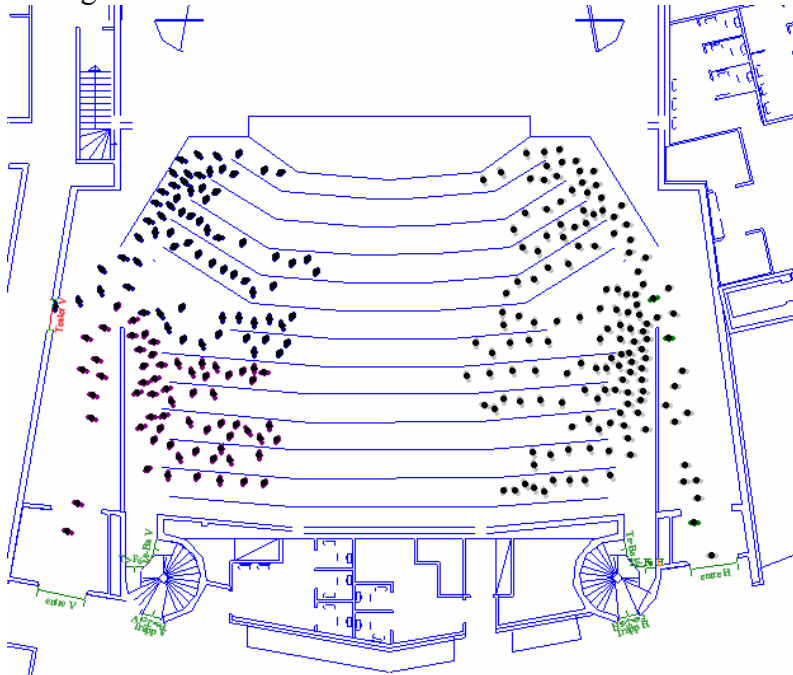


Efter 1 minut och 35sekunder:

Balkongen



Salongen



Utrymning 2 (Känslighetsanalys)

Number of Floors = 2

Number of Staircases = 4

Number of Exits = 7

Number of Links = 8

Number of People = 425

All people reached the exit in 4:11.0.

Bilaga P: Simulex indata och uppställning garderob

Utrymning 1 (Dimensionerande scenario)

