



LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA
Lunds universitet

Avdelningen för Brandteknik

Lunds Tekniska Högskola

Brandteknisk Riskvärdering

Domarhagsskolan

Rapport nr: 9262

Handledare:

Henrik Jönsson

Gustaf Sandell

Av:

Fredrik Handeland

Henrik Nordenstedt

Michael Strömgren

Niclas Åhnberg

Brandingenjörsprogrammet
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 Lund
Telefon: 046 - 222 73 00
brand@brand.lth.se

Department of Fire Safety Engineering
Lund University
Box 118
221 00 Lund
Telephone: +46 46 - 222 73 00
brand@brand.lth.se

Titel
Brandteknisk riskvärdering av Domarhagsskolan

Title
Fire safety evaluation of Domarhagsskolan

Rapport nr 9262

Av/By
Fredrik Handeland
Henrik Nordenstedt
Michael Strömgren
Niclas Åhnberg

Abstract

This report is a fire safety evaluation of the high school Domarhagsskolan in Avesta. The evaluation has been focused on personal safety during evacuation of the building in case of fire. The project is the major part of the course Fire Safety Evaluation (VBR 054) made by third-year Fire Safety Engineering students at Lund University. A qualitative description and analysis of the object was made assess to the greatest fire safety risks. Evaluation of the fire safety situation has been done with the use of equations, 2-zone-modelling, CFD-modelling and computer simulated egress situations in Simulex. A sensitivity and uncertainty analysis was performed to identify the crucial parts of the fire safety. The result is presented as recommendations of changes necessary that shall, or should be done to lift the fire safety to a satisfactory level. The café Hallongrottan ought to be closed, the sprinkler system in the theatre ought to be inspected and magnetic door closers in the corridors ought to be installed.

Keywords

Domarhagsskolan, Avesta, School, Theatre, CFAST, FDS

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 skall därför användas med stor försiktighet. Den som åberopar resultaten från rapporten i något sammanhang bär själv ansvaret.

Förord

Detta är första gången vi blivit frisläppta och fått använda våra kunskaper från diverse olika kurser i ett större projekt. Det kan jämföras med när en svalunge ska lära sig att flyga. Först har vi blivit ”matade” med kunskaper under en längre tid och nu var det dags att ta steget ut i det fria och prova våra vingar. Vi kan konstatera att vingarna bar och det vi inte kunde innan har gått att lära.

Trots våra tidigare kunskaper har vi varit tvungna att ta ett par extra ”flyglektioner”, för att få lite upplysningar och hjälp, från de mer rutinerade ”flygarna”.

Vi vill därför speciellt tacka följande personer:

Lars Jensen, Installationsteknik LTH, för konsultation angående ventilationsfrågor

Daniel Gojkovic, Brandteknik LTH, för konsultation i bland annat FDS

Göran Holmstedt, Brandteknik LTH, för alla bra svar på våra frågor

Henrik Jönsson, Brandteknik LTH, för allt det tålamod som krävts för att vara vår handledare

Gustav Sandell och Södra Dalarnas Räddningstjänstförbund för mat, logi och all hjälp vid fick vid vårt studiebesök i Avesta.

Kevin McGrattan, NIST, för hans tålamod med att svara på frågor rörande FDS

Killarna på Fireforum, vars desperation har hjälpt oss när motivationen truttit

Underhållschefen, för svar och hjälp med bilder

“I have consulted the fds4 manual, and once again it was as helpfull as a kick in the pants.” – Desperat FDS-användare

Lund 2005-11-29

Sammanfattning

Denna rapport är en brandteknisk riskvärdering utförd på huvudbyggnaden i Domarhagsskolan i Avesta, Dalarna. Skolan är relativt stor och innefattar både gymnasium och högstadie med totalt 1260 elever. Skolan är äldre än dagens byggregler som därför inte är direkta krav utan mer verkar som riktvärden för utvärderingen. Då objektet är så pass omfattande har arbetet avgränsats för att passa kursens omfattning.

Syftet med rapporten är främst undervisningssyftet. Rapporten ingår som ett moment i kursen Brandteknisk Riskvärdering (VBR054) som ges av Avdelningen för Brandteknik, LTH. Tillsammans med en handledare har utrymningssäkerheten utvärderats.

I rapporten ges en objektsbeskrivning för att läsaren ska få en överblick av objektet. Troliga och mindre troliga scenarier diskuteras och leder med hjälp av konsekvensberäkningar fram till ett slutligt val av scenarier som bör behandlas ytterligare. Då objektet är en skola visar statistik på hög frekvens av anlagda bränder. De tre scenarier som har behandlats i detalj är brand i gymnasiekafeterians undre källarplan, teaterns scenkällare samt en underventilerad brand i en slöjdsal i högstadiedelen. Gymnasiets kafeteria ligger under markytan och består av två källarplan. Det undre av de två planen har en smal trappa som enda utrymningsväg. Det kan vistas mycket folk i lokalen och det finns också mycket brännbart material. Teaterns scenkällare innehåller mycket brännbart material och branden kan tillväxa en längre tid innan den upptäcks. Det vistas mycket folk i teatern och utrymningstiden kan därför bli lång. Brand i slöjdsalen är intressant på grund av den sluttande korridoren, utan självstängande dörrar, som förbinder högstadiedelen med matsalen.

Dimensionerande bränder med respektive effektkurva väljs och tider för kritiska förhållanden beräknas. Beräkningarna görs för hand samt i datorprogrammen CFAST och FDS. I fallet med brand i scenkällare är geometrin utanför tvåzonsmodellens begränsningar och därför är det enda beräkningssätt som är tillämpligt FDS. Kritiska förhållanden undersöks med avseende på rökfylldhet, toxicitet, temperatur, strålning

och försämrad sikt. Tiden innan kritiska förhållanden uppstår jämförs med utrymningssimuleringar utförda i programmet Simulex för att se hur många som hinner ut.

Som resultat av beräkningarna har det visat sig att det nedre källarplanet i kafeterian skall stängas. Detta då större delen av personerna i lokalen inte hinner utrymma vid brand om det vistas lika många personer där som det är tänkt, fyrtio personer.

Vid ett brandscenario i teatern kommer förmodligen alla kunna utrymma innan kritiska förhållanden uppstår även om inte något aktivt system utlöser. Osäkerhet i beräkningarna finns dock vilket innebär att sprinklersystemet i scenkällaren skall besiktigas för att höja både personsäkerheten och egendomsskyddet.

Sektionering i högstadiedelen skall förbättras. Om brand med kraftig rökutveckling inträffar i högstadiedelen i skulle matsalen snabbt fyllas med brandgaser och sikten bli mycket liten. Automatiska dörrstängare i korridorerna skall därför installeras.

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Syfte	1
1.2	Metod	2
1.3	Avgränsning	2
1.4	Skadekriterier	3
2	Objektsbeskrivning	5
2.1	Byggnaden och dess verksamhet	5
2.2	Högstadiedel	6
2.3	Gymnasiedelen.....	8
2.4	Teaterdelen.....	10
2.5	Befintligt Brandskydd	14
2.6	Utrymning	18
2.7	Tillsynsrapporter	18
3	Scenarier	19
3.1	Scenariebeskrivning	19
3.2	Statistik	23
3.3	Grov riskanalys	25
3.4	Slutgiltigt scenarieval.....	30
4	Scenario 1 – Hallongrottan	31
4.1	Effektkurva	31
4.2	Brandsimulering med CFAST	32
4.3	Utrymningssimulering med Simulex	35
4.4	Jämförelse mellan brand och utrymningssimuleringar	37
4.5	Känslighetsanalys	37
4.6	Slutsats	38
5	Scenario 2 – Scenkällare	39
5.1	Effektkurva	39
5.2	Handberäkningar på brandgasfyllnad	41
5.3	Brandsimulering med CFAST	42
5.4	Brandsimulering med FDS	45
5.5	Jämförelse mellan simuleringar och handberäkningar	50
5.6	Utrymningssimulering med Simulex	51
5.7	Jämförelse mellan brand och utrymningssimuleringar	54
5.8	Känslighetsanalys	54
5.9	Slutsats	56
6	Scenario 3 – Matsalar	59
6.1	Effektkurva	61
6.2	Handberäkningar på brandgasfyllnad i matsalen.....	61
6.3	Känslighetsanalys	62
6.4	Slutsatser	63
7	Värdering av personsäkerhet	65
7.1	Förbättringar som skall göras.....	65
7.2	Förbättringar som bör göras.....	67
8	Referenser	71
8.1	Litteratur	71
8.2	Muntliga källor.....	71
8.3	E-mail.....	72
8.4	Elektroniska källor	72

9	Appendix.....	73
	Appendix A - Instruktion till personal	73
	Appendix B - Tillsynsrapport	75
	Appendix C - Statistik bränder i skola 1996-2004.....	81
	Appendix D - Diagram för effektkurvor	83
	Appendix E - Handberäkningar	84
	Appendix F - Beskrivning av CFAST	92
	Appendix G - Diagram från simuleringar i CFAST	95
	Appendix H - Beskrivning av Fire Dynamics Simulator.....	98
	Appendix I - Indata och utdata i Fire Dynamics Simulator	102
	Appendix J - Beskrivning av Simulex	109
	Appendix K - Utdatafiler från Simulex	111
	Appendix L - Känslighetsanalys.....	118

1 Inledning

Denna rapport utgör huvudmomentet i kursen Brandteknisk Riskvärdering på Brandingenjörsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola. I kursen, som ges under tredje utbildningsåret, skall studenterna kunna tillämpa kunskaper från tidigare kurser såsom Branddynamik och Brandkemi samt kunna förstå och tillämpa de utrymningsmodeller som finns. Rapporten är ett resultat av ett grupprojeckt där personsäkerheten på ett tilldelat objekt utreds, i detta fall handlar det om Domarhagsskolan i Avesta. Skolan är en gammal byggnad som inte har skyldighet att upprätta en brandskydds-dokumentation förrän större ombyggnation sker. Då det inte har varit någon ombyggnad sedan 1990 gäller inte dagens byggnadsregler utan de från 1990. Ur ett lagligt och samhällsansvarigt perspektiv har skolan en skyldighet att se till att byggnaden håller en rimlig säkerhetsnivå med avseende på, personsäkerhet, insats-möjligheter och skadebegränsning vid brand. Räddningstjänsten har möjlighet att ställa krav enligt lagen om skydd mot olyckor.

Till projektgruppen tilldelades en handledare på Avdelningen för Brandteknik och en kontaktperson på den lokala räddningstjänsten. Föreläsningar som skall vara till stöd för bedömningen av brandsäkerheten sker kontinuerligt under kursens gång.

1.1 Syfte

Syftet med grupprojecktet är att studenterna under arbetet med rapporten ska få övning i att tillämpa regelverk, beräkningsmodeller och rapportskrivning. Studenterna skall få grundlig insikt i begränsningarna hos olika beräkningsmodeller och hjälpmedel, vilka antaganden som är rimliga samt hur olika parametrar påverkar personsäkerheten i en byggnad.

Rapporten har som mål att utvärdera personsäkerheten vid brand på Domarhagsskolan samt ge förslag på förbättringar.

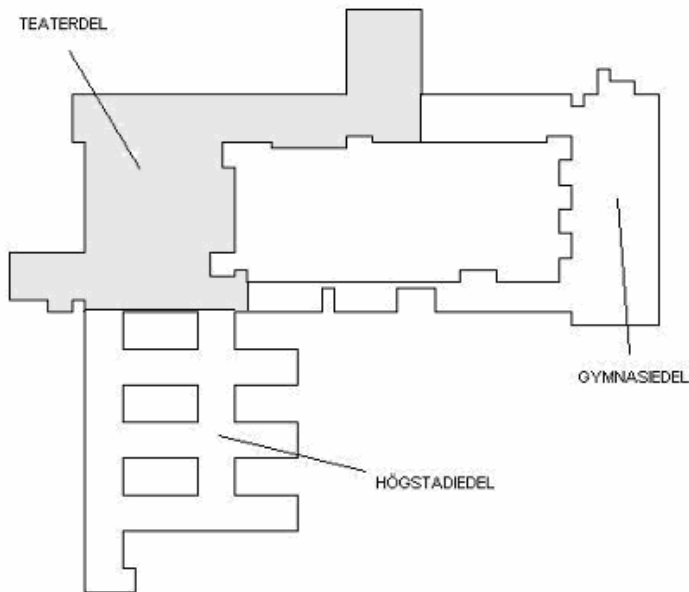
1.2 Metod

För att utvärdera personsäkerheten vid brand görs en studie av byggnaden och verksamheten. Som hjälp till att studera byggnaden görs ett studiebesök. På grund av objektets omfattning avgränsas arbetet till de delar som är mest kritiska ur säkerhets-synpunkt. Fokus läggs på delar med uppenbara säkerhetsbrister och områden med hög personnärvaro.

Ett antal brandscenarier i det avgränsade området beaktas och de mest riskfyllda scenarierna analyseras i detalj. Scenarievalet görs med avseende på brandbelastning, persontäthet, utrymningsmöjligheter och sannolikhet för uppkomst av brand. Brandutveckling, rökfyllnad, toxicitet och temperatur undersöks genom hand- och datorberäkningar (CFAST och FDS). Tiden till kritiska förhållanden, då utrymning inte längre kan anses som trygg, jämförs sedan med utrymningssimuleringar i datorprogrammet Simulex. För att bedöma vilka förbättringar som bör göras samt vad som skall fungera görs en känslighetsanalys innan förslag på förbättringar ges.

1.3 Avgränsning

Riskvärderingen avgränsas till personsäkerheten vid brand i teaterdelen i Domarhagsskolans huvudbyggnad. Denna del av skolan innehåller samlingslokaler med hög persontäthet och angränsar högstadiedelen. I teaterdelens förlängning mot gymnasiedelen finns en kafeteria i två källarplan, vilken också ligger inom avgränsningen. Ventilationen har tagits hänsyn till i möjligaste mån efter den information som fanns tillgänglig. Riskerna bedöms kvalitativt.



Figur 1.1 Huvudbyggnaden. Avgränsningen är gråmarkerad.

1.4 Skadekriterier

Vid utvärderingen av personsäkerheten vid utrymning i byggnaden används gränsvärden för kritiska förhållanden enligt rekommendationer i BBR:2005.

- Siktbarhet för personer i okänd miljö skall vara minst 10 meter eller så ska höjd på brandgaslager vara maximalt $1,6 + H \cdot 0,10$ där H är rummets takhöjd i meter.
- Värmestrålning, en maximal strålningsintensitet på $2,5 \text{ kW/m}^2$ utöver en strålningsintensitet på 1 kW/m^2 .
- Temperatur högst $80 \text{ }^\circ\text{C}$ lufttemperatur.

(Boverket, 2005)

Gränsvärden för toxicitet tillämpas enligt norskt regelverk

- Högsta koncentration kolmonoxid $0,2 \text{ vol } \%$
- Högsta koncentration koldioxid $5 \text{ vol } \%$

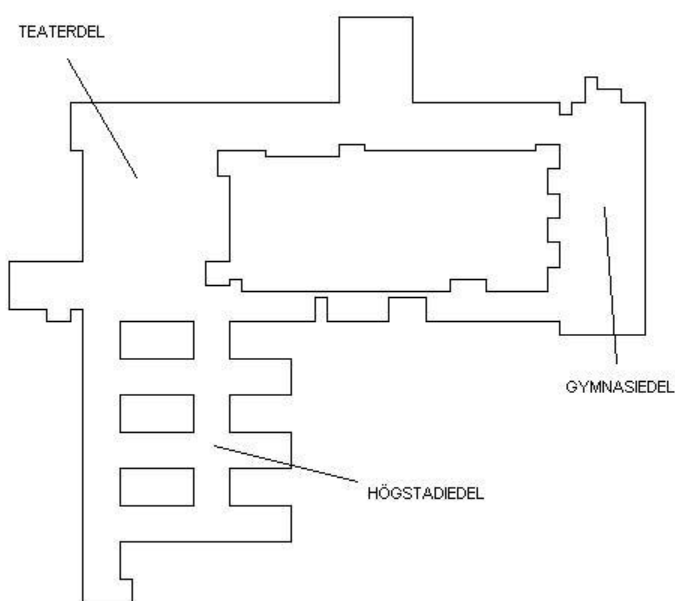
(NKB, 1994)

2 Objektsbeskrivning

Objektet som skall undersökas är Domarhagsskolan i Avesta. Det är en kombinerad högstadie- och gymnasieskola i Avesta. Byggnaderna är byggda och om- och tillbyggda i olika etapper mellan 1950-1985 och har genomgått ett antal renoveringar. Den sista ombyggnationen ägde rum år 1990 då bland annat ett storkök byggdes till.

2.1 Byggnaden och dess verksamhet

Byggnaden är uppdelad i tre huskroppar. Första huskroppen innehåller en högstadiesdel, den andra en gymnasiesdel och den tredje en gemensam del med bland annat matsalar, kök och teater. Den senare kommer att refereras till som teaterdelen. Idag vistas 1260 elever i skolan (960 gymnasieelever, 300 högstadieelever) och 190 anställda.



Figur 2.1 Schematisk bild över huvudbyggnaden

Huskropparna har olika antal plan. Högstadiesdelen är utförd i ett plan, gymnasiedelen är utförd i tre plan samt källare och teaterdelen är utförd i tre plan samt källare.

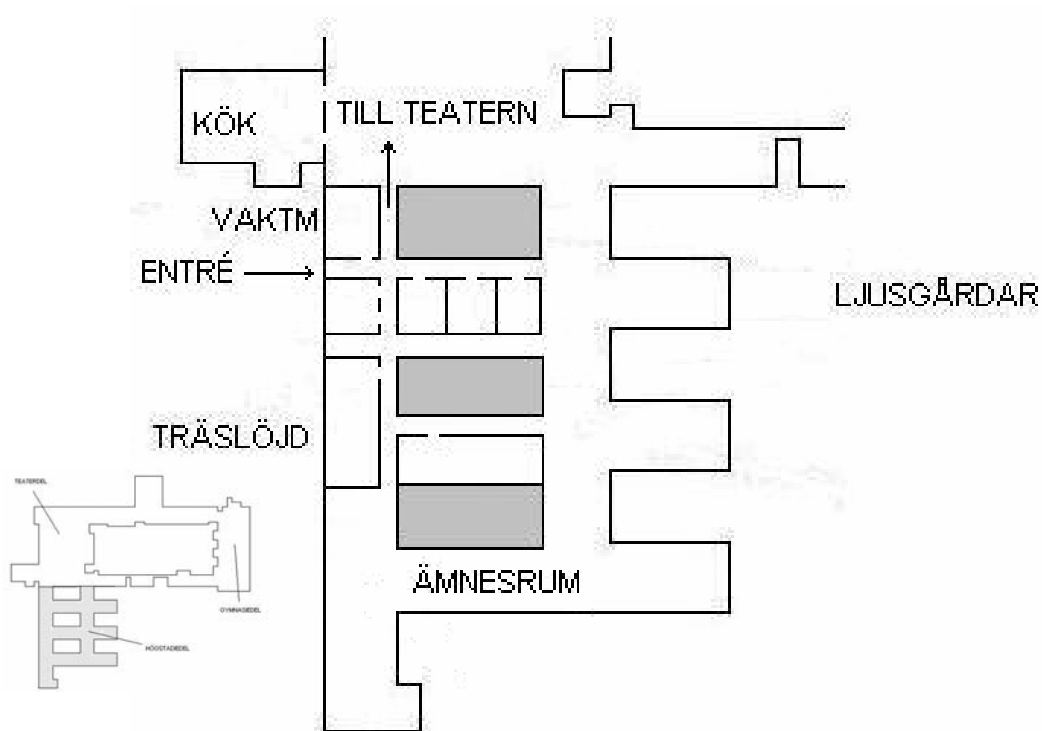
Huskropparna är sammanbundna med långa korridorer som är två meter breda. Mellan teater- och högstadiesdelen är korridorerna sluttande med nivåplan. Mellan

huskropparna finns ljusgårdar där det normalt inte vistas något folk i. Stommen i byggnaden är utförd i tegel och betong med tak och innerväggar i trä.

Fritidsnämnden kan efter skoltid hyra ut skolans lokaler för konserter och andra arrangemang. Detta sker ungefär 1-2 gånger per månad. Personer kan under dessa arrangemang inte förväntas ha bra kännedom om lokaler och utrymningsvägar.

2.2 Högstadiedel

Högstadiedelen är utförd i ett plan med ämnesrum med bland annat en trä- och metallslöjdsal. Sluttande korridorer med olika nivåplan går genom hela högstadiet.



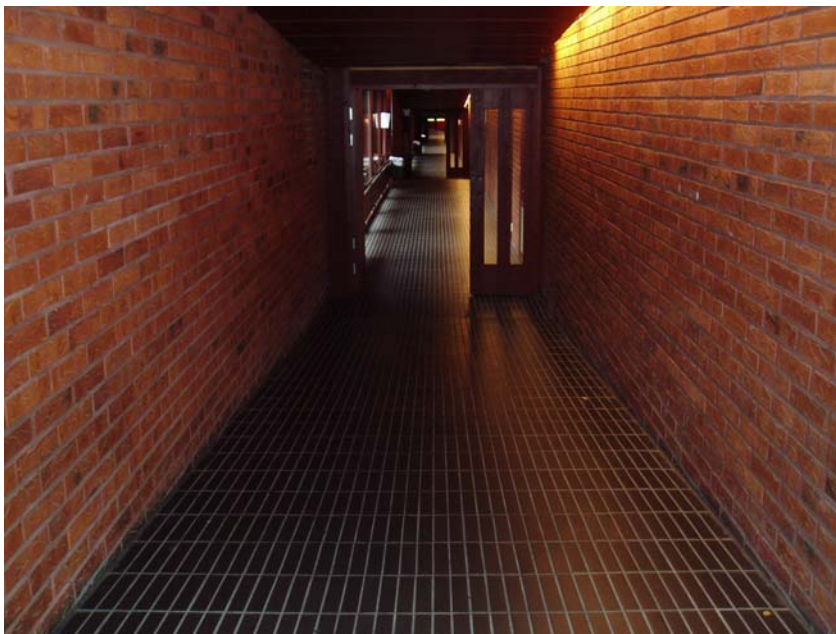
Figur 2.2 Schematisk bild av högstadiedelen.

I högstadiedelen sitter vaktmästeriet som sköter om hela skolan. Mellan vaktmästaren och expeditionen finns huvudentrén till högstadiedelen. På det övre nivåplanet finns bland annat en tvärkorridor med expedition, kurator och andra personalutrymmen.



Figur 2.3 Typiskt ämnesrum i högstadietdelen.

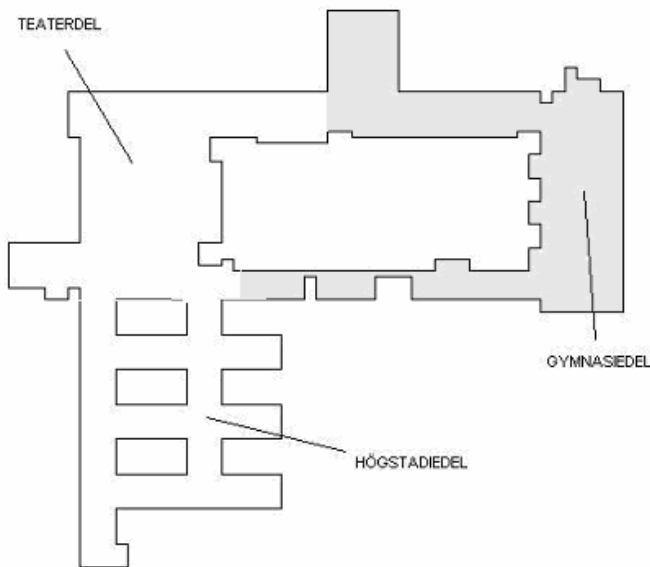
I ett lägre nivåplan finns skåp för elever, utställningsmaterial samt lite växter. Ett typiskt ämnesrum i högstadiet innehåller cirka 25 bänkar, en stor bokhylla med böcker, en kateder, ett par datorer och en soffa.