Number of Floors = 1

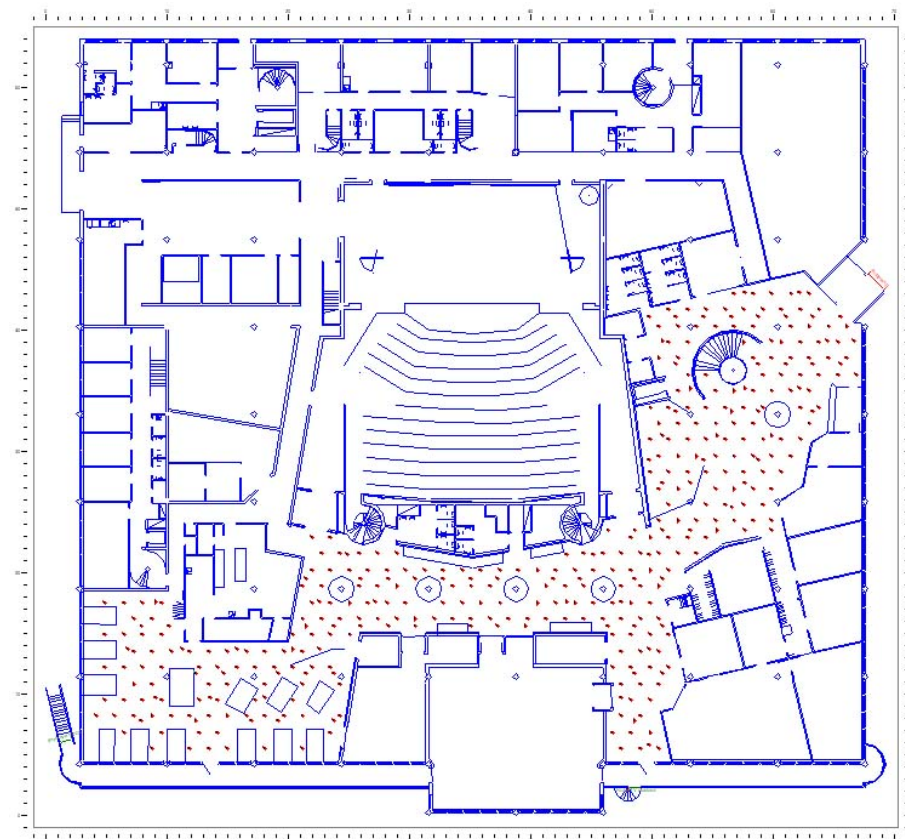
Number of Staircases = 0

Number of Exits = 3

Number of Links = 0

Number of People = 402

All people reached the exit in 3:16.7.



Utrymning 2 (Känslighetsanalys)

Number of Floors = 1

Number of Staircases = 0

Number of Exits = 3

Number of Links = 0

Number of People = 402

All people reached the exit in 3:26.3.

Samma uppställning som ovan

Utrymning 3 (Känslighetsanalys)

Number of Floors = 1

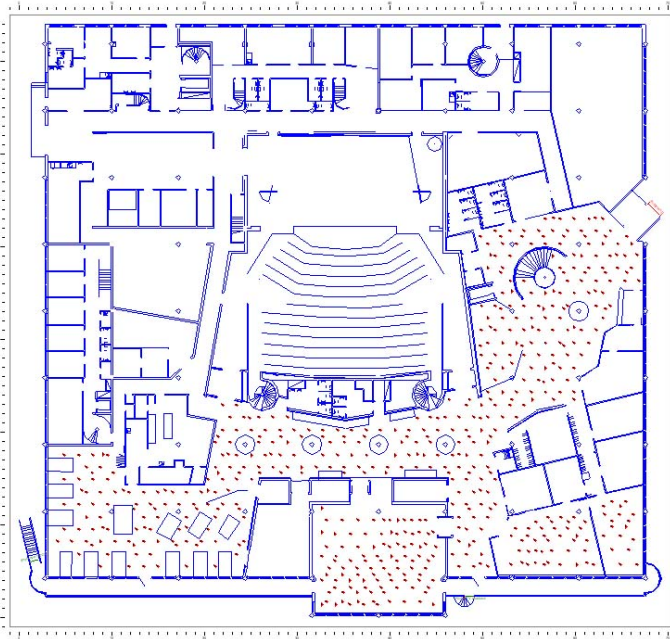
Number of Staircases = 0

Number of Exits = 3

Number of Links = 0

Number of People = 561

All people reached the exit in 4:04.3.



Utrymning 4 (Känslighetsanalys)

Alla går genom entrén

Samma uppställning som Utrymning 3.

Number of Floors = 1

Number of Staircases = 0

Number of Exits = 3

Number of Links = 0

Number of People = 561

All people reached the exit in 4:42.9.

Bilaga Q: Simulex indata och uppställning bibliotek

Utrymning 1 (Dimensionerande scenario)

Number of Floors = 3

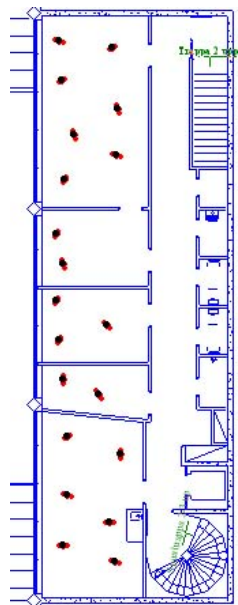
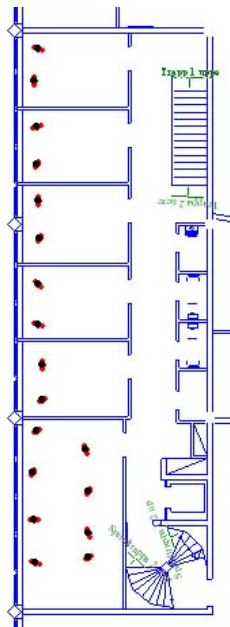
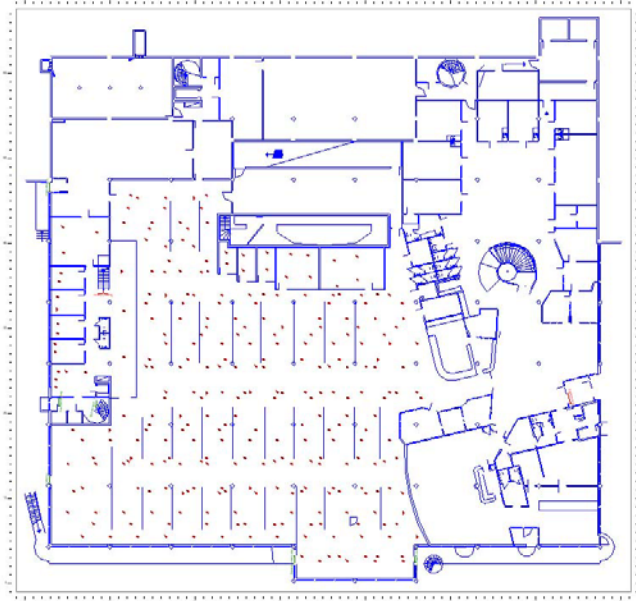
Number of Staircases = 4

Number of Exits = 6

Number of Links = 8

Number of People = 321

All people reached the exit in 2:55.8.



Utrymning 2 (Känslighetsanalys)

Number of Floors = 3

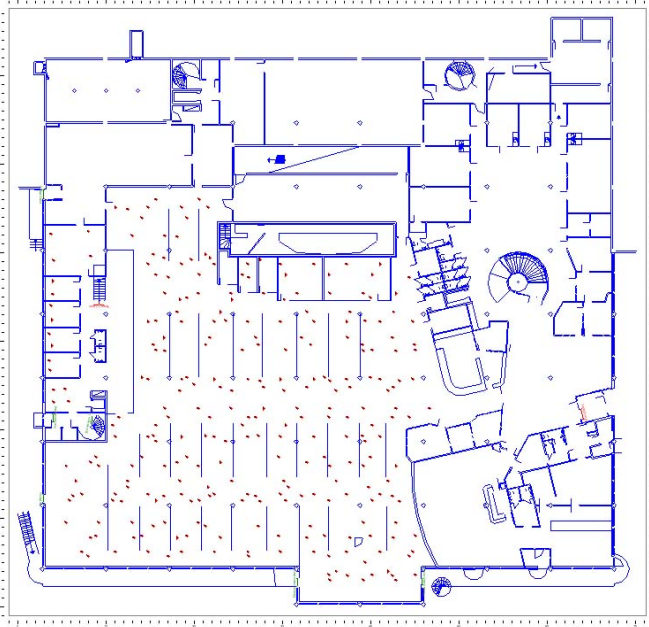
Number of Staircases = 4

Number of Exits = 6

Number of Links = 8

Number of People = 316

All people reached the exit in 5:02.2.



Utrymning 3 (Känslighetsanalys)

Number of Floors = 3

Number of Staircases = 4

Number of Exits = 6

Number of Links = 8

Number of People = 302

All people reached the exit in 2:58.2.



Utrymning 4 (Känslighetsanalys)

Number of Floors = 3

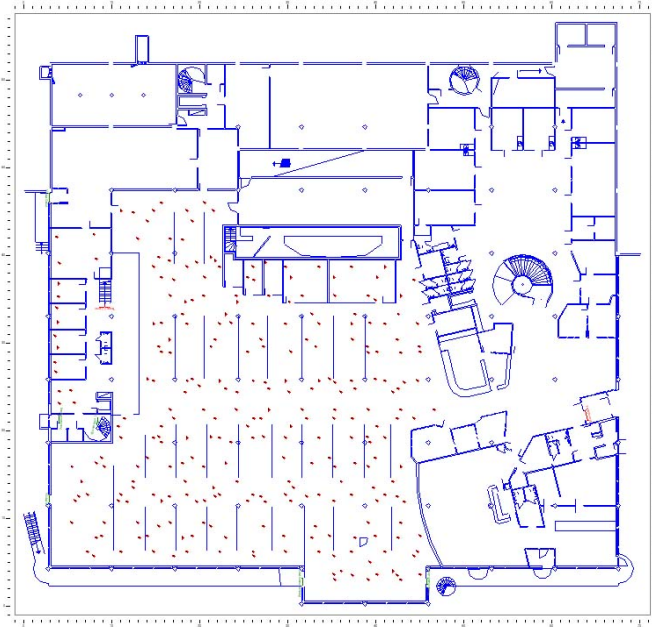
Number of Staircases = 4

Number of Exits = 6

Number of Links = 8

Number of People = 316

All people reached the exit in 3:42.3.