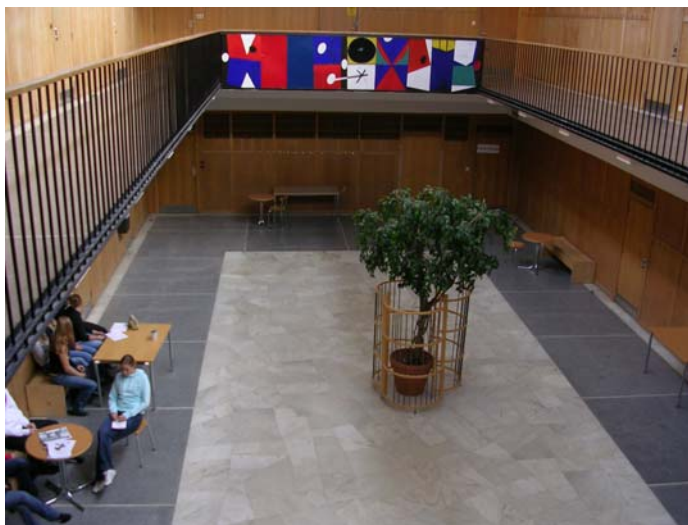
Figur 2.4 Sluttande korridor i högstadietdelen.

2.3 Gymnasiedelen

Gymnasiet har elva program med olika inriktningar. Gymnasiet har elva program med olika inriktningar. På skolan finns två klasser för funktionshindrade med bland annat tre rullstolsbundna elever. Gymnasiedelen tillhör ursprungsbyggnaden från 50-talet. Den är utförd i tre plan samt källare. I gymnasiet finns förutom ämnesrum, fysik och kemisalar en ljusgård (atrie) som inkluderar alla tre planen. Den innehåller även två textilslöjdsalar för elever som studerar design.

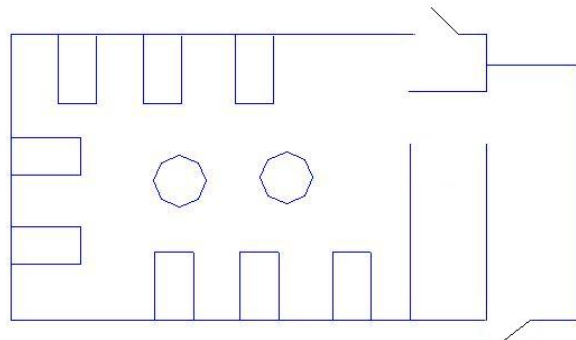


Figur 2.6 Översikt huvudbyggnaden. Gråmarkerat område markerar gymnasiedelen.

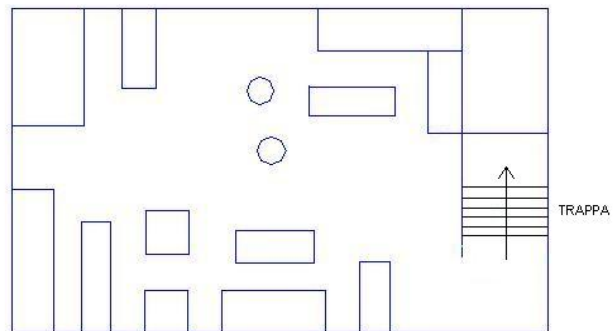


Figur 2.7 Atriet i gymnasiedelen

I källaren finns bland annat en kafeteria, Hallongrottan, som är utförd i två plan. Ursprungligen var detta ett pannrum som nu har delats upp med hjälp av ett bjälklag. På det övre källarplanet finns själva kafeterian med bord och stolar för ca 30 personer. En smal trappa leder ner till det undre källarplanet som innehåller flertalet soffor och fåtöljer och rymmer cirka 40 personer. Hela kafeterian ligger under markplan och har en utrymningsväg till det fria och en som leder mot gymnasiet.



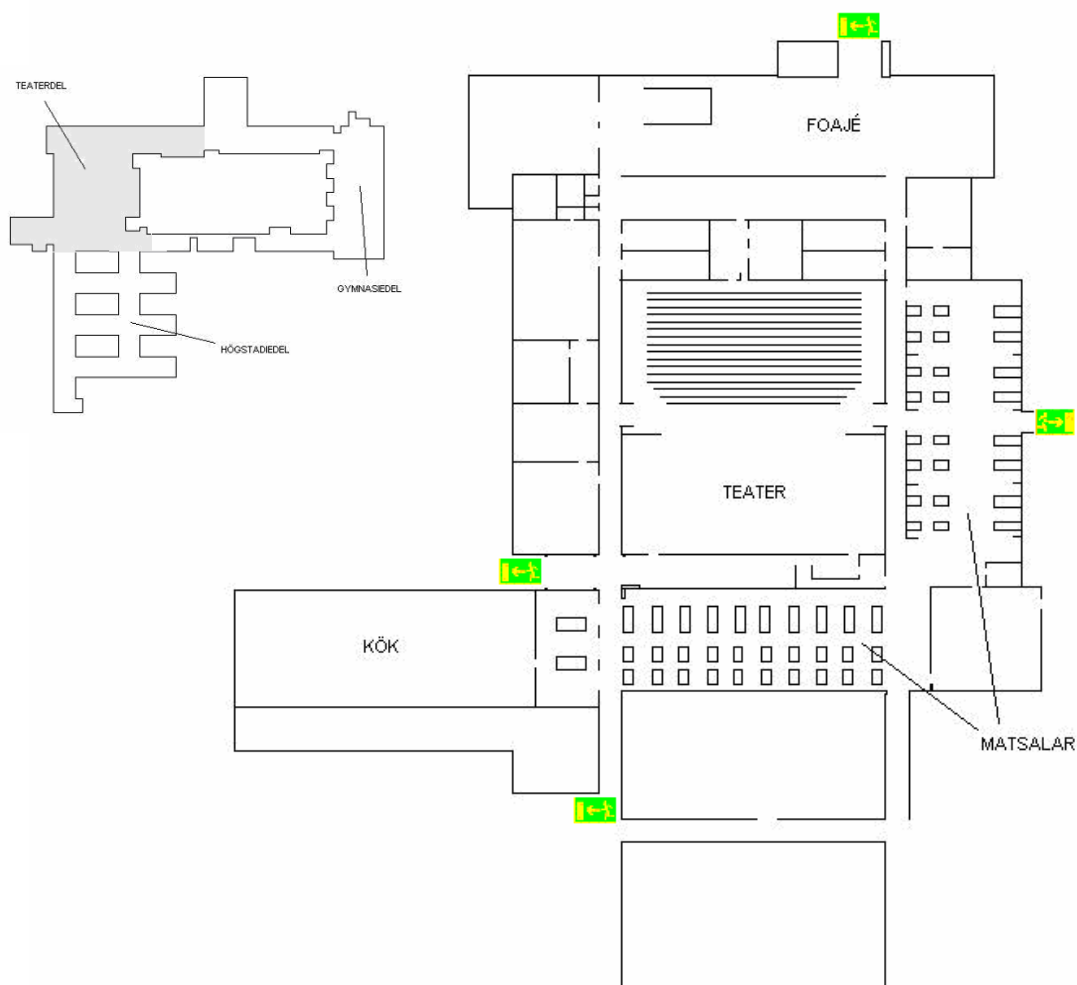
Figur 2.8 och 2.9 Hallongrottans entréplan (övre källarplan)



Figur 2.10 och 2.11 Hallongrottans undre källarplan

2.4 Teaterdelen

Teatern rymmer 500 sittande personer i en sluttande läktare som har utgångar till två olika plan och har en golvyta på ungefär 350 m². Lokalen är utformad som en hörsal med en 250 m² scen längst fram. Tillhörande scenen finns en ridå på cirka 200 m². Mellan scen och läktaren finns även ett orkesterdike som vanligtvis är täckt av träskivor. Materialet i stolarna är trä, flamskyddat tygskikt och polyuretanskum. Även ridån är flamskyddad. Ovanför scenen finns ett undertak där belysning sitter och underhåll kan utföras på scenmekanismen.



Figur 2.12 Schematisk bild över teaterdelen



Figur 2.13 och 2.14 Teatern

Under scenen finns en scenkällare i samma utrymme som orkesterdiket. Den fungerar som förråd och innehåller stora mängder trämaterial, dekor, diverse scenutrustning och rekvisita. Flyttbara vertikala träskivor avskiljer orkesterdiket från övriga delar av scenkällaren.



Figur 2.15 och 2.16 Förvaring av diverse material i scenkällaren.

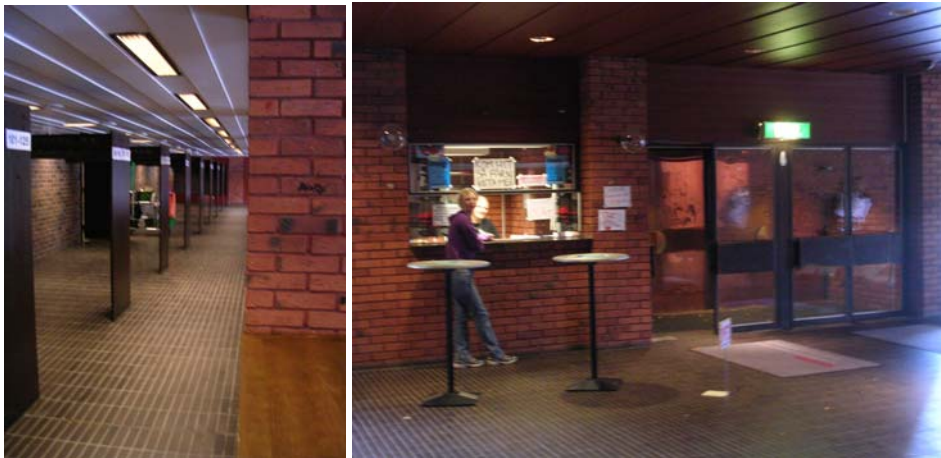
I anslutning till scenkällaren finns ett akustikrum för musikundervisning och ett antal förrådsutrymmen. Dessa nyttjas för lagring av teaterdekor och annan utrustning som tillhör skolan. Stora påsar med plastmaterial var placerade i anslutning till en utrymningsväg och oordningen var stor.

I anslutning till teater finns två matsalar, en för högstadieelever och en för gymnasieelever. De rymmer 160 respektive 144 personer. Intill dessa finns två storkök.



Figur 2.17 Gymnasiematsalen

I teaterdelen finns Kopparporten som är huvudentrén till byggnaden. Innanför den finns bland annat en garderob med disk som rymmer cirka 500 jackor, samt ett utrymme för biljettförsäljning då skolan har något arrangemang.



Figur 2.18 och 2.19 Garderoben och utrymmet för biljettförsäljning.

På våningen ovanför finns en foajé med den huvudsakliga entrén till teatern samt ett bibliotek och ett låst utrymme för manövrering av bland annat ljus och ljud till teatern.

2.5 Befintligt Brandskydd

2.5.1 Aktiva system

Aktiva system innefattar de brandskyddsåtgärder som skall aktiveras vid en brand för att minska brandskadorna. (*Brandteknik, 2005*)

2.5.1.1 Automatiskt brandlarm

Byggnaden är utrustad med automatiskt brandlarm som är direkt kopplat till räddningstjänsten. Skolan använder sig av rökdetektorer för att detektera brand.

Inga detektorer finns i teatern eller källarutrymmena under den. Detektorer saknas i ämnesrummen och skolan är därför beroende av detektion ute i korridorer och matsalar. Gymnasiematsalens tak är utformat i trä med håligheter där brandgaser kan ansamlas. I varje sådant fack finns en detektor placerad. I korridorer och övriga utrymmen är detektorer placerade med ett avstånd på ungefär 30 meter.

2.5.1.2 Larmknappar

Det finns larmknappar som kan utlösa larm för att säkerställa att utrymning kan ske snabbt vid okulär detektion av brand. I teatern finns en larmknapp i anslutning till sprinklercentralen på scenen. I samtliga andra delar av skolan finns larmknappar utplacerade i korridorer och större samlingslokaler.

2.5.1.3 Utrymningslarm

Byggnaden är utrustad med utrymningslarm som är kopplat till brandlarmet. Utrymningslarmet är sektionerat för olika delar av byggnaden. Sektionering består av tre delar, teaterdelen, gymnasiedelen samt högstadiedelen. Brand i en del av byggnaden resulterar i att endast larmdonen i den delen utlöser. Larmdonen är akustiska och det vill säga att larmet sker med hjälp av en ringande signal.

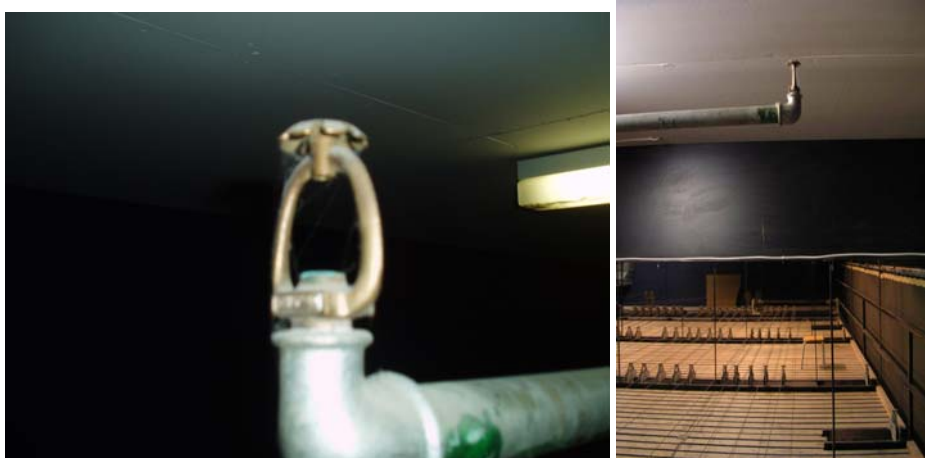
2.5.1.4 Sprinklersystem

Sprinklersystem finns installerat i teatern. Scenkällaren är nästintill helsprinklad med små avstånd mellan sprinklerhuvudena. Stora spånskivor skärmar av det sprinklade området från området där orkesterdiket befinner sig. Sprinklerhuvuden utlöser vid 71 °C. I taket ovanför scenen finns en andra uppsättning sprinkler. Sprinklerhuvuden är uppåtriktade och är placerade ovanför undertaket av träplankor.

Vaktmästaren uppger att det inte har varit någon besiktning av sprinklersystem på minst tjugo år.



Figur 2.20 och 2.21 Sprinkler i scenkällaren



Figur 2.22 och 2.23 Sprinkler i scentaket

2.5.1.5 Brandgasventilation

I taket ovanför scenen finns rökluckor installerade. De är 12 till antalet och har en sammanlagd area på 24 m². Dessa öppnas manuellt med elektrisk mekanism. Både sprinkler ovanför scenen och rökluckor öppnas från en central som är belägen i ett hörn av scenen.

2.5.1.6 Manuell släckutrustning

Skolan är utrustad med handbrandsläckare som är uppsatta vid väggar och är i allmänhet väl synliga. Enstaka brandsläckare visade brister i placeringen genom att vara svåråtkomliga eller placerade ovanför brännbart material. Vid Lucia och andra större skolarrangemang i teatern finns personal på plats utrustade med vattenhinkar.



Figur 2.24 och 2.25 Exempel på handbrandsläckares placering.

2.5.1.7 Brandridå

Teatern är utrustad med en så kallad brandridå som består av ett glasfibermaterial som manuellt kan hissas ner för att skärma av scenen från läktaren. Brandridån installerades då teatern byggdes. En vajer har skurit in i en takbalk vilket gör den mycket tung att hissa ner. Brandridån kan antagligen inte användas i händelse av brand.

2.5.1.8 Branddörrar

I byggnaden finns automatiska dörrstängare. Installationen som började sommaren 2003 har stannat av. Dörrarna ska hållas upp av magneter som släpper när brandlarmet aktiveras. Flertalet av dessa dörrar saknar komponenter som gör att de inte uppfyller sin funktion. Enstaka dörrar hålls upp med hjälp av dörrkilar för att magneter inte har monterats. De avskiljande dörrarna är i klass EI-30.

Ytterligare dörrar har tappat sin funktion på grund av att elever har vandaliserat dem genom att till exempel hänga i stängningsanordningen. Dörrarna används frekvent då personströmningen är stor och skall stå öppna under normala omständigheter av praktiska skäl.

2.5.1.9 Passiva system

Passiva system innefattar de brandskyddsåtgärder som alltid finns oavsett om det brinner eller inte. (*Brandteknik, 2005*)

2.5.1.10 Brandceller

Ritningar över brandcellsindelningen var bristfälliga och ingen översiktsskiss finns.

2.5.1.11 Ventilation

Skolan är utrustat med ett från-/tillluftsystem (FT-system). Översiktsritningar saknas och flöden kan därför inte utläsas. Flöden i teatern har uppskattats utifrån detaljritningar (*Lars Jensen, 2005*)

2.6 Utrymning

Utrymningsvägarna i skolan består av korridorer som leder till trapphus och entréer ut i det fria. I högstadiedelen kan man även utrymma via fönster då det ligger i markplanet. Buskar och vegetation utanför bör inte utgöra några problem. Däremot påfanns en hel del bråte i utrymningsvägar i samband med besöket på objektet. Exempel på detta är trasiga möbler i nedre delen av ett trapphus, möbler och diverse påsar i utrymningsväg under teaterläktaren samt diverse bråte i utrymningsvägen bakom scenen.

Vid en eventuell utrymning så kan de rullstolsbundna eleverna påverka utrymnings-tiden. Rullstolarna kan begränsa flödet i utrymningsvägar då de generellt rör sig med en lägre hastighet. Eventuella trösklar kan ytterligare försena en utrymning.

Vägledande markeringar finns i form av skyltar varav de flesta genomlysta. Dock var belysningen i vissa skyltar vid besök på objektet dålig eller ej fungerande. Det finns 55 utrymningsplaner tydligt uppsatta på ett flertal platser i byggnaden. Placeringen var vid besöket tillfredsställande.

Standardbredder på dörrar i skolan är 0,9 meter. I de stora samlingslokalerna är dörrarna 1,2 meter breda, och dubbeldörrar är analogt 2,4 meter breda. Korridorerna är 2 meter breda.

Utrymningsövningar görs en gång per läsår. Personalen har instruktioner om rutiner vid utrymning som de ska bära med sig i lärarpärmen. Vid utrymning skall läraren samla klassen och föra den till en återsamlingsplats. Denna information är all utbildning lärarna får om utrymning.

Informationen som ges till lärarna redovisas i Appendix A.

2.7 Tillsynsrapporter

Ett mindre antal anlagda små bränder har inträffat på skolan. Protokoll från tillsyn (2005-01-27) redovisas i Appendix B.

3 Scenarier

För att identifiera de största riskerna görs ett kvalitativt urval av tänkbara brandscenarier. Efter scenarieurvalet granskas scenarierna och en grov riskanalys på scenarierna görs. De största riskerna används som underlag för val av scenarier för detaljgranskning. För att göra den kvalitativa riskanalysen används statistik från SRV (Statens Räddningsverk), se tabell 3.1 och 3.2.

3.1 Scenariebeskrivning

3.1.1 Hallongrottan

Kafeterian Hallongrottan består av två källarplan där försäljning sker på översta planet. Nedre källarplan har nyligen öppnats upp och möblerats med flertalet soffgrupper med sittplats för cirka 40 personer. Från detta plan finns endast en möjlig utrymningsväg uppför en trappa. Inga fönster finns i lokalen då den är under markplan. En brand på våningen ovanför eller i anslutning till trappan skulle blockera utrymningsvägen och stänga in personer i utrymmet. Brännbart material finns under trappan och eftersom utrymmet är oövervakat är brandrisken större för anlagd brand, tjuvrökning etc. Rökdetektor finns i taket men taksektioneringen gör att detektions-tiden ökar. Brandbelastning är hög i lokalen.

3.1.2 Biblioteket

Brand i biblioteket på andra våningen skulle medföra att två nödutgångar från teatern skulle blockeras. Personer i teatern är inte i omedelbar fara och kan antas utrymma problemfritt genom övriga nödutgångar. Brandförloppet beräknas vara kraftigt och kan orsaka stor materiell förödelse. Möjliga antändningskällor är få och troligast är anlagd brand, se tabell 3.2.

3.1.3 Garderoben

Ett brandscenario i garderoben full med kläder skulle generera ett extremt snabbt och kraftigt brandförlopp med god tillgång på bränsle (*Karlsson & Quintiere, 2000*). Två nödutgångar på andra våningen från teatern skulle blockeras av brandgasspridning.

Självstängande dörrar gör att spridningen begränsas till foajén, trapphuset och korridoren utanför biblioteket. Utrymning från teatern kan ske säkert genom övriga utgångar utan direkt hot från branden. Branden kan orsaka stor materiell förödelse men sannolikheten för personskador är inte stor. Ingen rökdetektor finns i garderoben men detektor finns utanför.

3.1.4 Teaterläktaren

I teatern finns platser för 450-500 personer och därtill finns folk på scenen och övrig personal. Rummet är stort med en takhöjd på tolv meter och en totalyta på ungefär 350 m². Det finns fyra nödutgångar från teaterdelen och ytterligare två från scenen. Brand i teatern medför tidig okulär detektion. Personer utanför teaterdelen informeras ej om brand då detektionssystem saknas i lokalen. Troligaste brandscenarier i teatern är lek med eld eller anlagd brand i fibergardiner eller jackor. Se Tabell 3.2. Stolarna är flamskyddsimpregnerade och har en långsam tillväxthastighet. Revor, slitage i stolar och åldring av flamskyddsmedel kan ge upphov till lättare antändning. Vid en eventuell brand skulle utrymning inledas snabbare eftersom beslut- och reaktionstiden är kort. Ventilationsflödet i teatern kan uppskattas till 5 m³/min. (*Personlig intervju Lars Jensen, 2005*)

3.1.5 Scenkällaren

Källaren under scenen är ett dolt utrymme med hög brandbelastning då mycket rekvisita förvaras i lokalen. Lokalen är utrustat med värmeaktiverat sprinklersystem med en utlösningstemperatur på 71 °C. Osäkerhet är stor när de gäller tillförlitligheten på sprinklersystemet. Sprinklersystemet är inte besiktigt på mer än 20 år. Brand i scenkällaren kan fortgå utan upptäckt och utvecklas kraftigt. Risk för brandgas-spridning till utrymmen med hög persontäthet är stor. God tillgång på tilluft genom ventilationssystem finns.

3.1.6 Scen

Det aktiva brandskyddet på scenen är inte regelbundet besiktigt och skall utlösas manuellt. Osäkerheten kring funktionssäkerheten på utrustningen är stor. Sprinkler-

systemet och brandgasventilationen kan motverka varandra vid utlösning. Brandgasventilationen kräver varma brandgaser med stignkraft för att ventilera ut vilka kyls avsevärt då det är 15 meter till scengolv. Sprinklersystemet får svårt att täcka brandhärden då plankor i undertaket blockerar vattendropparna och kan kyla brandgaserna och försämra stignkraften. Materialet på scenen varierar kraftigt beroende på verksamheten. Brand detekteras tidigt okulärt av personer på scenen och i läktaren.

3.1.7 Matsal

Korridorerna i anslutning till matsalen är låga i tak och självstängande dörrar saknas till högstadiedelen som är lägre belägen. Personnärvaron är hög och brandbelastningen måttlig.

3.1.8 Kök

Sannolikheten för brand i köket är ganska stor. Konsekvensen är däremot relativt låg på grund av den låga brandbelastning, vilket ger en liten risk. Angränsande utrymmen har en hög personnärvaro.

3.1.9 Toalett

Badrum och toaletter är vanliga startutrymmen för brand enligt statistik, se Tabell 3.1. Utrymmena är dolda och sannolikheten för anlagd brand eller vårdslöshet med eld är relativt stor. Omfattning av brand i toalett och liknande utrymmen är relativt ofarlig med hänsyn på brandbelastning och spridningsrisk.

3.1.10 Högstadiedelen

Dörrarna i korridorerna från högstadiedelen saknar komplett lösning på självstängande och brandgasavskiljande funktion vid brandlarmsaktivering. Korridorerna är låga i tak och vinklade. Riskytan är omfattande och planet befinner sig på en lägre nivå än de angränsande matsalarna. Då area är direkt proportionell mot frekvensen är sannolikheten för brand stor, (*Brandskyddslaget & Brandteknik, 2002*). Vid brand

kommer snabb brandgasspridning ske uppför korridorerna. Rökdetektorer är placerade i korridorer och medför en relativt snabb detektion.