Bilaga R: Simulex indata och uppställning hela byggnaden

Utrymningsförlopp Max antal

Number of Floors = 5

Number of Staircases = 14

Number of Exits = 12

Number of Links = 28

Number of People = 985

All people reached the exit in 8:20.8.

Ändrad reaktions- beslutstid teater:

All people reached the exit in 5:11.7

Personplacering

Plan 1

Bibliotek: 235 personer samt 6 personal

Café sjöbris: 70 personer samt 2 personal

Plan 2

Teatern fullsatt: 407 personer samt 20 scenarbetare

Konferenslokal Kommunfullmäktige: 70 personer

Bibliotekspersonal: 6 personer

Plan 3:

Bibliotekspersonal: 6 personer

Plan 4:

Socialdemokraterna: 3 personer

LO: 1 person

Connova: 15 personer

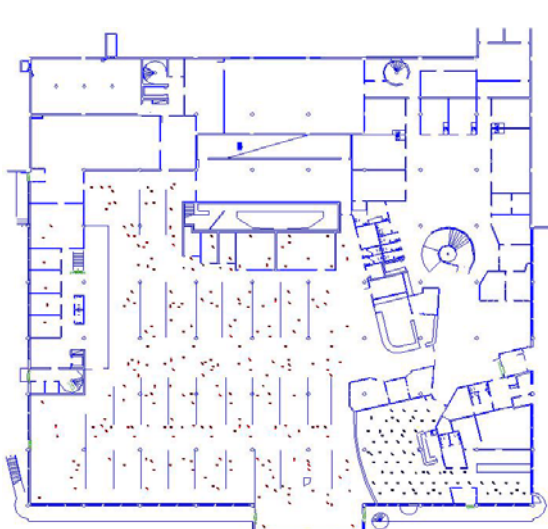
Konferenslokalen Repslagaren: 40 personer

Musikskolan: 45 elever samt 5 lärare

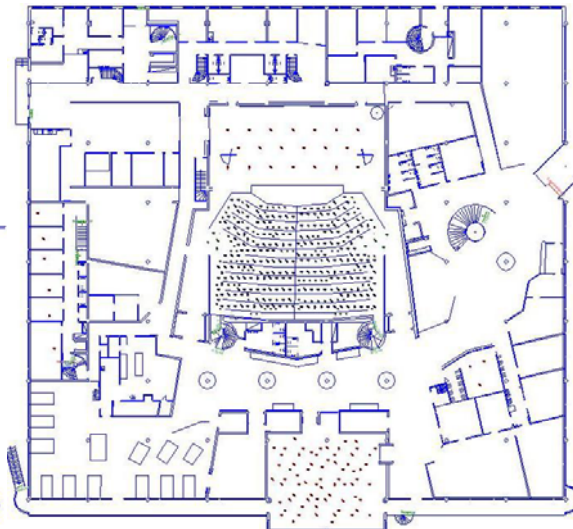
Plan 5:

Sisu: 4 personer

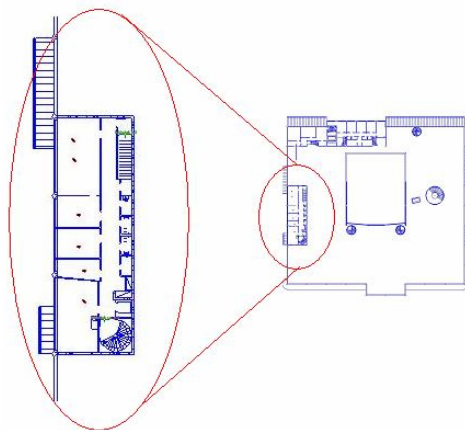
Musikskolan: 45 elever samt 5 lärare



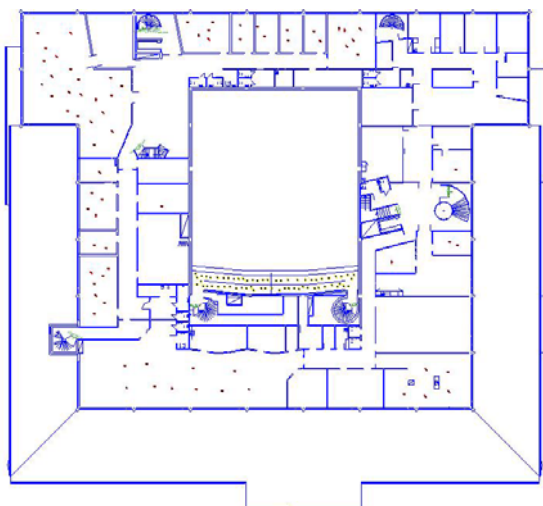
Figur R.1 Uppställning plan 1



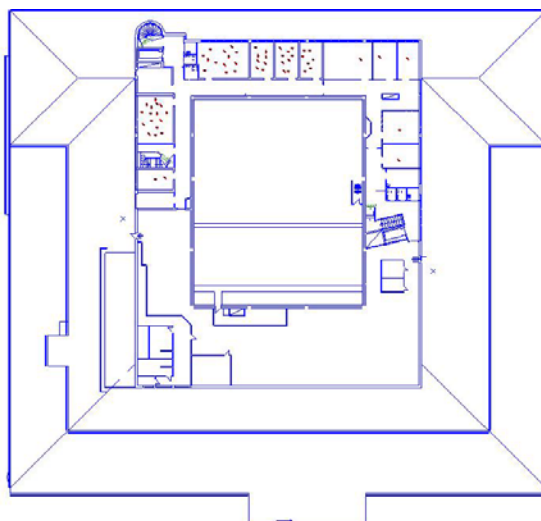
Figur R.2 Uppställning plan 2



Figur R.3 Uppställning plan 3



Figur R.4 Uppställning plan 4



Figur R.5 Uppställning plan 5

Utrymningsförlopp Dagtid

Number of Floors = 5

Number of Staircases = 14

Number of Exits = 12

Number of Links = 28

Number of People = 317

All people reached the exit in 4:37.3.

Personplacering

Plan 1

Bibliotek: 63 personer samt 6 personal

Sjöbris: 40 lunchgäster samt 3 personal

Plan 2

Konferenslokal Kommunfullmäktige: 70 personer

Bibliotekspersonal: 6 personer

Plan 3:

Bibliotekspersonal: 6 personer

Plan 4:

Socialdemokraterna: 3 personer

LO: 1 person

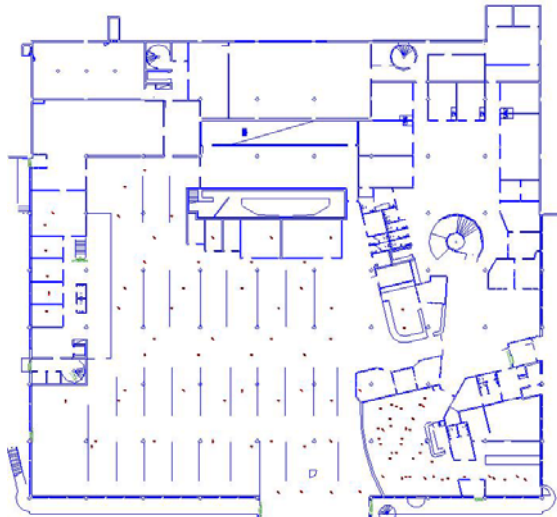
Connova: 15 personer

Musikskolan: 45 elever samt 5 lärare

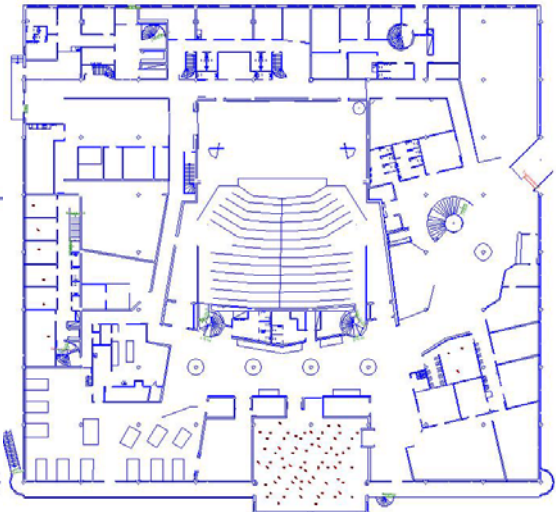
Plan 5:

Sisu: 4 personer

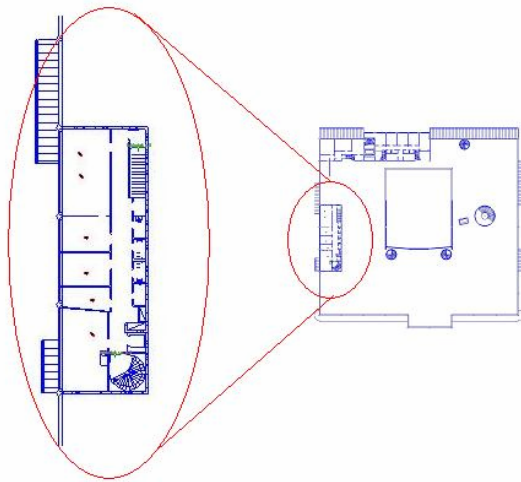
Musikskolan: 45 elever samt 5 lärare



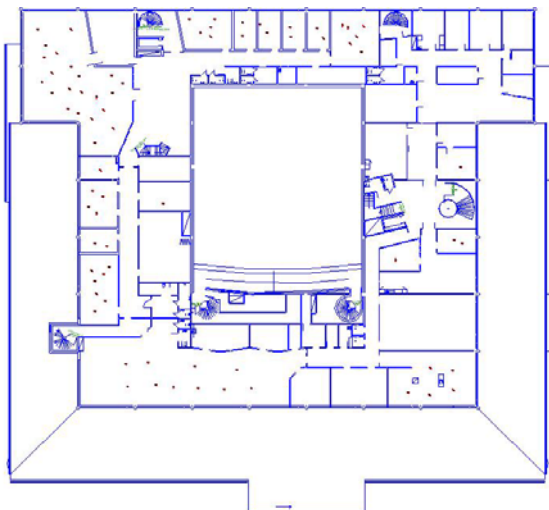
Figur R.6 Uppställning plan 1



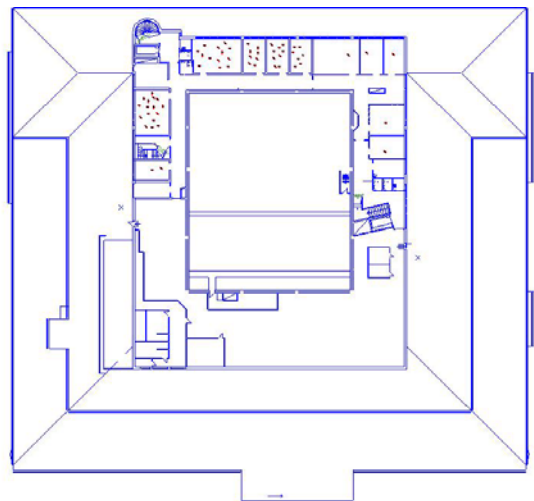
Figur R.7 Uppställning plan 2



Figur R.8 Uppställning plan 3



Figur R.9 Uppställning plan 4



Figur R.10 Uppställning plan 5

Utrymningsförlopp Kvällstid

Number of Floors = 5

Number of Staircases = 14

Number of Exits = 12

Number of Links = 28

Number of People = 519

All people reached the exit in 8:20.8.

Ändrad reaktions- beslutstid teater:

All people reached the exit in 4:52.4.