3.1.11 Trapphus och korridorer

Korridorer och trapphus utgör en stor del av byggnadsytan. Brandbelastningen är låg och möjliga startkällor utgörs främst av papperskorgar. Utrymmena är ofta obevakade och risk för anlagd brand eller vårdslöshet med eld finns. Rökdetektorer finns placerade i korridorer och trapphus och möjliggör därför en relativt snabb detektion.

3.1.12 Atrium

Atriet består av ett öppet rum som spänner över tre våningar med ämnesrum i anslutning. Brandcellsavgränsade trapphus finns i anslutning till atriet i bägge ändar. Atriet är utrustat med brandgasventilation och rökdetektorer. Lokalen har en låg brandbelastning och angränsar till områden med en stor personnärvaro.

3.1.13 Förråd till kemisalar

Förrådet intill kemisalarna innehåller tuber med syrgas, koldioxid, gasol med mera. Gastuber skall stå i förvaringsskåp men syrgastub stod framme vid besöket. Konsekvensen vid en brand skulle bli stor materiell förodelse. Lokalen har en låg personnärvaro och måttlig brandbelastning. Förrådet angränsar till ämnesrum som vid lektion har ungefär 30 elever.

3.2 Statistik

Modeller för sannolikhetsberäkning att brand uppstår har utvecklats och grundar sig på statistik. Nedan redovisas två olika metoder där sannolikheten att brand uppstår endast beror på totalyta och verksamhet. Huvudbyggnadens yta är i storleksordningen 20000 m² fördelat över flera plan.

För brand i skola per år, där $A = 20\,000\text{ m}^2$ är sannolikheten $= 0,0002 * A^{0,75} = 34\%$.
(*Brandskyddslaget och Brandteknik, 2002*)

$P = 10^{-5} * A$ (år⁻¹) där P = sannolikheten per år att brand uppstår

$$P = 10^{-5} * 20\,000\text{ m}^2 = 20\%$$

(*J. Rahikainen och O. Keski-Rahkonen, 1998*)

Sannolikheten att brand uppstår antas ligga inom detta intervall och ligger till grund för fortsatt riskanalys.

Tabell 3.1 Statistik över vanligast förekommande startutrymmen för brand i skola.

Övrig statistik presenteras i Appendix C.

Startutrymmen	Sannolikhet	Motsvarande utrymmen
Utomhus	8 %	Utomhus
Kök	6 %	Kök vid matsalar
Trapphus/Korridor	14 %	Foajé, korridorer
Badrum/Toalett	10 %	Toaletter
Samlingslokal	9 %	Teater, hallongrottan, matsalar
Källare+Förråd	5 %	Scenkällare
Annat	48 %	Kontor, personalutrymme, skolsalar, garderob m fl.

(*Jörgen Granefelt, 2005*)

Tabell 3.2 Statistik över brandorsak för brand i skola. Övrig statistik presenteras i Appendix C.

Brandorsak	Sannolikhet	Tänkbara scenarier
Anlagd med uppsåt	43 %	Anlagd brand i dolda utrymmen, toaletter, scenkällare, förråd
Lek med eld	6 %	Lek med eld i dolda utrymmen, toaletter, scenkällare, förråd
Tekniskt fel	9 %	Elfel
Glömd spis	4 %	Glömd spis i kök
Orsak ej angiven	21 %	-
Övrigt	17 %	Levande ljus, rökning, fyrverkerier, hantverkare

(Jörgen Granefelt, 2005)

3.3 Grov riskanalys

Syftet med den grova riskanalysen är att ge en enkel kvalitativ bedömning av riskerna i scenarierna. För att förfinas analysen används statistik som riktlinje för frekvensbedömning vilket anpassas till lokala förhållanden (Se Tabell 3.1 och 3.2).

Anpassningen gjordes grovt numerisk baserat på sannolikheten för brand i skolan jämfört med typ av lokal och scenarियोtan. Den kvalitativa bedömningen av riskerna grundar sig på värsta troliga scenario. Modellen och graderingsmallen är grundad på grovanalys i Riskanalysmetoder (Nystedt, 2000). Graderingsmallen är anpassad till lokala förhållanden och bedömningar.

Den grova riskanalysen ger en överblick över riskerna i systemet utan att gå in på detaljer. Därefter läggs fokus på de största riskerna. Definitionen på risk är

$$R = \{(s_i, p_i, c_i)\}$$

S_i = beteckning för händelsesekvens i som utgör scenario i

p_i = frekvens

c_i = konsekvens

i = index (enligt graderingsmall)

(Lundin, 2004)

Tabell 3.3 Graderingsmall grov riskanalys

Grad	Frekvens	Konsekvens
1	Ingen till låg frekvens (1 gång var 1000:e till var 500:e år)	Ingen utsätts för kritiska förhållanden
2	Låg till måttlig frekvens (1 gång var 500:e till var 100:e år)	Fåtal personer utsätts för kritiska förhållanden. Lindriga personskador.
3	Måttlig till hög frekvens (1 gång var 100:e till 10:e år)	Större antal personer utsätts för kritiska förhållanden. Betydande personskador.

Grad	Frekvens	Konsekvens
4	Hög till mycket hög frekvens (1 gång var 10:e till varje år)	Större antal personer utsätts för kritiska förhållanden. Betydande personsador och enstaka dödsfall.

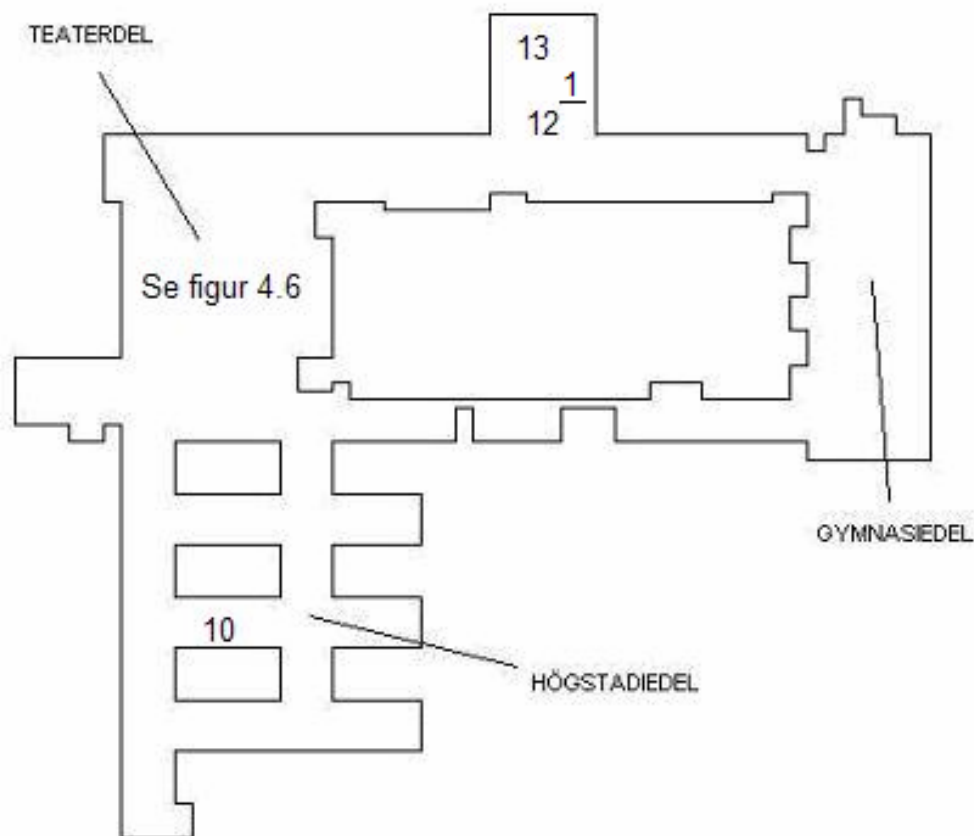
Riskerna i de olika scenarierna är baserad på vilken omfattning händelsen får (konsekvens) och hur ofta de inträffar (frekvens). Indexet 1-4 är graderad enligt graderingsmall ovan. Riskindex varierar alltså mellan 1-16 där 1 är minsta risken och 16 den största risken. Risken beräknas enligt konsekvens · frekvens. Som motivering till graderingen kommenteras brandbelastning, brandtillväxthastighet och andra relevanta fakta.

Tabell 3.4 Grov riskanalys brandscenarier. De största riskerna är markerade i tabellen med grå färg.

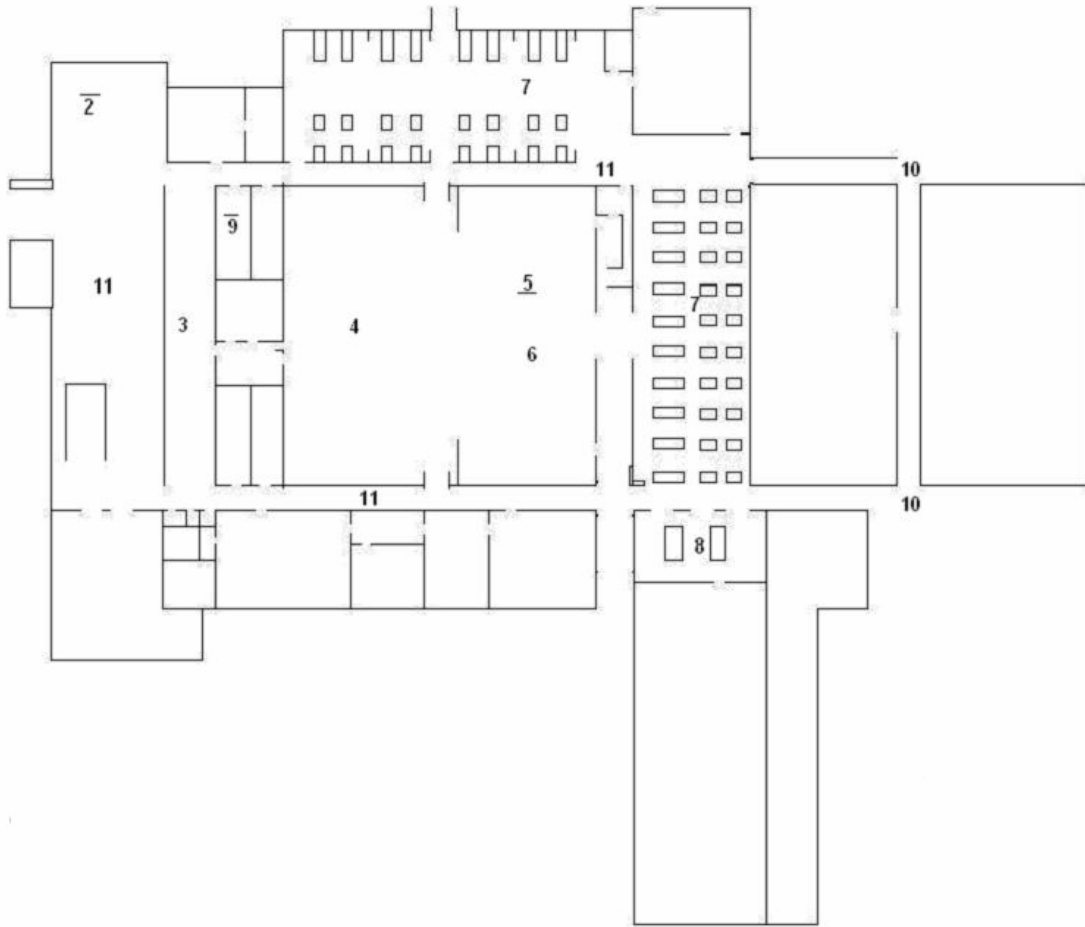
Nr	Scenario	Frekvens	Konsekvens	Riskindex	Kommentar
1	Hallengrottan	3	4	12	Dolt utrymme, snabb tillväxthastighet, hög brandbelastning, endast en utrymningsväg
2	Bibliotek	2	2	4	Snabb tillväxthastighet, hög brandbelastning
3	Garderoben	1	3	3	Snabb tillväxthastighet & hög brandbelastning tillfälligtvis, försvårad brandgasspridning till angränsande utrymmen

Nr	Scenario	Frekvens	Konsekvens	Riskindex	Kommentar
4	Teaterläktare	2	2	4	Långsam tillväxthastighet, tidig okulär detektion, hög personnärvaro
5	Scenkällare	2	4	8	Dolt utrymme, snabb tillväxthastighet och brandgasspridning, lång detektionstid, hög personnärvaro i angränsande utrymme, obesiktigt sprinklersystem
6	Scen	3	2	6	Måttlig tillväxthastighet, liten till måttlig brandbelastning, tidig okulär detektion, obesiktigt kombinerat sprinklersystem och brandgasventilation
7	Matsal	2	3	6	Hög personnärvaro
8	Kök	2	2	4	Låg brandbelastning, hög personnärvaro i angränsande utrymme
9	Toalett	3	1	3	Dolt utrymme, långsam tillväxthastighet, låg brandbelastning

Nr	Scenario	Frekvens	Konsekvens	Riskindex	Kommentar
10	Högstadiedel	3	3	9	Stor riskarea, snabb brandgasspridning, hög personnärvaro i angränsande utrymme, inga självstängande dörrar
11	Trapphus/Korridor	3	1	3	Stor riskarea, låg brandbelastning, låg tillväxthastighet
12	Atrium	3	2	6	Låg brandbelastning, stor rumsvolym, liten risk för brandgasspridning till övriga delar, brandgasventilation
13	Förråd till kemisalar	2	3	6	Gasflaskor, angränsar till lokal med måttlig personnärvaro



Figur 3.3 Översikt Domarhagsskolan med scenarionummering. Understreckt signifierar källarvåning.



Figur 3.4 Översikt av gymnasiedelen, förutom atrium och föreläsningssalar, med scenarienumrering. Under- respektive överstreck signifierar källar- respektive övervåning.

3.4 Slutgiltigt scenarieval

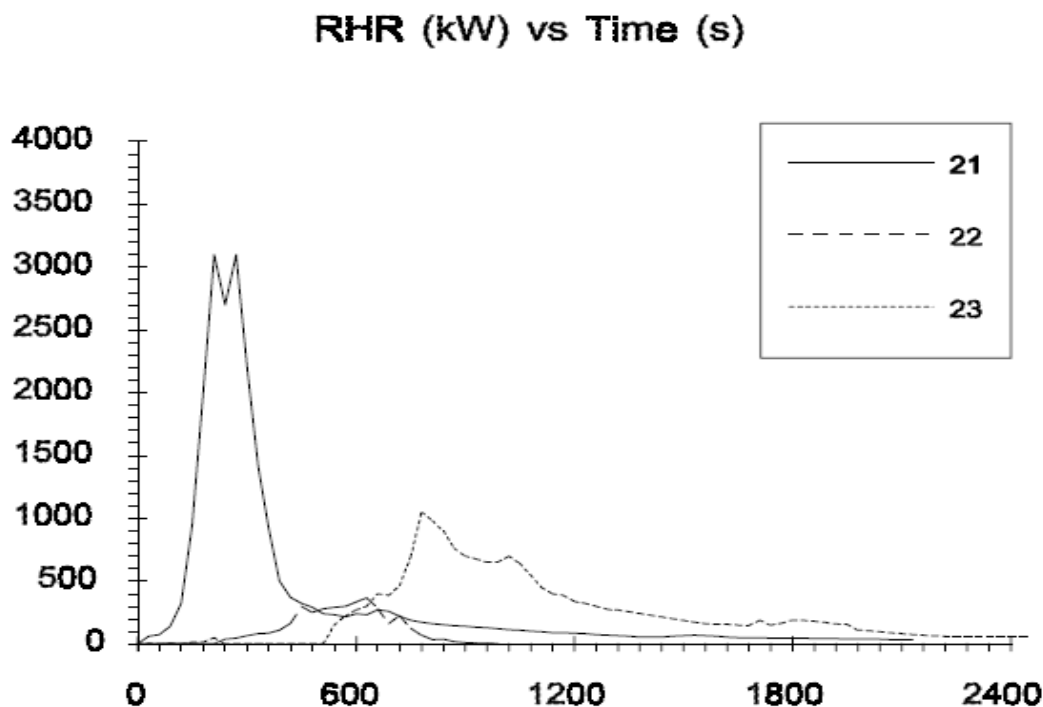
Enligt tabell 3.3 är de största riskerna i det avgränsade området Hallongrottan, Scenkällare och Högstadiedelen. Samtliga tre scenarier väljs för detaljgranskning. Högstadiedelen valdes att representeras av slöjdsalen som utgör en relativt stor brandrisk. Högriskscenarierna numreras härefter Scenario 1 (Hallongrottan), Scenario 2 (Scenkällaren) och Scenario 3 (Träslöjdsalen). Scenarievalet grundar sig på en enkel kvalitativ bedömning och innehåller osäkerheter.

4 Scenario 1 – Hallongrottan

En brand under trappan skulle som nämnts i kapitel 3 blockera utrymningsvägen för dem som sitter i källaren. Vid studiebesöket förvarades bråte under trappan till det nedre källarplanet. Att förbjuda förvaring under trappan och spärra av det utrymmet är en enkel sak men frågan kvarstår om man skall spärra av hela det undre källarplanet. Brandtrycket förväntas bli lågt då stora öppningar finns. Därför kan eventuell brand-spridning via ventilationssystemet försummas.

4.1 Effektkurva

En av de farligaste brandriskerna i hallongrottan är antändning i en av sofforna. Soffor har i allmänhet en kraftig effektutveckling och innehåller mycket brännbart material. Materialet i sofforna i hallongrottan varierar med avseende på ytbeklädnad och stoppning. Då det är osäkert vilken typ av soffa som börjar brinna och vilka material den innehåller väljs en soffa med hög effektutveckling från försök nr 21 i Initial Fires, (Särdqvist, 1993). Soffan väger 51,2 kg och består av skumgummistoppning med ytbeklädnad av polyolefin.



Figur 4.1 3-Seat Sofa Y5.4/21-23, Särdqvist, Initial fires, 1993

Av figur 4.1 kan man utläsa att effekten går upp till ca 3 MW efter 210 sekunder för att 90 sekunder senare sjunka med ungefär samma hastighet som den ökade. Antändningskällan som användes vid försöket var en 50 kW brännare i 200 sekunder vid sidan av soffan som har subtraherats från effektkurvan. Detta innebär att branden skall anläggas för att ha denna effektkurva. Antagligen skulle förloppet för soffan 21 inte påverkas påtagligt av en mindre antändningskälla. Är tändkällan mindre fördröjs förloppet enligt kurvan med ungefär 25 sekunder enligt α^2 . Testförsök 22 och 23 har plastöverdrag och har betydligt långsammare utveckling vilket förmodligen också är anledningen till att man har valt en så pass kraftig tändkälla. Ser man på andra soffor som finns redovisade i Initial Fires så ser man att nr 21 har en förhållandevis hög effektutveckling. Detta kan delvis förklaras av att denna soffan väger mest, ungefär 50 kg vilket är en rimlig vikt för en soffan. På NIST:s hemsida (<http://www.fire.nist.gov>) finns en tresitssoffa som på bild liknar de som fanns nere i hallongrottan. Denna soffan har en maxeffekt på 3,5 MW men har ett betydligt lägre α -värde. Efter 210 sekunder har elden börjat ta sig i soffan från NIST:s hemsida och har då en effekt på 1,7 MW. Detta att jämföra med 3 MW efter 210 sekunder för den valda soffan som redovisas i figuren 4.1.

Utrymningstiden för lokalen och tiden till kritiska förhållanden antas vara så korta att bara de första tre minuterna som har studerats. I tillväxtfasen kan den experimentella effektkurvan liknas vid en α^2 -kurva med ett α -värde på 0,068 vilket är lite mer än fast-kurva vars α -värde ligger på 0,047kW/s². (NFPA, 1985). Eftersom soffan som står placerad längst in i rummet står mer än en och en halv meter ifrån andra fåtöljer skulle branden ta lång tid på sig att spridas. Effektkurvan som är vald är redan konservativ varför spridning till fåtöljer inte tas med i beräkningarna.

4.2 Brandsimulering med CFAST

Branden som simuleras är en soffbrand i den innersta delen av källarvåningen. Branden har samma effektkurva som beskrivs i avsnitt 4.1 och de första 300 sekunder av brandförloppet simuleras. CFAST tar inte hänsyn till transporttider i horisontell riktning inom ett rum och öppningen i taket ligger långt ifrån branden. Rummet har dessutom bjälkar i taket som skapar luftfickor och fördröjer därmed tiden tills att

brandgaserna har spridit sig över hela rummet. Rummet delas därför upp i två rum , för dimensioner se tabell 4.1. Öppningen i taket kan då placeras långt bort från branden. Då öppningen mellan de två rummen har sänkts från höjd 2,44 meter till 2,1 meter för att ta hänsyn till luftfickorna i taket. För beskrivning av CFAST se Appendix F.

4.2.1 Begränsningar

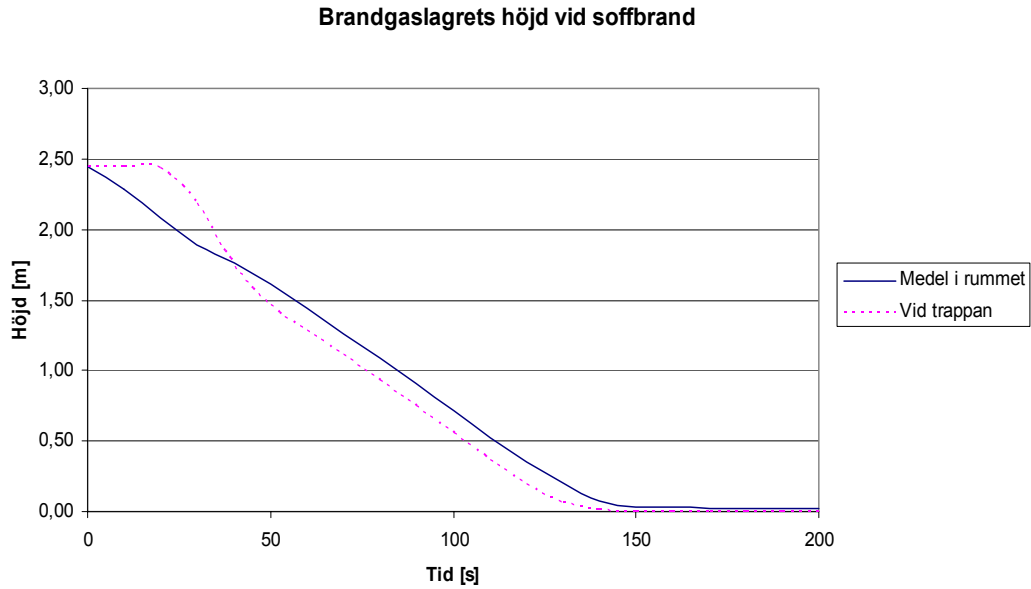
Längd/Höjd förhållandet i hallongrottan överskrider validitetsgränsen, se tabell 4.1. Detta medför viss osäkerhet i beräkningar. Då förhållandet knappt överstiger 3 kan resultaten fortfarande användas utan större osäkerheter. (*CFAST User's Guide, NIST, 2005*)

Tabell 4.1 Geometriförhållanden hallongrottan

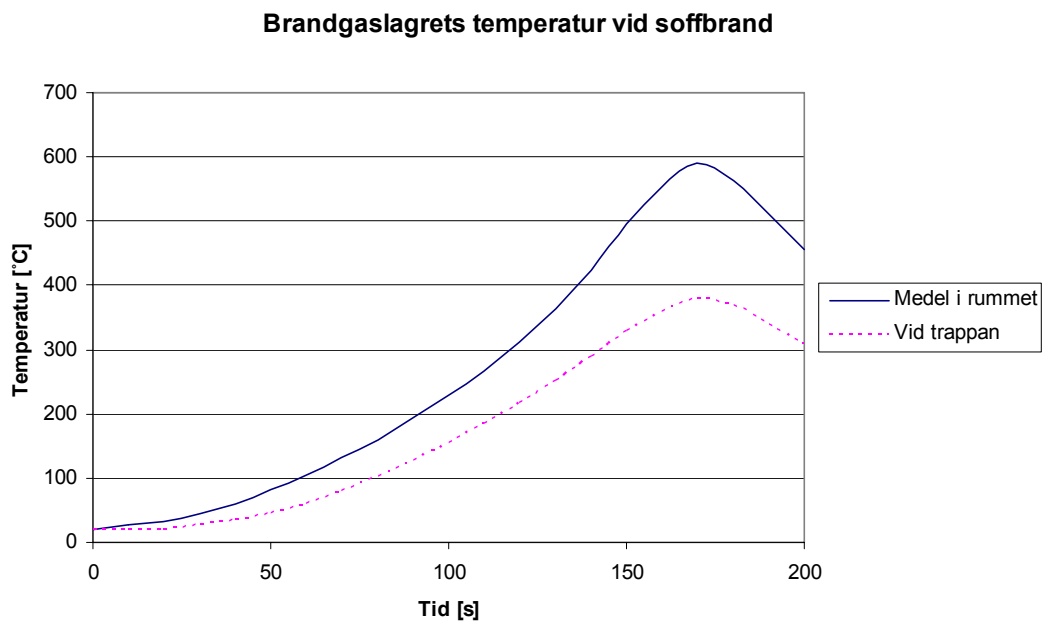
	Bredd	Längd	Höjd	L/B	L/H	B/H
Hallongrottan	6,5	8	2,44	1,2	3,3	2,7
Trappan	6,5	2,5	2,44	0,4	1,0	2,7

4.2.2 Resultat

Utdata från CFAST visar en mycket snabb expansion av brandgaslagret. Redan efter 20 sekunder efter det att branden startar börjar ett brandgaslager vid trappan bildas och rök välla ut ur trappöppningen (se Figur 4.2). Kriterier för kritisk höjd på brandgaslagret är enligt Brandskyddshandboken, (*Brandskyddslaget & Brandteknik, 2002*) $1,6 + 0,1 * H$ (meter). Kritisk höjd blir i detta fall 1,84 meter. Medelhöjden på brandgaslagret i rummet har sjunkit till 1,84 meter redan inom 40 sekunder för att sedan sjunka med en hastighet av ca 13 centimeter var tionde sekund tills den når golvet. Enligt samma källa skall de utrymmande individerna inte heller utsättas för temperaturer högre än 80 °C. Enligt programmets utdata har brandgaslagrets medeltemperatur stigit till 80 °C efter 50 sekunder inne i rummet och efter 70 sekunder vid trappan (se figur 4.3).