Personplacering

Plan 1

Bibliotek:

26 personer samt 3 personal

Café sjöbris:

60 personer samt 3 personal

Plan 2

Teatern fullsatt:

407 personer samt 20 scenarbetare

Plan 3:

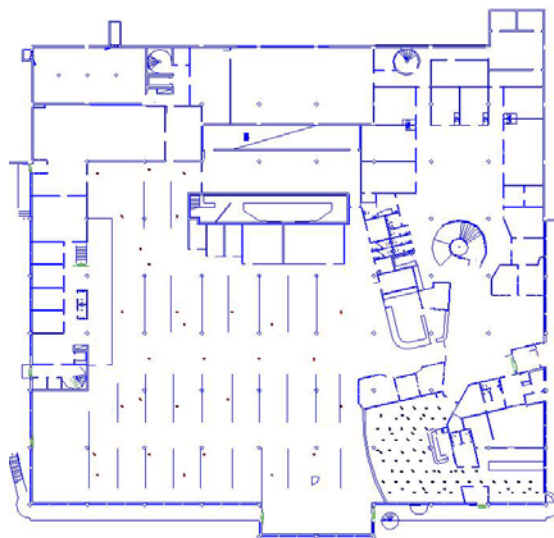
Tomt

Plan 4:

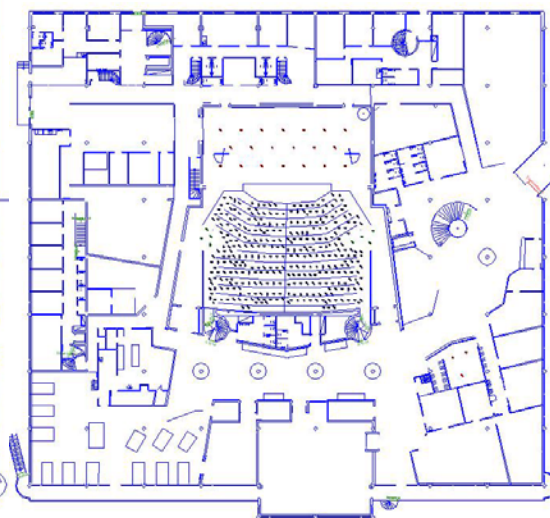
Tomt

Plan 5:

Tomt



Figur R.11 Uppställning plan 1



Figur R.12 Uppställning plan 2

Bilaga S: Enkätunderlag

Enkät: Motala Folkets Hus
Besökare

Klockslag: _____

- **Genom vilken ingång kom Ni in?**

Huvudentré Plan 1

Huvudentré Plan 2

Annan _____

- **Känner Ni till någon annan in- eller utgång, i så fall vilken?**

- **Vilken utgång hade Ni valt ifall brandlarmet hade gått?**

- **Hur ofta besöker Ni Folkets Hus?**

Enstaka gång per år

En gång i månaden

Varje vecka

- **Vilken åldersgrupp tillhör Ni?**

Barn

Ungdom

Vuxen

Pensionär

Tack för Er medverkan

Enkät: Motala Folkets Hus
Personal

Klockslag: _____

- **Vilken är Er arbetsplats?**

- **Vad är Er befattning?**

- **Hur länge har Ni arbetat här?**

- **Har Ni genomgått någon brandskyddsutbildning?**

Ja

Nej

- Om Ja, När genomgick Ni då denna?**

- Vad innefattade utbildningen, egna åsikter?**

- **Har Ni någon speciell uppgift vid utrymning av Folkets Hus?**

Ja, nämligen: _____

Nej

Vet ej

- **Har Ni medverkat vid någon utrymningsövning av Folkets Hus?**

Ja, år _____

Nej

Egna åsikter och önskemål om brandsäkerheten i Folkets Hus?

Tack för Er medverkan.

Bilaga T: Resultat enkätundersökning

Vid besöket på Folkets Hus gjordes två stycken enkätundersökningar. Den ena var till personalen för att se hur många som hade brandskyddsutbildning, samt se hur många som visste om de har någon uppgift vid utrymning. Enkäten till besökarna var tänkt att se hur många utrymningsvägar de känner till, samt vilken väg de skulle ha valt vid utrymning.

Besökare

De flesta enkätsvaren kom från besökare till biblioteket. Det berodde på att biblioteket hade flest besökare samt att det inte var någon aktivitet i konferenssalarna eller teatern på plan 2. Det är svaren från besökarna i biblioteket som är av störst intresse eftersom flera av nödutgångarna i biblioteket var fördragna med gardiner samt att de inte var så bra skyltade. Sammanlagt 31 personer svarade på enkäten.

| Känner till annan utgång | Antal | Procent |
|--------------------------|-------|---------|
| Ja | 14 | 45% |
| Nej | 17 | 55% |

Det bör tilläggas att de utgångar som folk kände till var utgången vid Café Sjöbris samt huvudentrén på plan 2.

| Utgång vid brand | Antal | Procent |
|-------------------|-------|---------|
| Huvudentré Plan 1 | 23 | 74% |
| Nödutgång | 8 | 26% |

Av de 8 personer som svarade att de skulle gå ut genom en nödutgång var det bara 2 stycken som svarade att de kände till någon nödutgång på frågan innan. Det verkar alltså som att många förutsätter att det ska finnas nödutgångar trots att de inte har sett dem. En annan förklaring kan vara att många har tolkat frågan fel. Det var också flera som kände till nödutgångar men skulle ha valt att gå ut genom huvudentrén vid utrymning. Att så många väljer att gå ut genom huvudentrén i biblioteket har tagits hänsyn till vid simuleringen i Simulex.

| Hur ofta besöker Ni Folkets Hus? | Antal | Procent |
|----------------------------------|-------|---------|
| Enstaka gång per år | 5 | 16% |
| En gång i månaden | 11 | 36% |
| Varje vecka | 15 | 48% |

Värt att notera är att det bara var två stycken av de som besöker Folkets Hus varje vecka som svarade att de känner till någon nödutgång.

Av dem som svarade på enkäten fanns inga barn. En stor majoritet, ungefär två tredjedelar, av de svarande var vuxna. Av de övriga var ungefär hälften tonåringar och hälften pensionärer.

Personal

Svaren från personalen har delats upp i två grupper, Bibliotekspersonal samt Övrig personal.

Bibliotekspersonal

Det var elva stycken som svarade på enkäten. Det var några till som jobbade dagen då undersökningen gjordes men de ville inte vara med på grund av att de hade lunchrast. Arbetstiden hos de som svarat varierar mycket, men generellt kan man säga att de flesta som svarat har jobbat väldigt länge. Medelarbetstiden är 15,5 år och meridianarbetstiden är 14 år. Av de övriga synpunkter som kom in på enkäten kan sägas att det var många som tyckte att brandlarmet hörs väldigt dåligt, om det ens hörs alls, på de övre personalvåningarna.

| Brandskyddsutbildning | Antal | Procent |
|-----------------------|-------|---------|
| Ja | 6 | 55% |
| Nej | 5 | 45% |

| Särskild uppgift vid utrymning | Antal | Procent |
|--------------------------------|-------|---------|
| Ja | 3 | 27% |
| Nej | 4 | 36% |
| Vet ej | 4 | 36% |

| Har varit med om utrymningsövning | Antal | Procent |
|-----------------------------------|-------|---------|
| Ja | 0 | 0% |
| Nej | 11 | 100% |

Övrig personal

Denna grupp består av personer som arbetar i andra delar av folkets hus än biblioteket. Svar har kommit in från alla verksamheter i huset. Däremot är det svårt att säga hur stor andel av de som jobbar i huset som har svarat. Totalt 23 stycken svarade på enkäten. De övriga synpunkterna på brandskyddet varierade ganska mycket. Någon tyckte brandskyddet var bra, andra ville ha brandskyddsutbildning. Arbetstiden för de svarande i denna grupp var betydligt lägre än för bibliotekspersonalen. Medelarbetstiden var 7 år och meridian arbetstiden var 5 år.

| Brandskyddsutbildning | Antal | Procent |
|-----------------------|-------|---------|
| Ja | 9 | 39% |
| Nej | 14 | 61% |

| Särskild uppgift vid utrymning | Antal | Procent |
|--------------------------------|-------|---------|
| Ja | 3 | 13% |
| Nej | 12 | 52% |
| Vet ej | 8 | 35% |

| Har varit med om utrymningsövning | Antal | Procent |
|-----------------------------------|-------|---------|
| Ja | 2 | 9% |
| Nej | 21 | 91% |