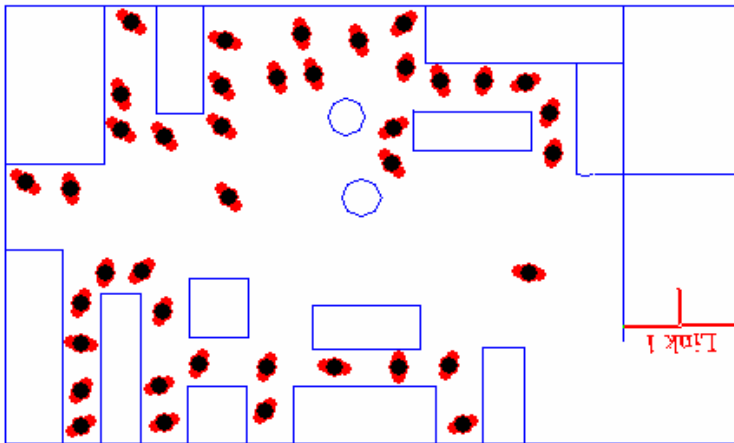
Figur 4.2 Brandgaslagrets höjd vid brand i soffa



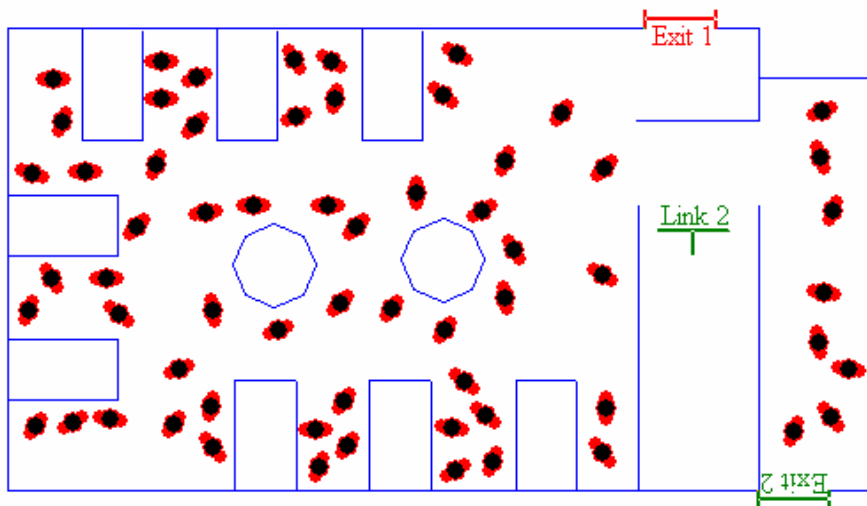
Figur 4.3 Brandgaslagrets temperatur vid brand i soffa

4.3 Utrymningssimulering med Simulex

I detta scenario kommer besluts- och reaktionstiden för individerna bli relativt liten. Anledningen är att utrymmet är litet och lätt överskådligt, vilket gör att alla kan se branden. Enligt Frantzich 2001 är den rekommenderade besluts- och reaktionstiden 1 min (mediantiden) för offentlig miljö, skola, kontor, varuhus och butik. Då brandgaslagret sjunker snabbt och takhöjden är så pass låg kommer reaktionstiden att vara betydligt kortare. För beskrivning av Simulex, se Appendix J.



Figur 4.4 Uppställning i simulering för caféets nedre källarplan.



Figur 4.5 Uppställning i simulering för caféets övre källarplan.

För att se om personerna på nedre våningen överhuvudtaget har en chans att utrymma sätts detektions och reaktionstiden i utrymningssimuleringen till noll. Personerna på övervåningen får däremot en längre tid innan de börjar röra sig. De som står närmast trappan får en reaktionstid på 15 ± 5 sekunder efter det att de första människorna från undervåningen har kommit upp i trappan. Dessa tider är fortfarande mycket optimistiska. Reaktionstiden vid varning endast genom andra människor ligger på 100 sekunder enligt ett kanadensiskt riskforskningsprojekt, FIRECAM, (Frantzych, 2001). Enligt samma forskning ligger reaktionstiden på 50 sekunder för bland annat kontors- och bostadshus om personerna ser rök från branden. För att få realistiska resultat vad gäller vilken utrymningsväg och köbildningar sattes 70 % av individerna på nedervåningen till att gå mot exit 2 och individerna på markplanet till att gå mot närmaste utgång. Det totala antalet personer som enligt ritningarna är tänkta att vistas i caféet är 40 stycken på den nedre våningen och 60 stycken på markplanet.

4.3.1 Resultat

Av simuleringen kan utläsas att det avgörande momentet vid utrymningen är att ta sig uppför trappan. Även om köbildning uppstod vid Exit 1 var det enligt denna simulering inte begränsande för dem som tog sig upp för den 1 m breda trappan. Detta tillsammans med de mycket korta reaktionstiderna gör simuleringen till ett ”best case scenario” med avseende på reaktionstid. Anledningen till att endast ”best case” beräknas är att kritiska förhållanden uppnås snabbt även i detta bästa fall. I verkligheten kommer personerna i regel inte börja gå förrän brandgaslagret börjar närma sig huvudhöjd (Personlig intervju med Daniel Nilsson, Avdelningen för Brandteknik i Lund).

Av utdatafilen som redovisas i sin helhet i Appendix K kan utläsas att alla var ute ur utrymnet vid tiden 93 sekunder. När sista individen kommit fram till trappan och börjat gå upp för trappan mot markplanet har det gått 70 sekunder och innan individen kommit upp för trappan har det gått 85 sekunder.

4.4 Jämförelse mellan brand och utrymningssimuleringar

Något som är viktigt att tänka på är att det med största sannolikhet tar längre tid att utrymma genom brandgaserna vilket simuleringen inte tar någon hänsyn till i detta fall. Simuleringen antar att sikten är god. Det tar 85 sekunder för alla individer i den nedre våningen att ta sig upp till markplanet vid god sikt.

Enligt CFAST tar det 30 sekunder efter att branden har startat så börjar det välla ut brandgaser ur trappöppningen. Enligt utdata från Simulex har då endast 11 individer tagit sig upp till markplanet. Den kritiska brandgashöjden har beräknats till 1,84 meter och tiden tills brandgaslagret sjunkit till denna höjd är 40 sekunder. Då har endast 17 individer tagit sig upp för trappan till markplanet enligt Simulex. Efter 70 sekunder uppnås genomsnittstemperaturen 80 °C i brandgaslagret vid trappan. Då har fortfarande inte sju individer påbörjat sin utrymning via trappan upp till markplanet.

Simuleringen i Simulex är ett ”best case” (reaktions- och beslutstiden har satts till noll sekunder) och trots detta så kommer utrymningen inte att kunna genomföras enligt de krav som ställs.

Tabell 4.2 Tid till kritiska förhållanden med CFAST Scenario 1 Hallongrottan

Kriterier	Tid (s)
Temperatur (80°C)	50
Brandgaslagrets höjd	40
Strålning (3,5 kW/m ²)	Studeras ej
Kolmonoxid (0,2 vol %)	Studeras ej
Koldioxid (5 vol %)	Studeras ej
Utrymning	85

4.5 Känslighetsanalys

Som tidigare nämnts kommer trygg utrymning inte kunna ske om en soffa brinner med snabb effektutveckling trots orimligt snabb utrymning. För att se om utrymning kan ske vid en långsammare effektutveckling gjordes simuleringen om med en fåtölj istället för en soffa. Fåtöljbrandens tillväxtfas kan liksom soffbrandens liknas vid en

α^2 -kurva har ett α -värde 0,037 kW/s². Fåtöljbrandens tillväxthastighet är alltså lite mer än hälften så stor som soffan vars α -värde ligger på 0,068 kW/s² (soffan på NIST hemsida hade ett α -värde på 0,039 kW/s²). Den maximala effekten för fåtöljen ligger på 240 kW (se Appendix L) och är betydligt lägre än soffans 3000 kW.

Konsekvensen för utrymningsförhållandena är små om man minskar brandens storlek. Tiden till att brandgaslagret når 1,84 meter ökar något från 40 sekunder till 45 sekunder vilket betyder att kritiska förhållanden fortfarande inträffar långt innan utrymningstiden på 85 sekunder (se Appendix K). Brandgaser börjar välla ut ur trappan efter 35 sekunder istället för 30 sekunder och brandgaslagret sjunker till 0,8 meter istället för 0 meter efter 140 sekunder. Temperaturen i brandgaslagret blir dock lägre och ligger på 80°C först efter 80 sekunder.

Inträffar branden närmare utgången ökar risken för att utgången spärras på grund av strålningen och att brandgaser kommer att välla upp genom trappan vid ett tidigare skede.

4.6 Slutsats

Som lokalen ser ut idag skall caféverksamheten i Hallongrottans nedre källarplan stängas. Inträffar en brand i hallongrottans källarplan kommer inte utrymning kunna ske innan kritiska förhållanden inträffar oavsett vilken möbel och var i rummet det brinner. Detta är till följd av att det bara finns en nödutgång som leder uppåt och är tidskrävande att sig igenom.

Ska caféverksamhet fortgå i nedre källarplanet krävs att allt brännbart material tas bort, ytterligare en nödutgång skapas och att en vidare utredning utförs. Ska sprinkler installeras måste dessa placeras mycket tätt då fackverket annars fördröjer detektions-tiden. Kostnaden skulle bli onödigt stor då caféverksamhet fortfarande kan bedrivas i det övre källarplanet. Utrymnet var dessutom från början inte tänkt att användas av kafeterian.

5 Scenario 2 – Scenkällare

I scenkällaren saknas automatiskt brandlarm. Eftersom det är ett dolt utrymme kan brand tillväxa utan upptäckt. Brandgaser kommer sedan sprida sig till läktare och scen via det öppna orkesterdiket och trappan mellan scen och scenkällare. Sprinkler-systemet i scenkällaren har inte besiktigats på över 20 år vilket gör att tillförlitligheten hamnar under 80%. Detta är ej tillräckligt hög tillförlitlighet för att man ska kunna räkna med dess funktion vid en dimensionerande brand (*Göran Holmstedt, 2005*). De sprinklers och brandgasluckor sitter ovanför scenens undertak och har manuell utlösning på scenen. En brand på scenen skulle kunna få som konsekvens att centralen inte kan aktiveras. Brandgasluckor antas inte ha någon inverkan på rökgasfyllnaden ovanför läktaren men tas upp i känslighetsanalys. I scenariot antas därför aktiva system ej fungera. I teatern ventileras tilluft i scenkällaren och frånluft i takhöjd på läktare och scen, vilket bidrar till att branden i scenkällaren får tillräckligt med syre under hela förloppet. Tilluften i scenkällaren uppskattas till $5\text{m}^3/\text{min}$. Brandtrycket i scenkällaren blir ej stort på grund av stora öppningar och brandgasspridning via ventilationssystemet bedöms ej kunna ske (*Lars Jensen, 2005*).

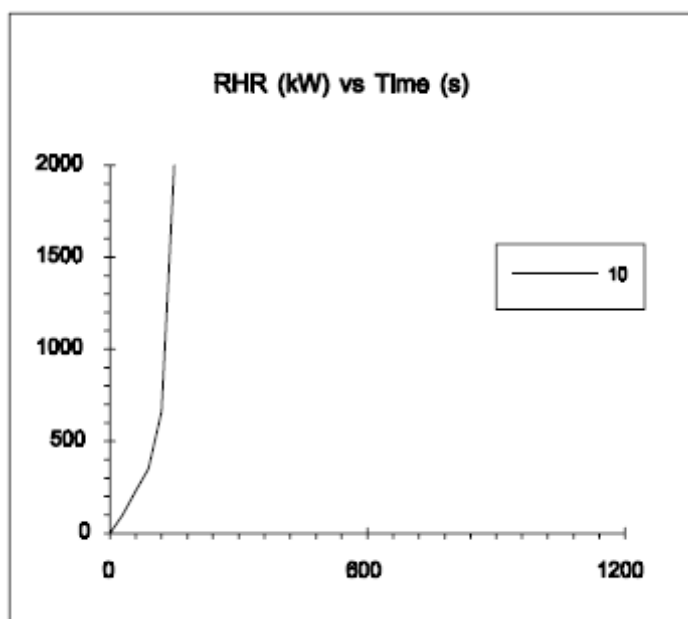
5.1 Effektkurva

Scenkällaren har en hög brandbelastning och innehåller rekvisita av olika material, huvudsakligen trä. Materialet i källaren går upp till taket och vertikal flamspridning bidrar därför till ett snabbt brandförlopp. Taket i scenkällaren består av flisigt, obehandlat trä och är lättantändligt. Horisontell flamspridning i taket kan därför antas som mycket snabb. Återstrålningen från tak och brandgaslagret mot branden kommer att öka massproduktionen pyrolysgaser.

Då materialet i källaren huvudsakligen består av trä och taket är obehandlat jämförs scenariet med en experimentell effektkurva för träpanel (*Särdqvist, 1992*).

Experimentet är utfört i ett hörn med tre väggar och tak klädda med träpanel. Figur 8.1 visar brandeffekten i kW som funktion av tiden för experimentet. Densiteten är 530 kg/m^3 , tjockleken 11 millimeter. Branden startas med en 100 kW brännare i hörnet. Den experimentella kurvan kan approximeras med en αt^2 -kurva där $\alpha = Q/t^2 >$

$\alpha = 2000/150^2 = 0,089 \text{ kW/s}^2$. Detta α -värde ligger mellan en fast- och en ultrafast kurva.



Figur 5.1 Wood panels. Särdaqvist, Initial fires, O3/10

Den vanligaste antändningsorsaken på skola är anlagd brand (se Tabell 3.1). Det initiala brandförloppet kan därför antas som kraftigt, med till exempel flera samtidiga antändningspunkter eller brännbar vätska. I brandens startskede kan effekten av 100 kW-brännaren antas motsvara antändningen. Utrymmet har huvudsakligen två öppningar som kontrollerar in- och utflöde av luft, orkesterdiket och scentrappan. Under föreställning antas att orkesterdiket används och står öppet.

Handberäkningsmodeller saknas för att uppskatta massflödet brandgaser och luft genom öppningar med enbart vertikalt flöde. Ventilationspåverkan på branden simuleras därför i CFD-programmet FDS. Enligt CFD-simuleringen påverkar ventilationsförhållandena endast effektutvecklingen så att smärre avvikelser förekommer under de första 400 sekunderna som studeras, se Appendix D.

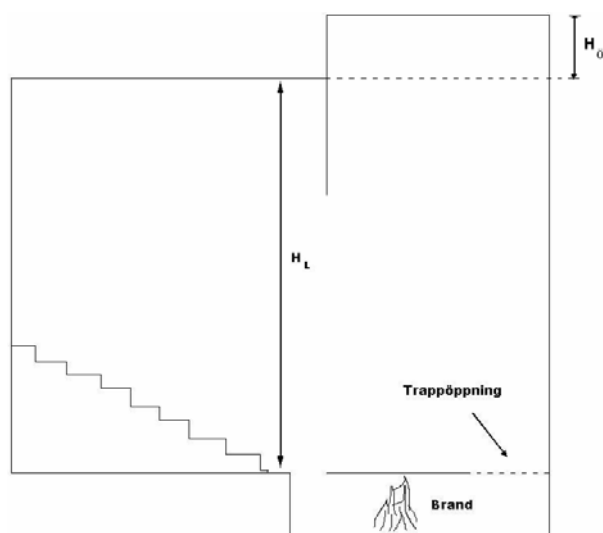
Massavbrinningen är konstant men på grund av turbulent omblandning uppstår ojämnheter i effektutvecklingen. Trä utvecklar en effekt på ungefär 250 kW/m^2 , (Göran Holmstedt, 2005). Effekten efter 400 sekunder motsvarar därför att 14800

$\text{kW}/250 \text{ kW/m}^2 = 59 \text{ m}^2$ brinner. Totala ytan i lokalen är ungefär 200 kvadratmeter där hela taken består av trä.

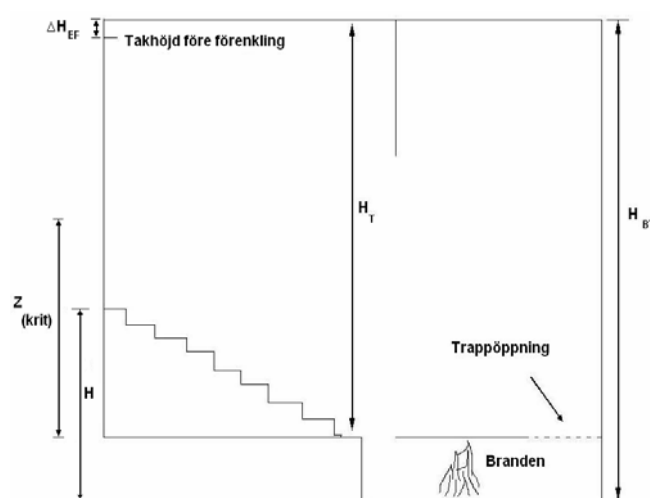
5.2 Handberäkningar på brandgasfyllnad

Handberäkningar i scenkällaren görs för rökfyllnad, sikt och toxicitet och används som jämförelse med datorsimuleringar.

Inne i teatern varierar takhöjden. Skillnaden mellan takhöjden över scenen och takhöjden över läktaren är tre meter. Detta orsakar problem vid handberäkningar på rökfyllnad. Det är då lämpligt att fördela den övre volymen över hela teaterns area och på så sätt få en gemensam takhöjd. Takhöjden kommer då att öka över läktaren och samtidigt minska över scenen för att sedan sammanfalla på en gemensam höjd (se figur 8.2 och 8.3). Detta är en stor förenkling som påverkar resultatet. För redovisning av beräkningsgång se Appendix E.



Figur 5.2 Teaterns utseende före förenkling



Figur 5.3 Teaterns utseende efter förenkling

Beräkningarna på sikten kommer att göras då brandgaslagret nått ner till den övre kanten på de bakre utgångarna. Detta för att först se om sikten är tillräckligt bra. När brandgaslagret sjunker under den kritiska höjden kommer sikten att försämrats ytterligare på grund av mindre luftinblandning i brandgaserna. Även toxiciteten

beräknas i brandgaserna då de befinner sig vid överkant av de bakre utgångarna. Beräkningar är gjorda på koldioxid och kolmonoxid.

Beräkningsgång redovisas i Appendix E, scenario 2

5.2.1 Resultat

Tiden tills brandgaslagret når ovankanten på läktarens bakre utgångarna är ca 150 sekunder. Efter 150 sekunder är temperaturen i brandgaslagret 42 °C. Efter 300 sekunder är temperaturen i brandgaslagret ca 145 °C. Alltså kommer temperaturen att öka med mer än 100 °C på 150 sekunder. Antagandet att scengolvet försummas gör att rökfyllnad och temperatur överskattas.

Sikten blir ungefär 11 meter i brandgaslagret när det når överkanten på de bakre dörrarna.

Kravet för ökad koldioxidhalt är 5 vol % och koldioxidhalten i beräkningarna når aldrig dessa halter. Kolmonoxidhalten blir 8 ppm och högsta tillåtna värde är 0,2 vol % (*Brandteknik, 2005*).

5.3 Brandsimulering med CFAST

Eftersom scenkällaren har vertikala öppningar till både läktaren och scenen blir det stora svårigheter att simulera förloppet med några exakta resultat. Det är mycket svårt att veta exakt hur mycket av brandgaserna som sprids upp genom trappan till scenen och hur mycket som sprids via orkesterdiket till läktaren. För att göra scenariot så nära verkligheten som möjligt har det totala utrymmet delats upp i fyra rum med rumsdimensioner enligt tabell 5.1 och betong i golv, väggar och tak. För beskrivning av CFAST se Appendix F.

Anledningen till att orkesterdiket sätts till en fyra gånger fyra meter stor öppning i taket är att CFAST bara kan skapa kvadratiska öppningar. Alla rummen har försetts med en springa på 1 mm längs golv och tak vilket antas motsvara normal läcka.

Öppningar mellan rummen har satts enligt nedan.

Scenkällare till orkester dike:	4 m * 2,8 m	(b*h)
Orkesterdike till läktare:	4 m * 4 m	(b*l)
Läktare till scen:	12 m * 6,7 m	(b*h)
Scen till Scenkällare:	2,63 m * 2,63 m	(b*l)

Branden placerades i mitten på scenkällaren och följer α^2 -kurvan där α är 0,089 kW/s².

För att ha något att jämföra med gjordes ytterligare en simulering med ungefär samma uppställning som för handberäkningarna i kapitel 5.1 fast med det undantaget att scengolvet finns kvar. Rumet och öppningarna har följande dimensioner i simuleringen:

Scenkällare:	22 m * 12 m * 2,8 m	(b*l*h)
Teater:	22 m * 28 m * 13 m	(b*l*h)
Öppning:	4,9 m * 4,9 m	(b*h)

5.3.1 Begränsningar

Längd/Höjd förhållandet i scenkällaren överskrider validitetsgränsen, se tabell 5.1. Detta medför viss osäkerhet i beräkningar. Då förhållandet ej överstiger en faktor 5 kan resultaten fortfarande användas med viss osäkerhet. Volymen i scen respektive läktare är ungefär 3000 m³ och 5000 m³. CFAST är validerad för rumsvolymer i storleksordningen 1000 m³ och detta ökar osäkerheten ytterligare. (*CFAST User's Guide, NIST, 2005*). Även de vertikala öppningarna gör att scenariot hamnar utanför vad CFAST är validerat för.

Tabell 5.1 Geometriförhållanden scenkällaren

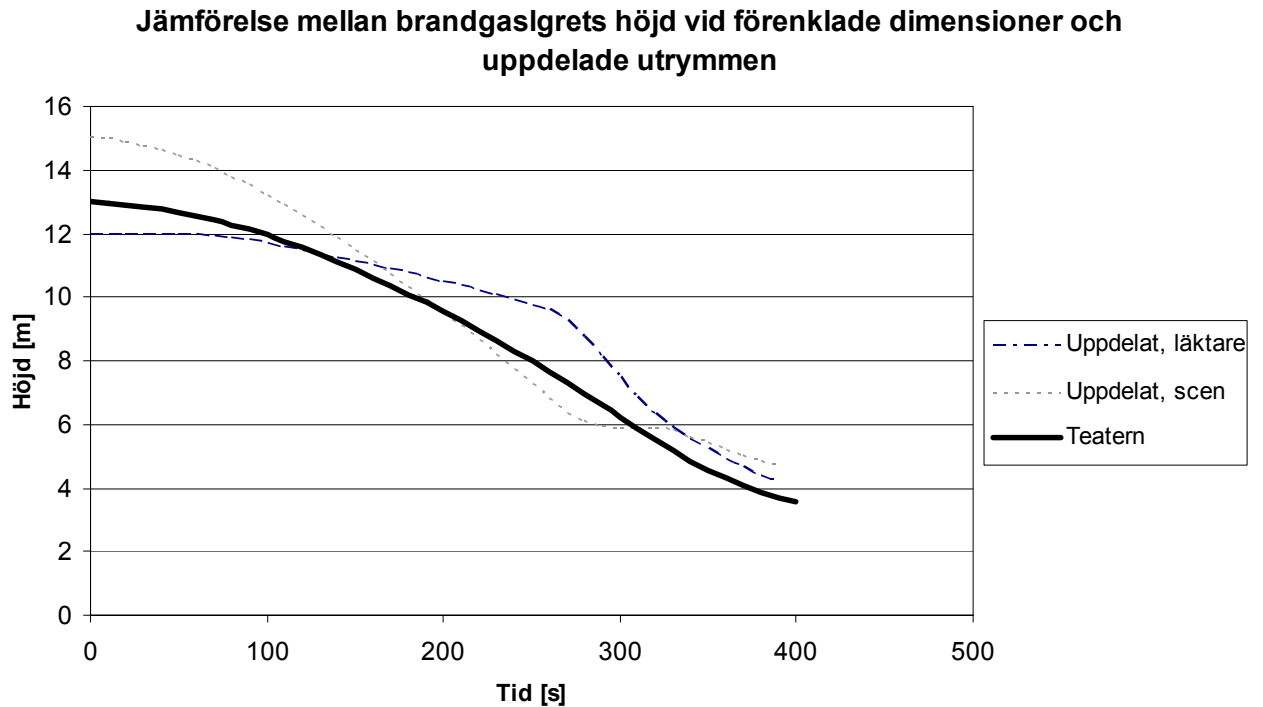
	Bredd	Längd	Höjd	L/B	L/H	B/H
Scenkällare	22	10	2,8	0,5	3,6	7,9
Orkesterdike	4	4	2,8	1,0	1,4	1,4
Läktare	22	18	12	0,8	1,5	1,8
Scen	22	10	15	0,5	0,7	1,5

5.3.2 Resultat

Det som är mest intressant att studera är höjden och temperaturen på brandgaslagret ovanför läktaren. De utgångar som först kommer att bli blockerade till följd av brandgaslagrets höjd är de bakre dörrarna. Överkanten på dessa dörrar ligger på 6 meter ovanför läktarens lägsta punkt och brandgaslagret bör hålla sig minst någon meter ovanför detta när siste man utrymmer. Temperaturen i brandgaserna ovanför läktaren når inte upp till 80 °C förrän vid 320 sekunder (se Appendix G). Även om temperaturen i brandgaserna ligger aningen högre ovanför scenen än de ovanför läktaren kommer den aldrig upp i några värden för dem som utrymmer genom de nedre utgångarna. Den kritiska höjden vid de övre dörrarna blir 2,2 meter. Detta är ett någorlunda bra riktvärde med tanke på den relativt låga temperaturen hos brandgaserna som ger en låg strålningsintensitet.

Av utdata kan utläsas att under den första minuten bildas i princip inget brandgaslager alls ovanför läktaren. Mellan tiden 70 sekunder och 270 sekunder sjunker sedan brandgaslagret relativt långsamt för att sedan ta fart och ligga på 6,2 (4+2,2) meter vid tiden 330 sekunder (se Figur 6.5). Att brandgaslagrets höjd börjar sjunka snabbare efter 270 sekunder beror på att brandgaser nu även börjar välla ut från scenen. Eftersom trappan ligger ungefär lika långt ifrån elden som orkesterdiket gör borde fördelningen mellan hur mycket rök som går upp läktare respektive scen vara jämnare. Tiden till att brandgaserna når 6,2 meter borde därför ligga mellan tiden för läktaren och tiden för scenen det vill säga runt 290 sekunder. Koldioxidhalten ligger vid 370 sekunder på 1,72 vol % ovanför läktaren vilket ligger under det kritiska värdet på 5 vol %.

Vid simulering av brandgasfyllnad vid förenklade dimensioner ligger resultatet mycket nära resultatet för uppdelade utrymmen (se Figur 6.5). Tiden till att brandgaslagret har sjunkit till 6,2 meter är aningen kortare än för de för läktaren och ligger på 300 sekunder. Även temperaturkurvan ligger mellan de för läktaren och scenen.



Figur 5.4

5.4 Brandsimulering med FDS

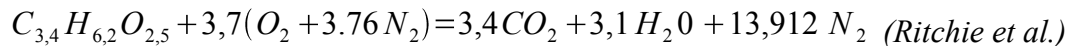
Eftersom CFD-koden är komplex och svårgräpbar valdes vissa förenklingar för systemet. Alla förenklingar är konservativa om inte annat anges, det vill säga förenklingarna gör att förhållanden blir värre i simulering än under verkliga förhållanden. Material i väggar, tak, golv etcetera antas vara inerta. Därför sker ingen värmeupptagning av brandgaser från fasta material och temperaturen i scenariet blir högre än under verkliga förhållanden. För beskrivning av FDS se Appendix H.

Av praktiska skäl valdes cellernas dimension till 40 centimeter i kubik med hänsyn till beräkningstid för simuleringen. Med detta grova nät som utgångspunkt kan celler skalas ner till finare nät i de kritiska områdena i simuleringen. Detta motsvarar ungefär 170 000 celler och en simuleringstid på 2-3 timmar med tillgänglig datorkapacitet. Datorn som användes hade 1 Gigabyte i arbetsminne och en Pentium M-processor på 1,6 Gigahertz. Fördelen med en grov cellstorlek som utgångspunkt är att cellsidorna kan skalas ner till mindre celler utan att geometrin påverkas. Geometrin

i teatern ritades upp i programmet med x-, y-, z-koordinater och objekt avrundades i intervall om 40 centimeter enligt cellstrukturen.

Undertaket ovanför läktaren lutar och byggdes upp i rätblock. Turbulens runt hörnen på rätblocken försummas genom FDS funktion SAWTOOTH för att efterlikna det lutande undertaket. Övre och nedre nödutgångar i läktaren antas vara öppna under hela simuleringen. Temperaturen i lokalen förutsätts vara 20 °C initialt.

Bränslet i scenkällaren utgörs huvudsakligen av trämaterial. Materialegenskaper för trä enligt FDS "WOOD" används som bränsle. Reaktionen för stökiometriska förhållanden anges nedan



Genomsnittligt soot yield för olika träbränslen är 1 % av bränslets massa vid väl-ventilerade förhållanden. Detta används i simuleringen och påverkar bland annat sikt, produktion toxiska gaser och strålning. Strålningen ökar till exempel med 15 % om soot yield ökar från 1 % till 2 %. Effekttutvecklingen i FDS enligt α^2 tar ej hänsyn till ökad effekt vid återstrålning. Effektkurvan från kapitel 4.1 är experimentellt framtagen och tar hänsyn till enclosure-effekten i utrymmet.

5.4.1 Validering av cellnät

För att validera valet av cellstorlek kördes en simulering med finare cellnät med cellsidor som kunde skalas om från en sida på 40 centimeter. Eftersom branden utvecklas kraftigt och sprider sig över stora ytor i scenkällaren krävs ett finmaskigt nät i hela brandrummet. Gränsövergångarna mellan fin- och grovmaskigt nät bör ej placeras i områden där förhållanden är kritiska för händelseförloppet, som till exempel i branden. Enligt rekommendationerna om cellsidor valdes därför 10 centimeter kuber i hela scenkällaren från $z = 0$ till $z = 2.8$. I övriga rummet från scengolvet valdes en cellsida på 20 centimeter. Totalt motsvarar detta ungefär 1,7 miljoner celler. Beräkningstiden för 100 sekunder brandsimulering tog ungefär två

dygn. Som arbetsgrid valdes ett cellnät med dubbelt så stora sidor, alltså 20 centimeter i brandrummet och 40 centimeter i övriga delar.

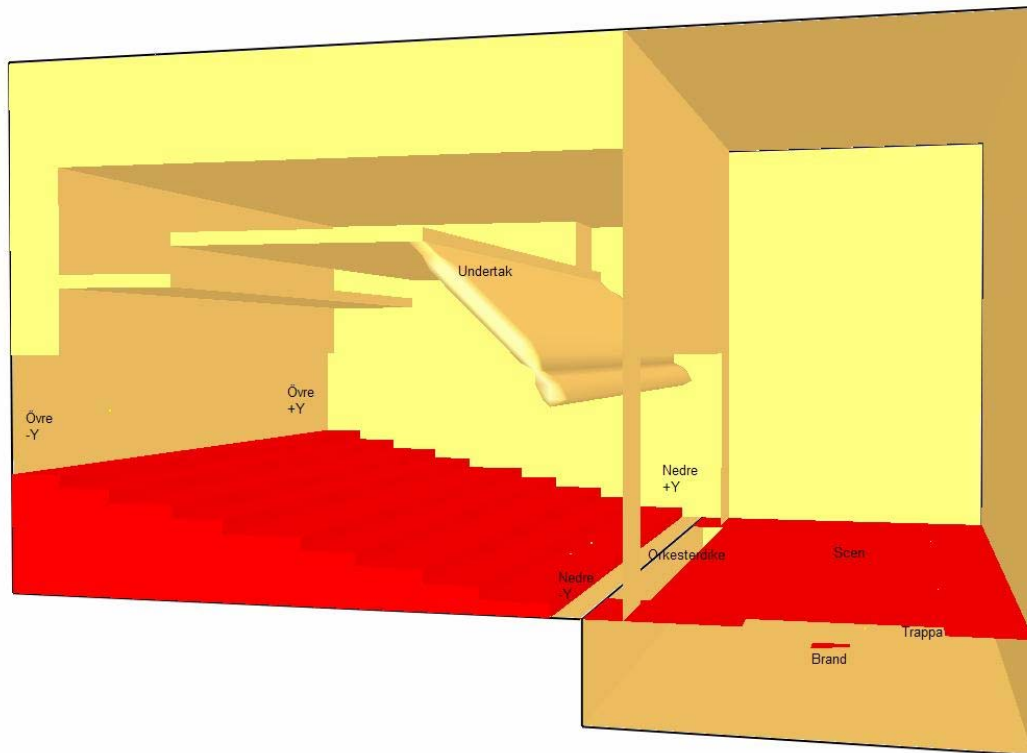
På grund av beräkningstiden för den fina cellstorleken valdes vid validering en fast effekt på 5 MW istället för en ökande alfa- t^2 kurva. Detta för att effekten enligt αt^2 kurvan efter 100 sekunder endast motsvarade 1 MW och ej skulle ge jämförbara resultat. Brandytan är ungefär 1 m². Cellnäten har placerats i turordning från finare till grövre kant i kant enligt rekommendationer från NIST. I Appendix I presenteras jämförelse mellan cellnäten vid två olika mätlinjer i planet x-z-planet y = 11 meter.

Temperaturerna skiljer sig något åt mellan de olika cellnäten. Det grövre nätet underskattar temperaturen i brandrummet men överskattar temperaturen i läktaren. Utrymning sker endast i läktaren, därför är användandet av det grövre nätet konservativt.

5.4.2 Simulering teatern

Brandkurvan simuleras enligt den alfa- t^2 kurva som tagits fram i kapitel 4. FDS förbränningsmodell tar hänsyn till de förhållanden som krävs för förbränning. Branden representeras av en plan yta som producerar en effekt som väljs i kW/m². På grund av cellstrukturen kan brandens yta inte bli exakt 1 x 1 m. Brandens yta sattes därför till 0,8 * 1,2 = 0,96 meter. För att kompensera för detta ökas effekten per ytenhet med 4 %. Effekten för branden motsvarar då den redovisade effektkurvan med α avrundat till 0,09.

Eftersom strålning ur personsäkerhetssynpunkt endast är intressant i läktaren används FDS enklaste strålningsmodell. Strålningsmodellens tillförlitlighet i brandrummet är osäker men långt bort ifrån branden är tillförlitligheten bättre. Temperaturen i läktaren är så pass låg att strålningen ej påverkar nämnvärt. Osäkerheten kring strålningen kan därför försummas. I geometrin tas ingen hänsyn till läckor eller ventilation i lokalen då branden inte blir ventilationskontrollerad.



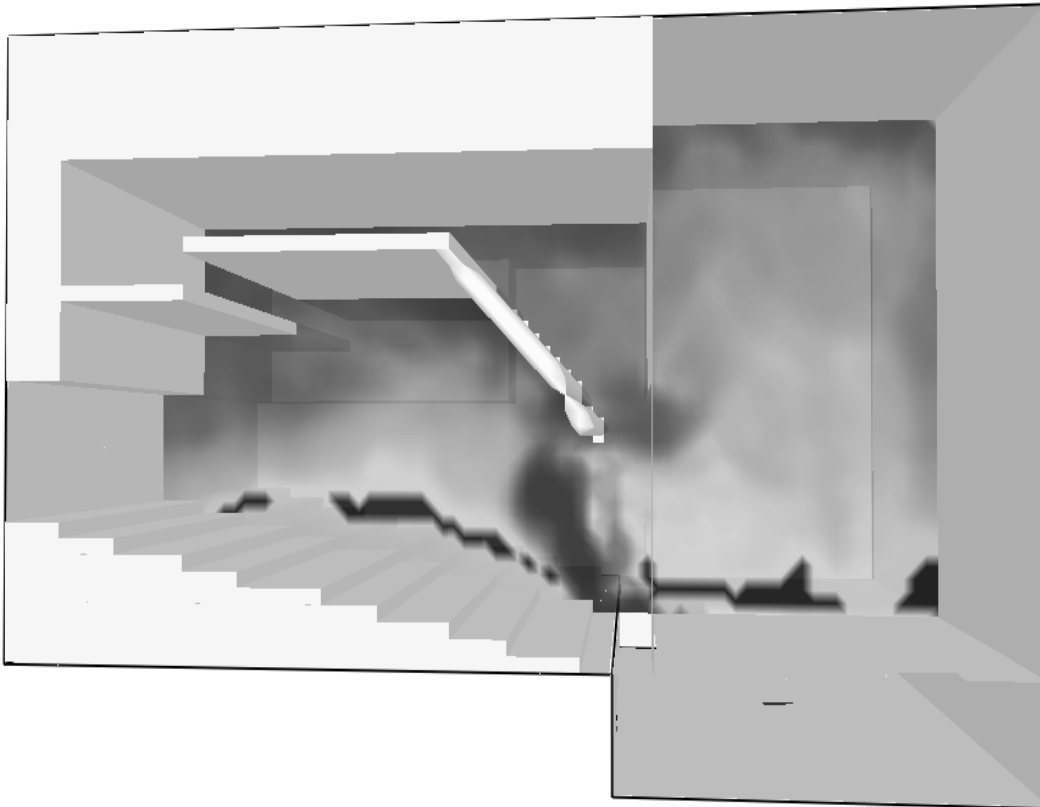
Figur 5.5 Översikt teatern. Utrymningsvägar är markerade med koordinat i Y-led, Övre $-Y$, Övre $+Y$, Nedre $-Y$ samt Nedre $+Y$.

Enligt 3-D simulering av det kritiska 80°-skiktet är temperaturspridningen i rummet relativt symmetriskt i y-led. Därför antas att värsta förhållanden uppnås i mitten av lokalen. Temperaturen är den faktor som mest påverkar spridningen av brandgaser i rummet. För att jämföra förhållanden med de kritiska gränserna för utrymning görs ett snitt i xz-plan mitt i rummet, $y = 11$ meter. Sikt och koncentration av giftiga gaser visualiseras i xz planet $y = 11$ meter. Mätpunkter för temperatur placerades på två meters avstånd vinkelrätt ut från nödutgångarna på 1,6 meters höjd.

5.4.2.1 Resultat

Den simulerade effektkurvan påverkas bara marginellt av ventilationsförhållandena och ligger ett par procent under den som tidigare tagits fram. Effektkurvan, sikt-förhållanden, toxicitet och temperatur presenteras i Appendix I.

Tiden till kritiska förhållanden inträffar efter ungefär 300 sekunder. Detta då sikten i rummet understiger 10 meter se figur 7.2.



Figur 5.6 Sikt ovanför scen och läktare efter 320 sekunder. De svarta fälten visar områden där sikten är 10 meter. Området ovanför det svarta skiktet har en sämre sikt.

Tabell 5.2 Sammanställning kritiska förhållanden

Kriterier	Tid till kritiska förhållanden
Temperatur (80 °C)	400 sekunder
Sikt (10 meter)	300 sekunder
Strålning (3,5 kW/m ²)	Inträffar ej under simuleringen
Kolmonoxid (0,2 vol %)	Inträffar ej under simuleringen
Koldioxid (5 vol %)	Inträffar ej under simuleringen

5.5 Jämförelse mellan simuleringar och handberäkningar

Brandsimuleringen i scenkällaren har utförts med handberäkningar, tvåzonsmodellen CFAST och CFD-modellen FDS. De två datorsimuleringarna gav värden som liknade varandra medan handberäkningarna gav mycket snabbare brandgasfyllning. Att välja vilken modell som har störst validitet är inte helt självklart.

Tabell 5.3 Jämförelse metoder och tid till kritiska förhållanden

Metod	Tid till kritiska förhållanden (s)
Handberäkningar	150
CFAST	290
FDS	300

5.5.1 Handberäkningar

Vid handberäkningar har många förenklingar gjorts varav den mest avgörande är att scengolvet har försumrats. Öppningarna i scengolvet medför stor problematik vad gäller in och utsug av luft respektive brandgaser. Denna förenkling medför en överskattad rökfyllnad och temperatur i brandgaslagret. Validiteten här är högst tveksam men handberäkningarna ger det mest konservativa resultatet.

5.5.2 CFAST

Två olika simuleringar har gjorts i CFAST. Resultaten blev ganska lika i de två fallen. I dessa simuleringar har hänsyn tagits till scengolvet. En nackdel är att CFAST inte ger riktigt bra värden vid vertikal brandgasspridning till ovanliggande rum. Detta har påverkat simuleringen. Validiteten är även här tveksam på grund av att tvåzonsmodellen inte ger säkerställda resultat vid vertikala öppningar mellan olika plan. Teatern är så pass stor att den ligger på gränsen till vad som är validerat.

5.5.3 Fire Dynamics Simulator

Precis som i CFAST har hänsyn tagits till scengolvet i denna simulering. Denna beräkningsmodell har bäst validitet då de komplicerade geometrierna med scengolv, avskiljning mellan läktare och scen samt lutande undertak försummas i de andra

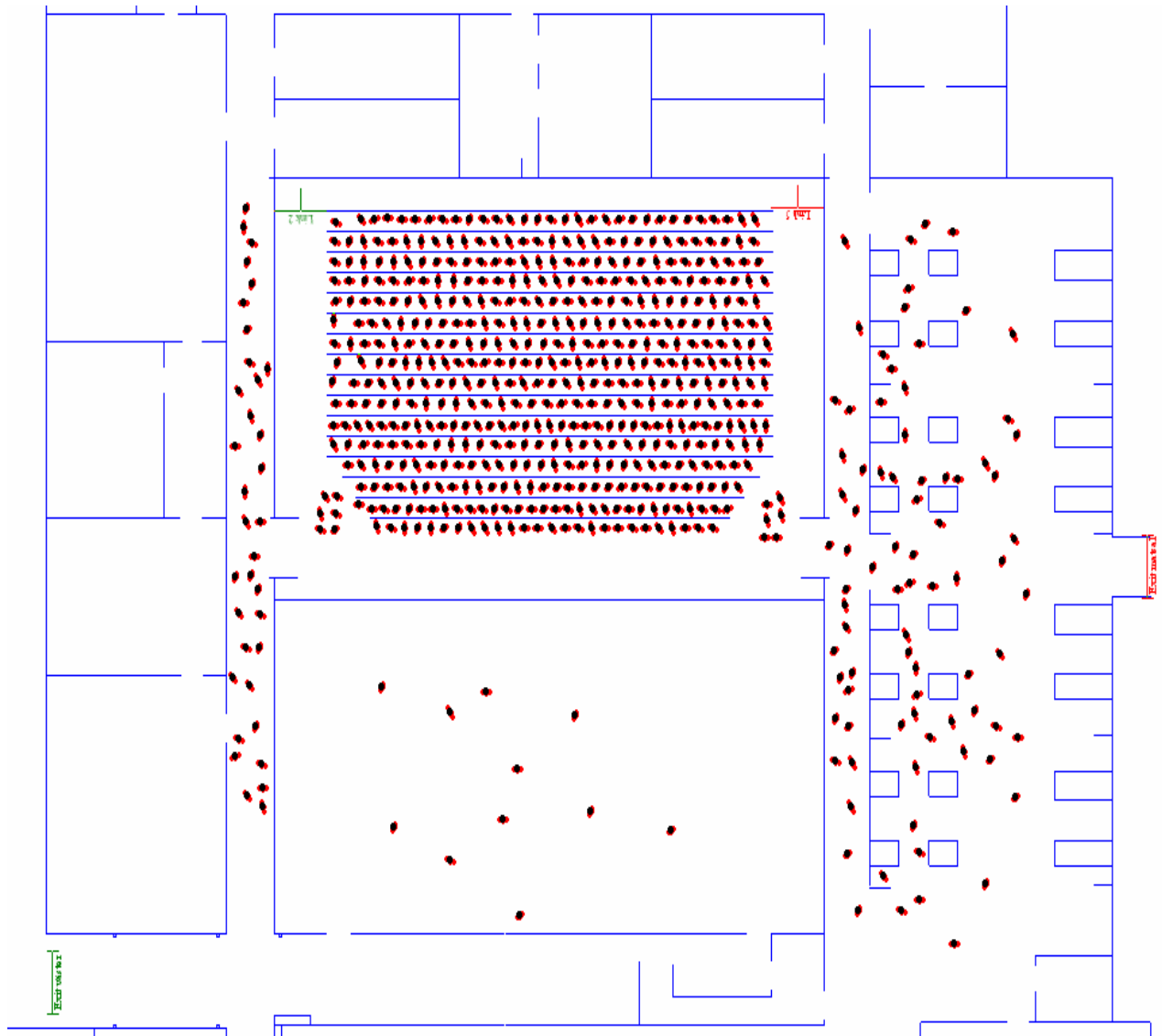
modellerna. Det har skett mycket konsultation med erfarna användare för att säkerställa korrekt ingångsdata och förenklingar.

5.5.4 Slutsats

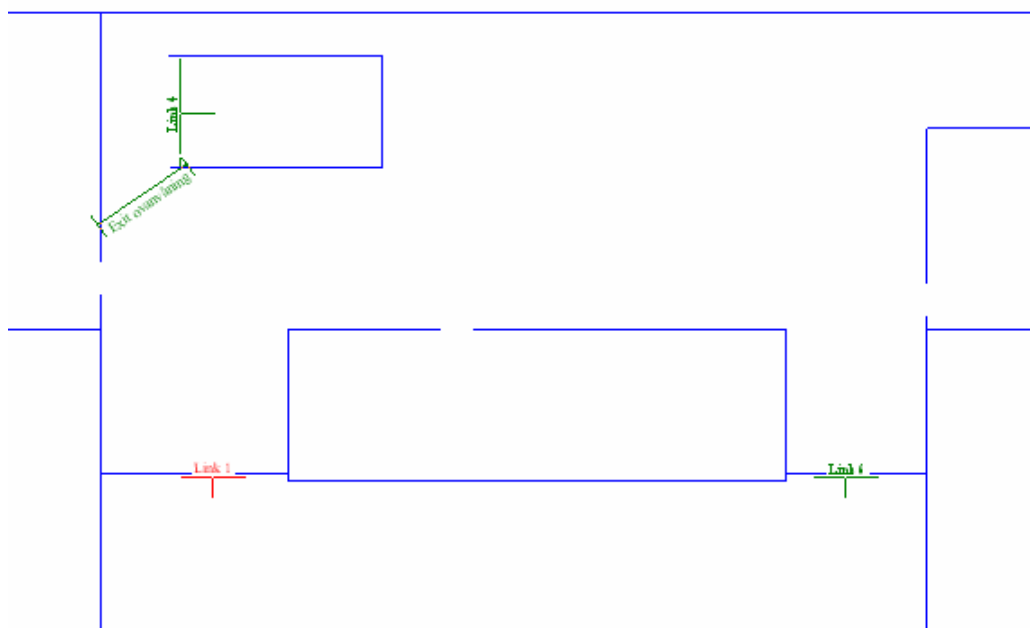
FDS-simuleringen har större validitet än CFAST och handberäkningarna om för och nackdelar jämförs. Det resultat av de tre beräkningsmetoderna som är tillförlitligast är datorsimuleringen i FDS.

5.6 Utrymningssimulering med Simulex

I detta scenario har olika beslut- och reaktionstid har satts beroende på var individen befinner sig i teatern. De individer som sitter på den nedre hälften av stolsraderna har fått en beslut- och reaktionshastighet som är kortare än de som sitter på den övre hälften av stolsraderna. Detta beror på att de som sitter på de främre stolsraderna upplever situationen som mer akut och hotande. De på främre raden kommer att se och känna lukten av rök före de som sitter längre bak. För beskrivning av Simulex, se Appendix J.



Figur 5.7 Uppställning i simulering för teaterns markplan.



Figur 5.8 Uppställning i simulering för teaterns ovanvåning.

Som tidigare nämnts rekommenderas en besluts- och reaktionstid på 1 min om branden är synlig (Frantzich 2001). Enligt simuleringen i FDS ändras siktförhållanden i orkesterdiket efter lite drygt 60 sekunder vilket indikerar brandrök. De människor som eventuellt sitter i orkesterdiket bör upptäcka branden vid ungefär denna tidpunkt eftersom det finns mycket bråte och skärmar nere i scenkällaren som kan skymma branden. De främsta sju raderna i teaterläktaren samt de på scen har ställts in på att röra sig efter 115 ± 10 sekunder och bakre raderna efter 125 ± 10 sekunder. Individerna i de främre radernas vänstra hälft har satts till att utrymma genom den västra utgången och de i den högra hälften har satts till att utrymma genom matsalsutgången. De bakre raderna har satts till att utrymma på motsvarande sätt fast mot ”Exit ovanvåning” (se figur 9.5). Anledningen till att det finns en Exit på ovanvåning och att det ser ut att finnas en vägg mellan scen och läktare är för att inte individerna ska ta ologiska utrymningsvägar. Människorna som står i korridorerna och matsalen får en besluts- och reaktionstid på 30 ± 10 sekunder från och med att första individen kommer ut från teatern och rör sig mot närmsta utgång. Som simuleringen i hallongrottan har populationen satts till ”school population” med undantag för de tolv individerna närmast de två nedre utgångarna som är satta som ”disabled” (rörelseförhindrade). På skolan undervisas 11 elever med funktionshinder.

5.6.1 Resultat

Enligt datorprogrammet tar det 5 minuter och 10 sekunder att genomföra utrymningen från teatern och ut ur skolan. Det är viktigt att påpeka att efter 4 minuter och 15 sekunder har den sista individen lämnat teatern. Utrymningen omfattar totalt 631 individer varav 511 befinner sig i teatern. Köbildning är det stora problemet vid denna utrymning. Det bildas köer vid alla utgångar från teatern (utom de precis bakom scenen, men de är spärrade av branden). De övre utgångarna har större problem med köbildning än de två nedre utgångarna. Detta beror på att fler av individerna har programmerats att utrymma via de två övre utgångarna. Anledningen till detta beror på ett antagande om att branden och röken, som befinner sig nära de nedre utgångarna, känns hotande och skrämmande för de flesta individerna.

5.7 Jämförelse mellan brand och utrymningssimuleringar

Simuleringen av utrymning i teatern visar att utrymningen tar 255 sekunder. Kritiska förhållanden uppnås i FDS efter 300 sekunder då kritiska gränsen för sikt passeras.

5.8 Känslighetsanalys

Resultaten från simuleringarna tyder på att teatern kan utrymmas innan kritiska förhållanden infinner sig. Säkerhetsmarginalen är dock inte större än att resultatet kan påverkas om vissa parametrar ändras. Detta kan vara till exempel blockerade nödutgångar eller användande av aktiva system. I FDS jämförs simulering med brandgasventilation och simulering där egenskaper för väggmaterial tas hänsyn till.

5.8.1 Brandgasventilation

Ytterligare en handberäkning utfördes då brandgasventilationen aktiveras. Beräkningen var ett ”worst case” scenario då scengolvet togs bort och brandplymen kan suga in maximal mängd luft. Simuleringen visar att brandgaslagret ovanför läktaren kommer att stabilisera sig kring 8 meter. Detta är under det kriterium vi tidigare har satt upp men då brandgaslagret inte kommer att ta sig längre ner kan människorna utrymma säkert via de lägre utrymningsvägarna.

Simulering med brandgasventilation gjordes även i FDS. Brandgasventilation med en sammanlagd yta på 24 m² påverkade endast marginellt resultatet i simuleringen.

Temperaturprofilen påverkades ej nämnvärt. Detta kan delvis förklaras av den låga temperaturen ovanför scenen, ungefär 60°C.

5.8.2 Sprinkler

Scenkällaren är helsprinklad utom ett område i orkesterdiket. En uppskattning om när sprinkler kan aktiveras fås genom simulering i DETACT-T2. Indata som sprinklernas RTI-värde och omgivningens egenskaper krävs. För att bestämma RTI-värdet utfördes experiment i brandlaboratoriet med ett sprinklerhuvud från Domarhagsskolan.

Beräkningarna visar att sprinklerna aktiveras efter ungefär 140 sekunder det vill säga 20 sekunder efter det att folk har börjat röra sig. Branden är vid detta tillfälle 1,6 MW och kommer antagligen att kontrolleras eller släckas så att utrymning kan ske utan problem. Försöket och beräkningar redovisas i Appendix L.

5.8.3 FDS-simulering med väggmaterial

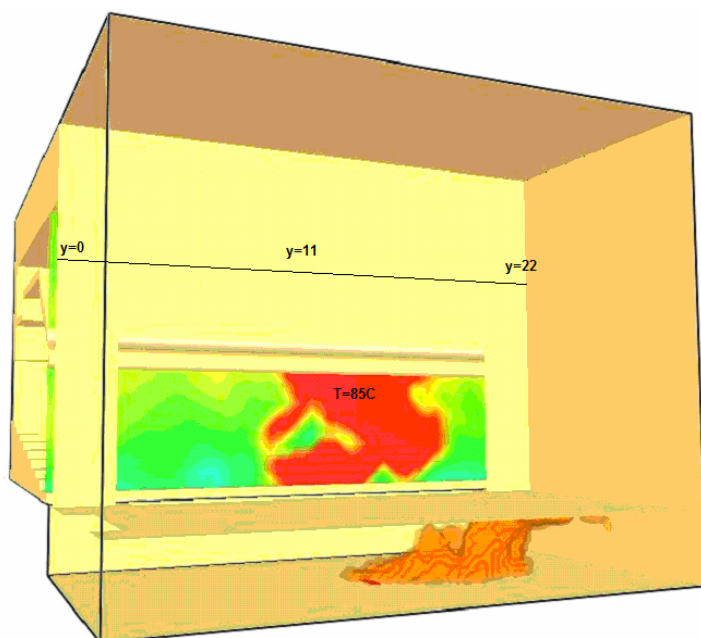
I simuleringen i FDS gjordes förenkling att alla byggnadsmaterial var inerta. I en jämförelse användes material ur FDS databas. Tak-, vägg- och golvytor sattes till 20 cm betong, förutom scenkällargolv och undertaket i läktaren. Simuleringen visade att resultatet endast skilde sig marginellt från tidigare. Förenklingen med inerta ytor påverkade därför ej resultatet nämnvärt.

5.8.4 Blockerade utgångar

I tidigare beräkningar har det antagits att alla utrymningsvägar har varit fria för utrymning. En blockerad utrymningsväg kommer att resultera i att många inte hinner ut. Människor kommer att ta sig till utrymningsvägen för att sedan upptäcka att den är blockerad och då vända tillbaka.

5.8.5 Brandutveckling scenkällaren

Enligt animeringen av branden i Fire Dynamics Simulator gör ventilationsförhållanden att branden efterhand utvecklas bort från trappan, se nedan. I figuren redovisas också temperaturen i y-z planet över de nedre nödutgångarna. Temperaturen är inte symmetriskt fördelad i y-z planet men temperaturen är som högst mellan $y = 11$ meter till $y = 17$ meter. Förhållanden i slice $y = 11$ meter är därför värst i lokalen även om viss varians förekommer. Sikten spelar störst roll i mitten av lokalen där avståndet till utrymningsvägar är störst och påverkas därför bara marginellt av asymmetrin.



Figur 5.9 Branden efter 400 sekunder och temperaturen över orkesterdiket

5.9 Slutsats

Simuleringar har visat att utrymning är möjlig då inga aktiva system utlöses. Resultaten förutsätter att alla utgångar är tillgängliga för utrymning. Denna förutsättning, tillsammans med den relativt lilla marginalen mellan tiden till utrymning och tiden till kritiska förhållanden, motiverar ytterligare åtgärder för att säkra utrymning ur teatern.

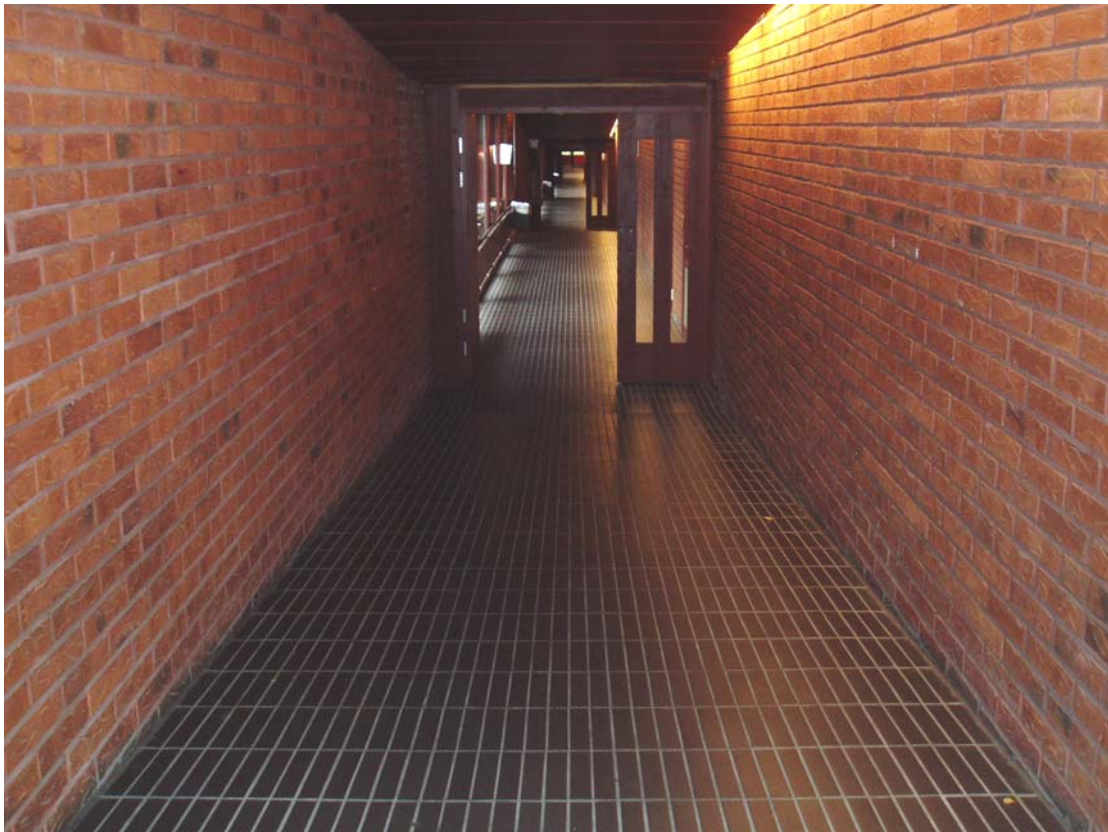
En besiktning av sprinklersystemet i scenkällaren skulle innebära en ökning av tillförlitligheten från under 80 % till 95-96 %. Detta skall göras regelbundet var 15:e månad och är en kostnadseffektiv åtgärd.

Teaterns övriga aktiva system bör kontrolleras för att kunna säkerställa deras funktionsduglighet. Brandgasventilationen har i simuleringarna visat sig vara av mindre betydelse vid brand i scenkällaren men skulle till exempel vid brand på scenen kunna göra nytta.

Vikten av att hålla utrymningsvägar fria är stor. En blockerad utrymningsväg i teatern i nämnt scenario skulle med stor sannolikhet resultera i flera personskador. Att utrymningsvägarna är fria är därför ett krav.

6 Scenario 3 – Matsalar

Längs med hela högstadiedelen går sluttande korridorer som mynnar ut i skolans matsalar. Vid besöket hade installation av automatiska dörrstängare avbrutits varför dessa utgör en risk. En brand i ett utrymme som gränsar till dessa korridorer skulle kunna ge upphov till en snabb brandgasspridning med skorstenseffekt upp i de stora samlingslokalerna.



Figur 6.1 Sluttande korridorer i högstadiedelen

För att uppskatta risken valdes ett scenario med brand i träslöjdssalen som gränsar mot korridorerna. Träslöjdssalen har ingen rökdetektor vilket betydligt försenar detektion då personer inte vistas där.



Figur 6.2 Träslöjdsalen

Scenariet består i en underventilerad brand som producerar stora mängder brandgaser och rökfyller rummet. En person öppnar dörren och brandgaser väller ut i de sluttande korridorerna. Rökdetektorer i korridoren utlöser och sekunder senare väller brandgaser in i högstadiematsalen som håller 160 elever. Mellan träslöjdsalen och matsalen finns en horisontell tvärgående korridor. Syftet med beräkningarna är att göra en bedömning av huruvida det är rimligt att en skadlig mängd brandgaser kan ta sig upp i matsalen innan utrymning har skett.

Beräkningarna behandlar endast siktminskning. Vid underventilerade bränder brukar toxicitet få mer uppmärksamhet, men kritiska förhållanden bedöms inträffa senare för denna parameter än för sikten. Toxicitet kommer således inte att behandlas vidare i detta scenario.

6.1 Effektkurva

Resonemanget i scenario 3 är till stor del kvalitativt. En effektkurva till detta scenario fyller ingen funktion då endast massan sot är relevant. Massan sot är en funktion av massan förbränt material och kräver inte någon effektkurva. Om branden antas avta vid en viss syrekonzentration och syret utvecklar en känd mängd energi per kg kan mängden brunnet material bestämmas. Den enda information som krävs för detta är materialets effektiva förbränningsvärme, vilket är känt.

6.2 Handberäkningar på brandgasfyllnad i matsalen

Beräkningarna ger en grov uppskattning av brandgasproduktion och bygger på ett antal antaganden. Träslöjdssalen innehåller stora mängder trä och har därför valts som dimensionerande bränsle.

6.2.1 Antaganden

- Branden förbrukar allt syre från startkonzentration 21 % till 10 % då branden antas avta.
- Branden i det slutna rummet kommer att ge upphov till ett brandtryck som kan innebära spridning genom ventilationssystemet och belastning på fönster. Detta kommer inte att beaktas då primära risken anses vara rökfyllnaden av matsalen via korridor.
- Soot yield som används är konstant och för underventilerade förhållanden. Grundvärdet för yelden är ett medelvärde av olika sorters trä hämtat ur SFPE Handbook, (SFPE, 1995). Enligt Generation and Transport of Smoke Components (Butler & Mulholland, 2004) kan soot yield öka upp till 2,5 gånger så mycket vid underventilerade förhållandet. Soot yield blir då $2,5(1,5+0,8)/2 = 2,85 \%$ och avrundas till 3 % vilket används i beräkningarna. Denna yield är att betrakta som den största som kan förekomma.
- Fönster och dörrar antas vara stängda.
- I matsalens borte ända är en befintlig skjutvägg på plats vilket bara ger en öppning med bredden 1 meter och begränsar spridning vidare.

Beräkningarna redovisas i Appendix E, scenario 3.

6.2.2 Resultat av siktberäkningar

Beräkningarna visar på att sikten hamnar långt under kritiska värden. Redan då två volymprocent av brandgaserna har tagit sig upp i matsalen och blandats om blir sikten kritisk.

6.2.3 Utrymningsberäkningar

För detta scenario har utrymningsberäkningarna gjorts för hand.

$$t_{gång} = \frac{L}{v} \quad \Rightarrow \quad t_{gång} = \frac{24,5}{1,3} = 18,8s$$

$$t_{dörr} = \frac{N}{Bf} \quad \Rightarrow \quad t_{dörr} = \frac{160}{1 \cdot 1} = 160s$$

N = antal personer

B = dörrens bredd

f = dimensionerande personflöde

L = gångväg

v = gånghastighet

(Brandteknik, 2002)

En köbildning bildas momentant vid öppningen och blir dimensionerande. Gångtiden kan därmed försummas. Tiden till utrymning blir $t_{dörr}$ samt t_{reak} , och beräknas från den tidpunkt då brandgaser börjar välla in i matsalen.

$$t_{utrymning} = 160s + 60s = 220s \text{ där } 60s \text{ är besluts- och reaktionstid}$$

6.3 Känslighetsanalys

Resultaten från beräkningarna visar att kritiska förhållanden uppstår om 2 % av brandgaserna tillåts ta sig till högstadiematsalen. Genom att ändra på enstaka parametrar kan känsligheten av resultatet kontrolleras.

Genom att ändra fraktionen (yield) sot till 0,01 g/g trä kan ett bästa fall beräknas då fraktionen är den som uppskattas för välventilerade förhållanden (SFPE, 1995). Enligt

tidigare resonemang bör fraktionen under senare delen av brandförloppet ligga betydligt över detta värde. Den genomsnittliga yielden bör således ligga mellan dessa värden.

Beräkningarna redovisas i Appendix E.

Resultatet visar i detta bästa fall att blir sikten så dålig att kritiska förhållanden uppstår även med så låga andelar som 5 % brandgaser kommer upp i matsalen. Det är troligt att en större del av brandgaserna än så tar sig upp till matsalen.

Den största delen av brandgaserna som kommer ut från träslöjden kommer att följa huvudkorridoren upp i matsalen på grund av den termiska stignakraften och rörelsemängden. Då det krävs en så liten andel brandgaser upp till matsalen kommer förhållandena i matsalen bli kritiska trots läckor och förluster till angränsande korridorer och utrymmen. Den kritiska andelen brandgaser kan fortfarande med god sannolikhet ta sig upp till matsalen trots förluster.

6.4 Slutsatser

De lutande korridorerna och bristen på sektionering bidrar till en förhöjd risk i händelse av brand. Resultaten visar att kritiska förhållanden kan uppstå redan då små volymer brandgaser transporteras till matsalen. Även med hänsyn till tvärgående korridorer och andra förluster kan kritiska förhållanden uppkomma. Utrymningen från matsalen sker på knappt fyra minuter. Allvarliga situationer bedöms kunna uppstå inom denna korta tidsperiod.

Riskerna med de sluttande korridorerna kan minskas avsevärt genom enkla åtgärder som att fullfölja sektioneringen som påbörjades år 2003 (se objektbeskrivning). En väl fungerande sektionering med automatiska dörrstängare kopplade till brandlarmet hade eliminerat problemet helt.

7 Värdering av personsäkerhet

Domarhagsskolan uppfyller idag inte kraven för att säker utrymning vid brand kan ske. Nästan alla säkerhetsbrister kan åtgärdas med ett antal enklare åtgärder. Det stora problemet är kafeterians undre källarplan i gymnasiedelen.

7.1 Förbättringar som skall göras

För att höja personsäkerheten på Domarhagsskolan till en acceptabel nivå krävs förbättringar enligt följande skall-krav.

7.1.1 Hallongrottan

Källarplanet i hallongrottan skulle vid en eventuell brand medföra stor risk för personskador. Enligt BBR skall två av varandra oberoende utgångar finnas. I detta fall består den enda utrymningsvägen av en smal trappa, och utrymnet rökfylls mycket snabbt. Utrymningsvägen blockeras långt innan alla har hunnit ut även om branden placeras långt ifrån trappan och alla reagerar orimligt snabbt. Lokalen är svår att skydda brandtekniskt på ett kostnadseffektivt sätt och skulle behöva utvärderas ytterligare. Ett alternativ till att stänga det nedre källarplanet skulle vara att bygga till en extra utrymningsväg. Detta skulle även kräva att sofforna ersätts med mindre brandfarliga möbler. Ur ekonomisk synvinkel är det billigare att stänga det nedre källarplanet. Därför skall det nedre källarplanet stängas på grund av bristande personsäkerhet. Se kapitel 4.6.

7.1.2 Sektionering

Dörrstängare skall installeras i högstadiedelen. Anledningen är att förhindra brand- och brandgasspridning vid en eventuell brand i högstadiedelen. Dörrstängare är alltid att rekommendera för att sektionera av långa korridorer. Enligt Boverkets Byggregler ska långa korridorer delas upp med dörrar i lägst klass E 15-C var 60:e meter för att förhindra utbredd brandgasspridning. Dessa skall vara självstängande vid en eventuell brand. I sluttande korridorer sker brandgasspridning mycket snabbt då det bildas en skorstenseffekt. Vid brand i högstadiedelen kan, om dörrstängarna inte fungerar,

brandgas spridas upp till matsalarna där många personer kan vistas samtidigt. Se kapitel 6.4.

7.1.3 Utrymningsvägar

För att utrymning skall ske förutsätts utrymningsvägarna vara fria från hinder och tydligt utmärkta. Bråte i utrymningsvägar kan vara hinder vid en eventuell utrymning och även sprida branden till andra delar av byggnaden. (Boverket, 2005)



Figur 7.1-7.3 Exempel på bråte i utrymningsväg och ej fungerande respektive fungerande genomlyst utrymningsskylt.

Utrymningsskyltarna skall inte täckas över vid föreställningar i teatern. Detta är särskilt viktigt under kvällstid då personerna inte kan förväntas ha god lokal-kännedom. Skyltarnas belysning skall fungera och skall vara av typen genomlyst eller belyst enligt av dagens regler i Boverkets Byggregler. Är skyltarna inte av denna typ rekommenderas de att bytas ut. Se kapitel 2.6.

7.1.4 Sprinklersystemet i scenkällaren

Sprinklersystemen i scenkällaren skall besiktigas regelbundet för att förbättra personsäkerheten. Marginalerna vid utrymning av teatern är för låga för att garantera säker utrymning. Med hjälp av sprinklersystemet som är installerat i scenkällaren kan en eventuell brand släckas eller begränsas så att utrymning kan ske utan

tidsbegränsning. Besiktigas sprinklersystemet ökar säkerheten att de fungerar tillfredsställande vid brand från under 80 % till över 95 % (*Holmstedt, 2005*). Det är främst vattenmatningen och dess tryck som är sårbart. Bestämning av RTI-värden är ej statistiskt säkerställd men resultatet visar att RTI-värdet är tillfredsställande. Se kapitel 5.9.

7.1.5 Gastuber

Gastuber innehållande syre eller brandfarliga gaser ska förvaras i speciella brandklassade skåp. Se kapitel 3.1.13.

7.2 Förbättringar som bör göras

För att höja brandsäkerheten ytterligare rekommenderas ett antal viktiga och kostnadseffektiva lösningar nedan.

7.2.1 Handbrandsläckare

Placeringen av handbrandsläckare bör förbättras. Handbrandsläckare ska vara lättillgängliga och bör inte ha papperskorgar nedanför sig. Det är inte lämpligt att ha brännbart material under handbrandsläckaren. Släckaren kan då bli satt ur funktion vid händelse av brand. Se kapitel 2.5.



Figur 7.4 Exempel på svåråtkomlig brandsläckare

7.2.2 Brandgasluckor

Kontroll av brandgasluckorna bör ske med jämna mellanrum. Brandgasluckorna ovanför scenen är viktiga att underhålla eftersom de är en del av brandskyddet. Luckorna kan underlätta utrymningen vid brand genom att ventilera ut brandgaser ovanför scenen. Brandgasluckorna kan förhindra att brandgaser sprids till läktardelen vid brand på scenen. Se kapitel 5.9.

7.2.3 Automatiskt brandlarm

Installering av automatiskt brandlarm kopplat till utrymningslarm rekommenderas i scenkällaren för att säkerställa upptäckt och utrymning vid eventuellt brand. En tidig varning om brand gör att utrymning av teatern kan påbörjas i ett tidigare skede. Statistik visar dock att folk reagerar långsamt på enbart ringsignal varför reaktionstiden förmodligen inte kommer bli mycket snabbare. Rekommendationen för utrymningslarm i samlingslokaler är ett talat utrymningsmeddelande. Detta ger den snabbaste utrymningen (*Frantzich, 2001*). Rökdetektor bör också placeras ovanför garderoben då konsekvensen av brand där är stor.

7.2.4 Sprinklersystemet ovanför scenen

Den önskade effekten av sprinkler i scentaket bör utvärderas. Sprinkleranläggningen i scentaket bedöms fungera dåligt. Sprinklersystemets släckverkan försämras på grund av undertaket. Vattendropparna kommer att träffa undertaket och förlora sin hastighet nedåt, för att sedan droppa ner genom springorna ner mot branden. Den största kylningen av brandgaser kommer förmodligen att ske ovanför undertaket, vilket motverkar brandgasernas utflöde genom ventilationsluckorna. Brandgasventilationens effektivitet minskar då samtidigt som släckverkan minskar.

7.2.5 Utrymningsvägar

Dörrarna i utrymningsvägarna bakom scenen är tröga och svåra att öppna. En gräns som satts är att den kraft som krävs för att öppna en dörr skall understiga 130 N (*Boverkets Byggregler, 2005*). Öppningsanordningen som är av typen vred bör bytas

ut mot till exempel ett enkelt handtag som bara behöver tryckas ner. Dörrarna går inåt vilket kan medföra problem i en utrymningssituation.

7.2.6 Förrådsutrymmen

Ordningen i förrådet under läktaren i teatern bör förbättras. Påsar med mera ligger i oordning och utspritt. En eventuell brand kan sprida sig snabbt och orsaka stor materiell förödelse.



Figur 7.6 och 7.7 Förrådet under läktaren

7.2.7 Brandridå

Informera om att brandridån i teatern inte är funktionsduglig alternativt reparera hissanordningen. Att sänka brandridån är både tungt och tidskrävande eftersom vajern har kilat in sig någonstans i stålkonstruktionen. Skulle det utbryta en större brand i scenkällaren så är det bättre att låta brandridån vara och istället öppna brandgasluckorna i taket över scenen. Den stora anledningen till att brandridån inte behöver sänkas ner till scengolvet är att brandgasspridningen ändå kan ske till läktaren via orkesterdicket. Sänks brandridån kommer brandgaslagret att kunna sjunka till lägre höjd innan den kan ventileras ut. I nuläget får personen som ska sänka ridån stå på en

mycket utsatt plats vid en eventuell brand. Informeras det om att brandridån inte behöver sänkas förhindras det att folk utsätter sig för onödig fara.

7.2.8 Manuella utlösningssanordningar

Utlösningssanordning för de manuella aktiva system i teatern befinner sig på scenen. Vid brand på scenen kan detta innebära att aktivering av systemen ej kan utföras. Placering av manuell utlösningssanordning bör placeras utanför teatern i annan brandcell för att säkerställa möjlighet till aktivering. Detta för att till exempel räddningstjänst skall kunna ventilera lokalen utifrån.

8 Referenser

8.1 Litteratur

- Boverket, *Boverkets Byggregler 2005*, Boverket, 2005
- Boverket, *Utrymningsdimensionering*, Boverket, 2004
- Brandskyddslaget och Brandteknik LTH, *Brandskyddshandboken*, Brandteknik, 2002
- Brandteknik, *Kompendium i kursen Aktiva System*, Brandteknik, 2005
- Kathryn Butler och George Mulholland, *Generation and Transport of Smoke Components*, NIST, 2004
- Håkan Frantzich, *Tid för utrymning*, Brandteknik LTH, 2001
- Jörgen Granefelt, *Statistik över bränder i skola, 1996-2004*, SRV, 2005
- Björn Karlsson och James G. Quintiere, *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press, 2000
- Johan Lundin, *Acceptabel risk vid dimensionering av utrymningssäkerhet*, Brandteknik LTH, 2004
- Kevin McGrattan, *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide*, NIST, 2005
- Kevin McGrattan och Glenn Forney, *Fire Dynamics Simulator User's Guide*, NIST, 2005
- National Fire Protection Agency, *Guide for Smoke and Heat Venting*, NFPA 1985
- NKB, *Funktionsbestemte Brandkrav og Teknisk Vejledning for beregningsmessig eftervisning*, NKB, 1994
- Fredrik Nystedt, *Risikanalysmetoder*, Brandteknik LTH, 2000
- J. Rahikainen och O. Keski-Rahkonen, *Determination of ignition frequency of fire in different premises in Finland*, 1998
- Ritchie et al, 5th IAFSS, 1997
- Society of Fire Protection Engineers, *The SFPE Handbook – Second Edition*, SFPE, 1995
- Stefan Särdaqvist, Initial Fires RHR, *Smoke Production and CO Generation from Single Items and Room Fire Tests*, Brandteknik LTH, 1993

8.2 Muntliga källor

- Personlig intervju med Göran Holmstedt, Brandteknik LTH, 2005
- Personlig intervju med Lars Jensen, Installationsteknik, LTH, 2005

Personlig intervju med Daniel Nilsson, Brandteknik LTH, 2005

8.3 E-mail

E-mail korrespondens med Richard Peacock, NIST, 2005

E-mail korrespondens med Kevin McGrattan, NIST, 2005

8.4 Elektroniska källor

2005-11-09, National Institute Standard of Technology, ([Thttp://www.fire.nist.gov](http://www.fire.nist.gov))

9 Appendix

Appendix A - Instruktion till personal



DOMARHAGSSKOLAN

2005-013

INSTRUKTION

Till all personal

Angående nödutrymning

Det börjar bli dags för terminens utrymningsövning. Med anledning av detta skall vid utrymningslarm följande rutiner gälla:

1. Räkna aktuella elever i klassen/gruppen
2. Utse en elev till riktmärke
3. Gå direkt ut utan att hämta kläder eller andra ägodelar
4. Läraren lämnar lektionssalen sist
5. Klassen samlas kring eleven/riktmärket **minst 25 m** från huskroppen
6. Räkna antalet elever ännu en gång
7. **VID ÖVNING - ANMÄL SNARAST TILL ÖVNINGSLEDNINGEN NÄR**
KLASSEN ÄR UTE OCH OM NÅGON ELEV SAKNAS
8. Efter avprickning hos övningsledningen, som kommer att uppehålla sig på inre gården vid flaggstången framför ingången till Ljusgården, återgår klassen till arbete enligt schemat.
9. Vid andra typer av olyckor, typ gasutsläpp, skall larmknappar aktiveras – därefter;
ring 112.

TILL SIST - BETÄNK ATT NÄSTA GÅNG LARMET GÅR KAN DET GÄLLA FULLT ALLVAR!

SYNPUNKTER ATT BEAKTA VID UTRYMNINGSÖVNING

- * Det finns totalt 66 utrymningsplaner uppsatta

Klf förklarar för eleverna:

- Var dom finns
- Varför dom finns
- Vikten av att kunna dem
- Anmäla ev. skadegörelse

Klf besöker tavlorna och förklarar

- * Det finns totalt 5 återsamlingsplatser

Klf förklarar innebörden av återsamlingsplats

- Var den finns
- Varför den finns
- Uppträdande på återsamlingsplats

- * Håltimmar och elever som sitter i olika avdelningar.
Elever som gått ner på stan?

- * Rektor och tjänsteman: samling efter övning. Genomgång med övningspersonal

Appendix B - Tillsynsrapport

Aleten

Sid 1/6



Södra Dalarnas Räddningstjänstförbund

BESIKTNINGSPROTOKOLL

Ärendetyp 104	Antal sidor 2
Ärende dnr 104.2005.00050	Händelse dnr 104.2005.00050.1451

Innehavare BILDNINGSFÖRVALTNINGEN 774 41 AVESTA	Ägare GAMLA BYN AB 774 81	Kund GAMLA BYN AB 774 81 AVESTA
Objektsnamn DOMARHAGSSKOLAN		Objektsnummer 114
Objektsadress FREJGATAN 1		
Fastighetsbeteckning DOMARHAGEN 1		

Närvarande ombud Olle Flodin	Telefonnummer 64 53 03
Besiktningstyp Regelbunden <input checked="" type="checkbox"/> Annan <input type="checkbox"/>	Besiktningsdatum 2004-12-08, 2004-12-09, 2005-01-26
Avgift 4375 kr	

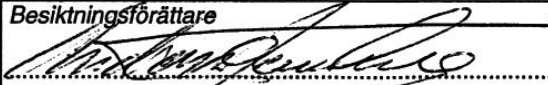
BRANDSYN ENLIGT 15 OCH 16 §§ RÄDDNINGSTJÄNSTLAGEN

A	UTRYMNING	B	BRANDBEGRÄNSNING	C	SLÄCKUTRUSTNING
D	BRANDTEKN INSTALL	E	FÖRVARINGS-RISKER	F	ÖVRIG KONTROLL

TILLSYN ENLIGT 16 § OM BRANDFARLIGA OCH EXPLOSIVA VAROR

G	TILLSTÅND	H	FÖRESTÅNDARE	I	INSTRUKTIONER
J	KLASSNINGSPÅN	K	ALLMÄNT	L	HANTERING
M	UNDANTAG FRÅN FÖRBUD MOT ÖPPEN ELD M.M				

Bristerna bör vara åtgärdade snarast, dock senast 2005-05-15.
Kontakta därefter brandförsvaret för efterkontroll

Besiktningförättare 	Telefon 0226-64 58 18
Anders Jeraberg Insatsledare	Datum 2005-01-27

Punkt nr	Anm	Åtgärd
		<u>HÖGSTADIET</u>
1	B	Brandbegränsande dörrar i korridorer förses med dörrstängare och fallkolvar samt justeras så att de stänger på ett tillfredsställande sätt. Dörrarna skall förses med magnethållare styrd via rökdetektorer då de ej kan hållas stängda pga. Intern kommunikation.
		<u>TEATERDELEN</u>
2	B	Samtliga brandbegränsande magnetuppställda dörrar i korridorer på båda sidor om teatern skall justeras (Kolven griper ej in, stänger i fel ordning, stänger ej).
3	A	Nödutgång från matsal mot flaggstång skall justeras svår att öppna den kärvar i nederdel.
4	A	Klisterlappar på utgångsskylten ovanför Kopparporten. Glas utbytes eller klisterlappar borttages.
5	E	Pappersservetter uppstoppat i lysrörsarmaturer korridor matsal-högstadiet. Detta kan medföra överhettning med brand som följd. Någon form av skydd bör uppsättas så att papper ej kan stoppas in.
		<u>HALLONGROTTAN</u>
6	A	Genomlyst skylt, med nödströmförsörjning, med symbol som markerar utgång uppsättes ovanför dörr mot försäljning.
		<u>KÄLLARE</u>
7	C	Skylt handbrandsläckare saknas i uppehållsrum.
8	B	Magnetfäste till brandbegränsande dörr mot uppehållsrum löst.
9	B	Magnetuppställd dörr mot uppehållsrum släpper ej från magneten (ej samma som ovanstående).

10	C	Handbrandsläckare i trapphus vid hiss saknas.
11	E	Brännbart material i trapphus vid hissen borttages.
		A-F
12	D	Vid centralapparat för brandlarm "Ljuskården" skall skylt med namn och tel. på anläggningsskötare uppsättas.
13	B	Brandbegränsande dörr tillika utrymningsväg från D till A går ej att öppna. Brandbegränsande dörr mellan trapphus och B skall justeras. Stänger ej tillfredsställande.
14	E	Skylt "Gasflaskor föres i säkerhet vid brand" uppsättes på dörr till rum 335.
15	A	Utrymningsplan i korridor F utbytes. Svårläst pga klotter.
16	C	Skåp för handbrandsläckare i trapphus F mot G. Dörren kan ej öppnas utan verktyg.
		G
17	A	Samtliga dörrar som på utrymningsplan är markerade som nödutgångar skall förseas med efterlysande skyltar som med symbol markerar utgång.
18	B	Brandbegränsande dörrar som skall vara uppställda på magnet mellan kapprummen och mot H-korridor iordningställs med självstängare, fallkolvar och magneter. Alternativt utbytes dörrarna mot nya.
19	D	Övre och mellersta kapprummen förseas med larmdon för utrymning. Hörbarheten vid brandlarm i klassrummen är ej tillfylles.

		<u>VÅRDSKOLAN</u>
20	F	Fläktrummet får ej användas till förråd. Material som ej hör till fläktdriften (t ex filter) skall bortgas.
21	F	Kaffebryggare förses med timer max 30 min.
22	C	Skylt som markerar inomhusbrandpost saknas i södra korridoren.
		<u>SPORTHALLEN</u>
		Omklädningsrum herrar:
23	A	Nödbelysning är övermålad. Glas bytes eller rengöres så det är funktionsdugligt.
		Omklädningsrum damer:
24	A	Nödutgång svåröppnad, skall justeras.
		Läktare:
25	A	Efterlysande skylt som med symbol markerar utgång saknas ovanför mellandörr.
		A-B hall:
26	A	Nödutgången mot skolan är belamrad med diverse material bl.a. prispall. Skall borttagas.
27	A	Båda nödutgångarna mot parkeringen går ej att öppna med "ettgreppshandtaget". Skall justeras så när handtaget vrides ned skall pardörrarna öppnas.
28	C	Handbrandsläckare vid läraryrård saknar skyltning.
		D-hall:
29	A	Se punkt 27.

		Entré lärarrum:
30	F	Entrékorridoren skall rensas från löst material då korridoren utgör utrymningsväg.
31	D	Centralapparaten för brandlarmet skall förses med namn och tel.nr. på anläggningsskötare.
		Yrkesskolan:
32	A	<u>Yrkesträningen:</u> Efterlysande skyltar som med symbol markerar utgång uppsättes ovanför altandörrar.
33	F	Omklädningsrum: Kaffebryggare förses med fast timer 30 min. alternativt borttages kaffebryggaren.
		Domkraften:
34	C	Fäste för slangrulle i inomhusbrandpost vid bastu trasigt. Vid utrullning av slang faller hela rullen till golvet.
35	F	Panncentralen får ej användas som förråd. Material som ej tillhör driften för panncentralen borttages. Kanoter får vara kvar.
		EC-huset:
36	A	Steg för utrymning från tak skall justeras. Fotstegen sneda så det går ej att använda den pga felmontering, då en sida av stegen tar i backen.
37	A	Generellt skall utgångsskyltarna lagas. 5 av 6 lyser ej.
38	F	Blinkande lysrör på övervån. vid trapp utbytes. Kan ge upphov till överhettning med brand som följd.
39	C	Inomhusbrandpost på övervåning är svåröppnad. Luckan skall justeras.

40	C	På el-och elektronikavdelning uppsättes pulversläckare, klass 43A 233BC. I rummen finns nu endast inomhusbrandpost vilket ej är lämpligt att använda om brand i elektriska saker skulle uppstå.
41	E	Material får ej förvaras på kabelstegar, skall borttagas.
		Bygg-och anläggning:
42	C	Skumsläckare, klass 21A 183B, skall monteras på övervåning utanför klassrum.
43	A	Gångbrygga från nödutgångsfönster på övervåning till markstege monteras på taket.
44	D	Orienteringsplan för automatiskt brandlarm skall finnas vid brand/inbrottslarmcentral innanför entrédörr.

Appendix C - Statistik bränder i skola 1996-2004

Startutrymme för brand i skola*

Startutrymme	År									Totalt
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	
Ej angivet	58	39	9	7				1	1	115
Utomhus	18	24	21	31	30	35	35	35	35	264
Fristående förråd/uthus	9	6	7	16	15	13	12	18	18	114
Förråd	5	7	6	7	8	8	11	11	10	73
Fristående garage	2						1	3		6
Inbyggt garage	1				2					3
Radgarage	2								1	3
Kök	17	21	20	23	17	22	22	24	19	185
Skorsten	3	3		1	2	1		1	1	12
Pannrum	4	4	7	8	6	4	6	6	3	48
Luftbehandlingsutrymme	5	5	5	5	5	5	4	4	2	40
Soprum/sopnedkast	7	6	6	2	4	6	1	4	4	40
Trapphus/korridor	42	64	41	55	50	46	36	56	60	450
Tvättstuga		2		2	6		3	1	3	17
Badrum/toalett/bastu	12	30	32	54	50	29	30	43	44	324
Vardagsrum	8	1				1	2		1	13
Sovrum/sovsal	2	1	2	1		1	1		2	10
Hall	6	2	3	9	10	14	8	8	10	70
Verkstad/hobbyrum	6	7	8	15	9	7	10	9	9	80
Vind	3	4	6	3	4	3	2	6	1	32
Källare (ej boyta)	12	6	14	12	8	10	6	8	7	83
Balkong/loftgång	1	2			3	1	2	3	1	13
Elcentral	6	8	2	5	1	11	12	6	8	59
Produktionslokal	1	4	4	2	1	2	2	2	1	19
Försäljningslokal			1							1
Samlingslokal	25	27	46	24	28	45	32	41	28	296
Personaltutrymme	10	13	21	18	14	15	9	9	17	126
Kontor	7	8	2	4	8	7	10	6	6	58
Datacentral	3				1		1			5
Lastbrygga		1	3			1	1	3	1	10
Lager				1		2	1			4
Upplag		3				1		1		5
Djurstall						1				1
Höupplag/loge/lada	1					1		1		3
Silo					1				1	2
Okänd	4	1	3	5	1		8	3	2	27
Annat	59	57	43	62	71	43	44	59	59	497
Totalt	339	356	312	372	355	335	312	372	355	3108

* En brand kan ha flera startutrymmen

Startföremål för brand i skola**

Startföremål	år									Totalt
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	
Ej angivet	55	17	13	10				1	1	97
Byggnadens utsida	20	36	24	34	28	39	37	40	35	293
Rökkanal	1	3		1	2	1		1	1	10
Lös inredning	39	50	67	76	89	68	59	60	67	575
Elöstad		1	4	2	1	2	3	4	2	19
Uppvärmningsanordning	6	6	6	10	11	5	5	6	2	57
Bastuaggregat	3	2	5	4	4	3	3	4		28
Torktumlare		1		2	2		1		1	7
Torkskåp		3		1		1		1	2	8
Diskmaskin	5	1			3	3	1		1	14
Kaffebruggare				1		1	1		2	5
Spis	14	18	20	16	17	9	13	15	15	137
Kyl/frys	1	1	1	2		4	4	3		16
Tvättmaskin		1		1	5		1			9
TV									1	1
Stereo/video					1					1
Glödlampa					2		1		2	18
Lysrör	3	7	7	12	5	7	10	12	7	74
Transformator	2	1		1	1	1	4	1	2	13
Andra elinstallationer	23	15	13	15	11	23	22	18	23	163
Fläkt/ ventilationsanläggning	8	3	10	7	7	10	3	4	9	61
Skråp i container	7	12	14	17	11	8	6	19	9	103
Maskin	1	4	2	1	2	4	4	3	3	24
Personbil	1	1	1	1	1	1	2	2	1	11
Övriga vägfordon									1	1
Explosivt/sprängämne	4	3	2	2	4		3	2	6	26
Brandfarlig vätska	5	4	4	16	5	7	5	11	7	64
Brandfarlig gas	1	3	3	2	1		2		2	14
Okänd	20	23	18	24	27	23	23	25	19	202
Annat	112	139	98	106	116	112	101	130	135	1049
Totalt	338	358	314	367	356	334	314	362	357	3100

** En brand kan ha flera startföremål

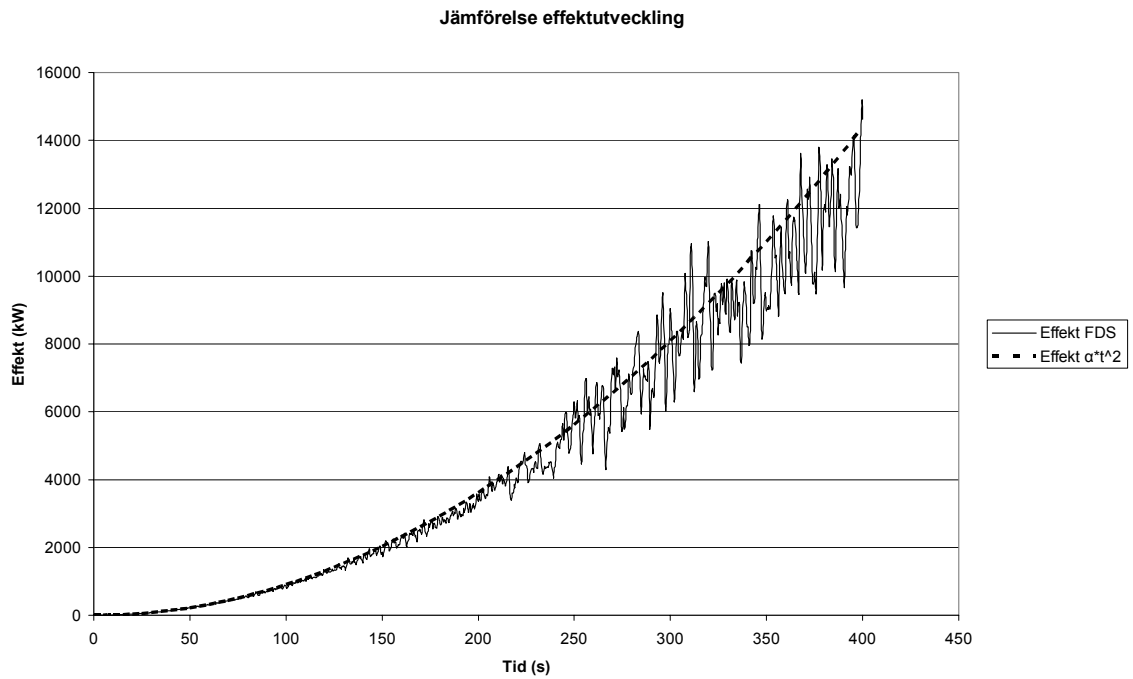
Brandteknisk Riskvärdering – Domarhagsskolan

Brandorsak för brand i skola

Brandorsak	år										Totalt
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004		
00 Orsak ej angiven	123	85	57	65	63	53	49	65	58	58	618
01 Återantändning		2	2	2	2	2	2	4	1		17
02 Anlagd med uppsåt	95	130	120	163	159	159	139	162	164	164	1291
03 Barns lek med eld	13	30	16	19	26	19	17	14	13	13	167
04 Glömd spis	12	10	13	12	14	9	17	13	13	13	113
05 Rökning	2	3	3	3	1	1	3	2	2	2	20
06 Levande ljus	3	4	9	6	7	7	6	8	6	6	56
07 Tekniskt fel	29	22	29	31	22	32	32	32	32	32	261
08 Blixtnedslag						1	1				2
09 Fyrverkerier	4	8	9	6	8	1	3	8	10	10	57
10 Hantverkare	6	8	6	3	4	3	3	2	6	6	41
12 Explosion				2		3	1		1	1	7
13 Soteld	1	2				1				1	5
14 Värmeöverföring	10	11	15	22	18	12	17	23	7	7	135
15 Gnistor	2	2	4	2	5	5	2	4	2	2	28
16 Självantändning	3	6	5	7	8	4	4	4	14	14	55
91 Annan	18	24	19	20	8	14	11	14	11	11	139
Totalt	321	347	307	363	345	326	307	355	341	341	3012

Sammanställningen innefattar alla bränder där räddningstjänsten har larmats

(Jörgen Granefeldt 2005)

Appendix D - Diagram för effektkurvor

Figur 14.1 Jämförelse effektutveckling simulerad i FDS med ventilationsförhållanden och beräknad effektutveckling enligt $\alpha \cdot t^2$. Effektkurvan gäller för brand i scenkällare.

Appendix E - Handberäkningar

Rökfyllnad

För brandscenariot i scenkällaren valdes en rökfyllnadsmodell (med effektutvecklingen som funktion av tiden) som utvecklats av Yamana och Tanaka. Denna rökfyllnadsmodell antar att det är ett stort rum med stora öppningar så att det inte blir någon tryckökning på grund av volymökningen som bildas av de varma brandgaserna (*Karlsson & Quintiere, 2000*). När utrymningen av teatern påbörjas kommer dörrarna att öppnas och då fås de stora öppningarna som modellen kräver. Skulle däremot inte dörrarna vara öppna så är det inte säkert att den valda rökfyllnadsmodellen skulle ge ett bra resultat.

Yamana-Tanakas rökfyllnadsmodell har en del begränsningar och antaganden. Modellen tar bland annat inte hänsyn till värmeförluster till väggar, golv och tak. Det innebär att temperaturen kommer att överskattas. Modellen antar också att all energi lagras i brandgaslagret samt att medeldensitet i det övre brandgaslagret är konstant. Plymmodellen som används i denna rökfyllnadsmodell är utvecklad av Zukoski. Denna rökfyllnadsmodell ger bäst resultat då rummet är stort i förhållande till effektutvecklingen. Detta förutsätter att scengolvet försummas och innebär osäkerheter i beräkningarna. Plymflödet blir då mycket större och brandgaserna som skulle ha samlats i scenkällaren sprids istället till övriga delar av lokalen.

Formler som skall lösas i Yamana-Tanakas rökfyllnadsmodell:

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

$$z = \left(\frac{k}{S} \alpha^{1/3} \cdot \frac{2t^{1+n/3}}{n+3} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2} \quad (\text{brandgaslagrets höjd över golvnivå i meter})$$

$$\rho_g = \rho_a \left(1 - \frac{\alpha \cdot t^{n+1}}{(n+1) \cdot (H-z) \cdot S \cdot c_p \cdot 353} \right) \quad (\text{densitet för brandgaserna i kg/m}^3)$$

(*Karlsson & Quintiere, 2000*)

Scenario 2 - Scenkällaren

Total golvarea: $S = (18 + 10) \cdot 22 = 616 \text{ m}^2$

Volymen över scenen som ska fördelas över hela teatern: $10 \cdot 22 \cdot 3 = 660 \text{ m}^3$

Höjden som läktarens takhöjd ska höjas med: $\Delta H_{EF} = \frac{660}{616} = 1,07 \text{ m}$

Den verkliga höjden mellan golvet och taket (läktaren): 12 m

Den nya höjden mellan golvet och taket (läktaren):

$$H_T = H_L + \Delta H_{EF} = 12 + 1,07 = 13,07 \text{ m}$$

Den nya höjden mellan golvet i scenkällaren och taket (scenen):

$$H_{BT} = H_T + 2,7 = 13,07 + 2,7 = 15,77 \text{ m}$$

$$\Delta H_{EF} = 1,07$$

$$H_{\delta} = 3 \text{ m}$$

$$H = 6,7 \text{ m}$$

$$H_{BT} = 15,77 \text{ m}$$

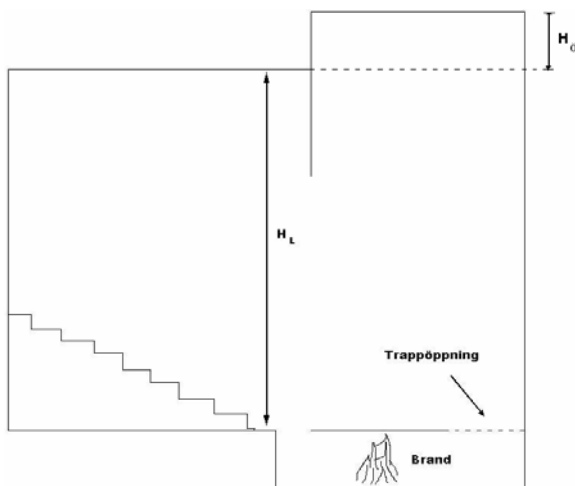
$$H_L = 12 \text{ m}$$

$$H_F = 13,07 \text{ m}$$

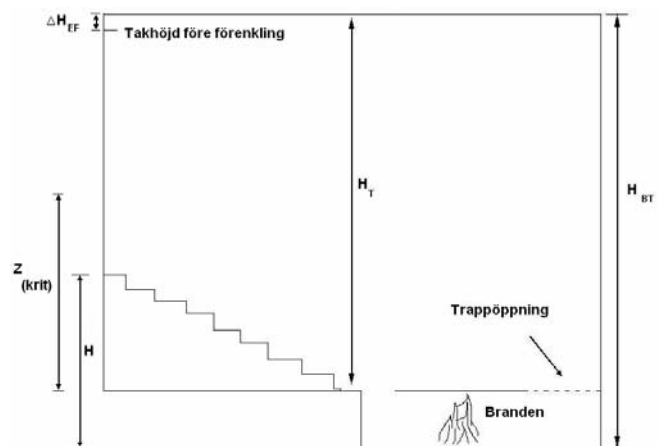
$$Z_{krit} = 8,7 \text{ m}$$

$Z_{krit} = H + 2 = 6,7 + 2 = 8,7 \text{ m}$ (brandgaslagrets kritiska höjd för utrymning)

$\alpha = 0,09 \text{ kW/s}^2$ (se kapitel 5.2)



Figur 14.2 Teaterns utseende före förenkling



Figur 14.3 Teaterns utseende efter förenkling

Beräknar brandgaslagrets höjd vid den kritiska utrymningstiden (305 sekunder)

1. Antar $\rho_g = 1,0 \text{ kg/m}^3$

$$k = \frac{0.21 \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3}}{\rho_g} = \frac{0.21 \left(\frac{1.2^2 g}{1 \cdot 293} \right)^{1/3}}{1} = 0,0764$$

$$z = \left(\frac{0,0764}{661} 0,09^{1/3} \cdot \frac{2 \cdot 305^{1+2/3}}{2+3} + \frac{1}{15,77^{2/3}} \right)^{-3/2} = 3,365 \text{ m}$$

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

$$1.204 \cdot \left(1 - \frac{0,09 \cdot 305^{2+1}}{(2+1) \cdot (15,77 - 3,365) \cdot 616 \cdot 1 \cdot 353} \right) = 0,824 \text{ kg/m}^3$$

2. Antar $\rho_g = 0,824 \text{ kg/m}^3$

$$k = \frac{0.21 \left(\frac{1.2^2 g}{1 \cdot 293} \right)^{1/3}}{0,824} = 0,0927 \text{ kg/m}^3$$

$$z = \left(\frac{0,0927}{661} 0,09^{1/3} \cdot \frac{2 \cdot 305^{1+2/3}}{2+3} + \frac{1}{15,77^{2/3}} \right)^{-3/2} = 2,775 \text{ m}$$

$$\rho_g = 1.204 \cdot \left(1 - \frac{0,09 \cdot 305^{2+1}}{(2+1) \cdot (15,77 - 2,775) \cdot 616 \cdot 1 \cdot 353} \right) = 0,841 \text{ kg/m}^3$$

$0,824 / 0,841 = 0,98$ det vill säga en felmarginal på cirka 2 %. Är felmarginalen mindre än 10 % så är det godkänt och iterationsprocessen kan avbrytas.

Temperaturen, som antas vara konstant i hela brandgaslagret, blir då:

$$T = \frac{353}{\rho_g} = \frac{353}{0,841} = 419,7 \text{ K} = 146,7 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Brandgaslagret hamnar på 2,8 meter över golvet i scenkällaren. Det innebär att brandgaslagret hamnar vid scengolvet. Temperaturen i brandgaslagret är då 146,7 °C. Den kritiska utrymningstemperaturen som individerna (enligt Brandskyddshandboken, LTH) får utsättas för är 80 °C vilket är betydligt lägre.

Tiden tills det att brandgaslagret når den kritiska höjden dvs. $z = 8,7$ meter.

1. Antar $\rho_g = 1,0 \text{ kg/m}^3$

$$k = \frac{0,21 \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3}}{\rho_g} = \frac{0,21 \left(\frac{1,2^2 g}{1 \cdot 293} \right)^{1/3}}{1} = 0,0764$$

$$z = \left(\frac{k}{S} \alpha^{1/3} \cdot \frac{2t^{1+n/3}}{n+3} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2} \Rightarrow 8,7 = \left(\frac{0,0764}{661} 0,09^{1/3} \cdot \frac{2 \cdot t^{1+2/3}}{2+3} + \frac{1}{15,77^{2/3}} \right)^{-3/2}$$

$$\Rightarrow t = 139,13 \text{ s}$$

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

$$1,204 \cdot \left(1 - \frac{0,09 \cdot 139,13^{2+1}}{(2+1) \cdot (15,77 - 8,7) \cdot 616 \cdot 1 \cdot 353} \right) =$$

$$= 1,136 \text{ kg/m}^3$$

2. Antar $\rho_g = 1,136 \text{ kg/m}^3$

$$k = \frac{0,21 \left(\frac{1,2^2 g}{1 \cdot 293} \right)^{1/3}}{1,136} = 0,0672$$

$$8,7 = \left(\frac{0,0672}{661} 0,09^{1/3} \cdot \frac{2 \cdot t^{1+2/3}}{2+3} + \frac{1}{15,77^{2/3}} \right)^{-3/2} \Rightarrow t = 150,19 \text{ s}$$

$$\rho_g = 1,204 \cdot \left(1 - \frac{0,09 \cdot 150,19^{2+1}}{(2+1) \cdot (15,77 - 8,7) \cdot 616 \cdot 1 \cdot 353} \right) = 1,1207 \text{ kg/m}^3$$

$1,1207 \text{ (kg/m}^3) / 1,136 \text{ (kg/m}^3) = 0,9865$, en avvikelse med mindre än 2 procent. Är felmarginalen mindre än 10 % så är det godkänt och iterering kan avbrytas.

Temperaturen, som antas vara konstant i hela brandgaslagret, blir då:

$$T = \frac{353}{\rho_g} = \frac{353}{1,1207} = 315 \text{ K} \quad K = 42 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Beräknar sikt brandgaslagret vid kritisk höjd.

$$D_L = \text{POD} \cdot \text{masskoncentrationen} = \text{POD} \cdot Y_s \cdot \frac{m}{V} \quad [\text{m}^{-1}] \quad (\text{Brandteknik, 2005})$$

$$10 \text{ m sikt} \Rightarrow \text{Sikt} = \frac{\ln 10}{D_L} \Rightarrow D_L = \frac{\ln 10}{\text{Sikt}} \quad [\text{m}^{-1}]$$

$$Y_{CO_2} = 1,33 \text{ g/g trä} \quad Y_{CO} = 0,005 \text{ g/g trä} \quad Y_s = 0,01 \text{ g/g trä}$$

$$\Delta H_{C, \text{trä}} = 17,9 \text{ MJ/kg} \quad \Delta H_{C, \text{trä, effektiv}} = 12,4 \text{ MJ/kg}$$

$t_{\text{krit}} = 150 \text{ s}$ (tiden tills brandgaslagret når överkant på de bakre utgångarna)

$$V_{\text{brandgaser}} = 22 \cdot 10 \cdot (15,77 - 8,7) + 22 \cdot 18 \cdot (12 - 8,7) = 2862,2 \text{ m}^3$$

$$\text{POD} = 7,6 \text{ m}^2/\text{g} \text{ (flambrand)}$$

Värden sätts in i:

$$D_L = \text{POD} \cdot \text{masskoncentrationen} = \text{POD} \cdot Y_s \cdot \frac{m}{V} \quad [\text{m}^{-1}]$$

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \Rightarrow \text{integreras} \Rightarrow Q = \alpha \cdot \frac{t^3}{3} = 0,09 \cdot \frac{150^3}{3} = 101250 \text{ kJ}$$

$$m = \frac{Q}{\Delta H_{C, \text{trä, effektiv}}} = \frac{101250000}{12,4 \cdot 10^6} = 8,17 \text{ kg} = 8170 \text{ g}$$

$$\frac{\ln 10}{\text{Sikt}} = 7,6 \cdot 0,01 \cdot \frac{8170}{2862,2} \Rightarrow \text{Sikt} = 10,61 \text{ m}$$

Beräknad toxicitet

Toxiciteten beräknas då brandgaslagret når scengolvet. Klarar brandgaslagret kraven på toxicitet vid scengolvet så klarar brandgaslagret toxiciteten högre upp i teatern.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \Rightarrow \text{integreras} \Rightarrow Q = \alpha \cdot \frac{t^3}{3} = 0,09 \cdot \frac{305^3}{3} = 851179 \text{ kJ}$$

$$m = \frac{Q}{\Delta H_{C, \text{trä, effektiv}}} = \frac{851179 \cdot 10^3}{12,4 \cdot 10^6} = 68,64 \text{ kg}$$

$$Y_{CO_2} = 1,33 \text{ g/g trä} \quad m_{CO_2} = Y_{CO_2} \cdot m_{trä} = 1,33 \cdot 68643 = 91296 \text{ g}$$

$$M_{CO_2} = 44 \text{ g/mol} \quad (\text{SFPE, 1995})$$

$$n_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{M_{CO_2}} = \frac{91296}{44} = 2075 \text{ mol}$$

$$p = 101,3 \cdot 10^3 \text{ kPa}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

Ideala gaslagen: $pV = nRT$

$$\Rightarrow V = \frac{nRT}{p} = \frac{2075 \cdot 8,314 \cdot (146,1 + 273)}{101,3 \cdot 10^3} = 71,4 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol \%} = \frac{V_{CO_2}}{V_{brandgaser}} \cdot 100 = \frac{71,4}{8051} \cdot 100 = 0,9 \%$$

Största tillåtna värde är 5 vol % (*Brandteknik, 2005*). I 1,9 vol % är inte luftens ursprungliga CO₂ vol % medräknad.

Kolmonoxid (CO):

$$Y_{CO} = 0,005 \text{ g / g trä} \quad m_{CO} = Y_{CO} \cdot m_{trä} = 343,2 \text{ g}$$

$$M_{CO} = 28 \text{ g/mol} \quad n_{CO} = \frac{m_{CO}}{M_{CO}} = 12,3 \text{ mol}$$

$$p = 101,3 \cdot 10^3 \text{ kPa}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

Ideala gaslagen: $pV = nRT \quad \Rightarrow \quad V = \frac{nRT}{p} = 0,42 \text{ m}^3$

$$\text{Vol \%} = \frac{V_{CO}}{V_{brandgaser}} = 5 \cdot 10^{-3} \%$$

Scenario 3 - Träslöjdsalen

För kolväten utvecklas ungefär 13,1 MJ/kg syre.

Träslöjdslokalen har måtten $7 \cdot 14 \cdot 3.5$ m det vill säga en volym på 343 m^3 .

Massan syre i lokalen är $343 \text{ m}^3 \cdot 1.2 \text{ kg/ m}^3 \cdot 0.122$ där 0.122 är massfraktionen syre i luften som förbränns.

Utvecklad energi blir då $13,1 \text{ MJ/kg} \cdot 343 \text{ m}^3 \cdot 1.2 \text{ kg/ m}^3 \cdot 0.122 = 658 \text{ MJ}$

Förbränningsvärme för furu antas som trä. Det effektiva förbränningsvärmets är på 12.4 MJ/kg (SFPE, 1995).

$$m_{\text{trä}} = 658 \text{ MJ} / 12.4 \text{ MJ/kg} = 53 \text{ kg}$$

Då en viss andel brandgaser kommer upp i matsalen kan sikten enkelt beräknas med handberäkningar. Beräkningarna utförs för ett antal olika andelar brandgaser.

Dimensionen på högstadiets matsal är $l \cdot b \cdot h = 24,5 \cdot 8,5 \cdot 3,5 \text{ m}^3$

$$V = 714 \text{ m}^3$$

Lokalen antas väl omblandad vid beräkningarna.

$$D_L = \text{POD} \cdot \text{Masskoncentration} = 7.6 \cdot 0,03 \cdot \text{andel brandgaser} \cdot 53 \cdot 1000 \text{ g} / 714 \text{ m}^3$$

$$\text{Sikt (m)} = \ln 10 / D_L.$$

Vid känslighetsanalysen antas ett lägre värde på soot yield till 0,01 g/g

$$D_L = \text{POD} \cdot \text{Masskoncentration} = 7.6 \cdot 0,01 \cdot \text{andel brandgaser} \cdot 53 \cdot 1000 \text{ g} / 714 \text{ m}^3$$

Tabell 14.1 Sikt i matsalen med soot yield 0,03, underventilerade förhållanden

Masskoncentration i matsalen	Soot yield [g/g]	D_L [m^{-1}]	POD [m^2/g]	Sikt [m]
60 volym %	0,03	10,1	7,6	0,23
30 volym %	0,03	5,07	7,6	0,45
15 volym %	0,03	2,54	7,6	0,91
5 volym %	0,03	0,846	7,6	2,7
3 volym %	0,03	0,508	7,6	4,5
2 volym %	0,03	0,338	7,6	6,8
1 volym %	0,03	0,169	7,6	13,6

Tabell 14.2 Sikt i matsalen med soot yield 0,01, välventilerade förhållanden

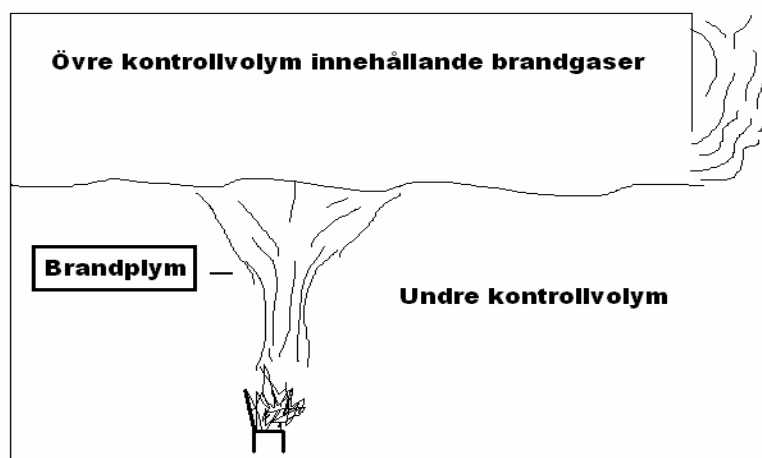
Masskoncentration i matsalen	Soot yield [g/g]	D_L [m^{-1}]	POD [m^2/g]	Sikt [m]
100 volym %	0,01	5,64	7,6	0,41
75 volym %	0,01	4,23	7,6	0,54
25 volym %	0,01	1,41	7,6	1,6
5 volym %	0,01	0,282	7,6	8,2
3 volym %	0,01	0,169	7,6	13,6

Appendix F - Beskrivning av CFAST

HAZARD I är ett modelleringsprogram för bränder utvecklat av NIST (National Institut of Standards and Technology) i USA. Det innehåller bland annat samlingar av data, procedurer och datorprogram. CFAST (Consolidate model of Fire Growth and Smoke Transport) är ett av datorprogrammen. CFAST beräknar brandgasspridningen vid brand. (Karlsson & Quintiere, 2000)

Programmet bygger på två-zonsmodellen, vilket innebär att ett rum delas in en varm övre del och en kall undre del. Detta är en förenkling och i verkligheten så uppstår inte skiktningen som en jämn gräns utan kan variera lite. Varje zon är en egen kontrollvolym. Den undre kontrollvolymen innehåller ingen brandgas och temperaturen antas vara rumstemperatur. Brandgaserna som bildas vid branden antas inte ha någon transporttid till den övre kontrollvolymen, vilket innebär att i samma ögonblick som brandgaserna bildas befinner de sig i den övre kontrollvolymen. Anledningen till att det blir en skiktning beror på de densitetsskillnader som uppstår. Det krävs en viss temperaturskillnad mellan brandgaserna och den omgivande luften för att detta fenomen ska uppstå. (Karlsson & Quintiere, 2000)

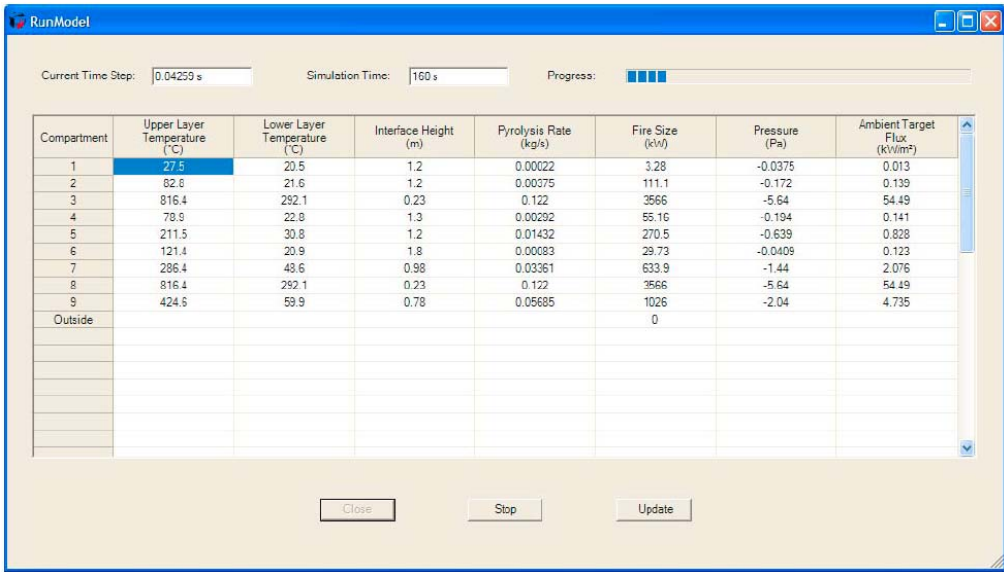
För att kunna beräkna brandgasspridningen skall ett antal ekvationer lösas. Ekvationerna som skall lösas är bland annat konserveringsekvationerna för massa och energi för varje tidssteg i brandförloppet. (Karlsson & Quintiere, 2000)



Figur 14.4. Tvåzonsmodellen

Indata som programmet behöver omfattar bland annat rumsgeometri, material i väggar, tak och golv, öppningar och bränslets förbränningsegenskaper. Effekttvecklingen av en brand ges som en funktion av tiden. Programmet klarar även att räkna på sprinklers och branddetektorer. (*CFAST User's Guide, NIST, 2005*)

Ur utdata kan bland annat temperatur i övre- och undre kontrollvolym, brandgaslagrets höjd, värmestrålning från det övre brandgaslagret mot golvet, massflöden och effekttutveckling utläsas. (*CFAST User's Guide, NIST, 2005*)



Compartment	Upper Layer Temperature (°C)	Lower Layer Temperature (°C)	Interface Height (m)	Pyrolysis Rate (kg/s)	Fire Size (kW)	Pressure (Pa)	Ambient Target Flux (kW/m²)
1	27.5	20.5	1.2	0.00222	3.28	-0.0375	0.013
2	82.8	21.6	1.2	0.00275	111.1	-0.172	0.139
3	816.4	292.1	0.23	0.122	3566	-5.64	54.49
4	78.9	22.8	1.3	0.00292	55.16	-0.194	0.141
5	211.5	30.8	1.2	0.01432	270.5	-0.639	0.828
6	121.4	20.9	1.8	0.00083	29.73	-0.0409	0.123
7	286.4	43.6	0.98	0.03361	633.9	-1.44	2.076
8	816.4	292.1	0.23	0.122	3566	-5.64	54.49
9	424.5	59.9	0.78	0.05685	1026	-2.04	4.735
Outside					0		

Figur 14.5 Exempel på utdata från CFAST Version 6 (*CFAST User's Guide, NIST, 2005*)

Begränsningar

Två-zonsmodellen bygger på en del antaganden och har sina begränsningar. Det är viktigt att veta vilka antaganden och begränsningar som gäller. Annars kan resultatet bli fel och oanvändbart. I manualen till CFAST så finns programmets begränsningar och antaganden utförligt beskrivna. Några av begränsningarna med CFAST är att:

- Programmet klarar bara rätvinkliga geometrier
- Modellen gäller inte vid övertändning
- Brandkällan får inte vara i den övre kontrollvolymen

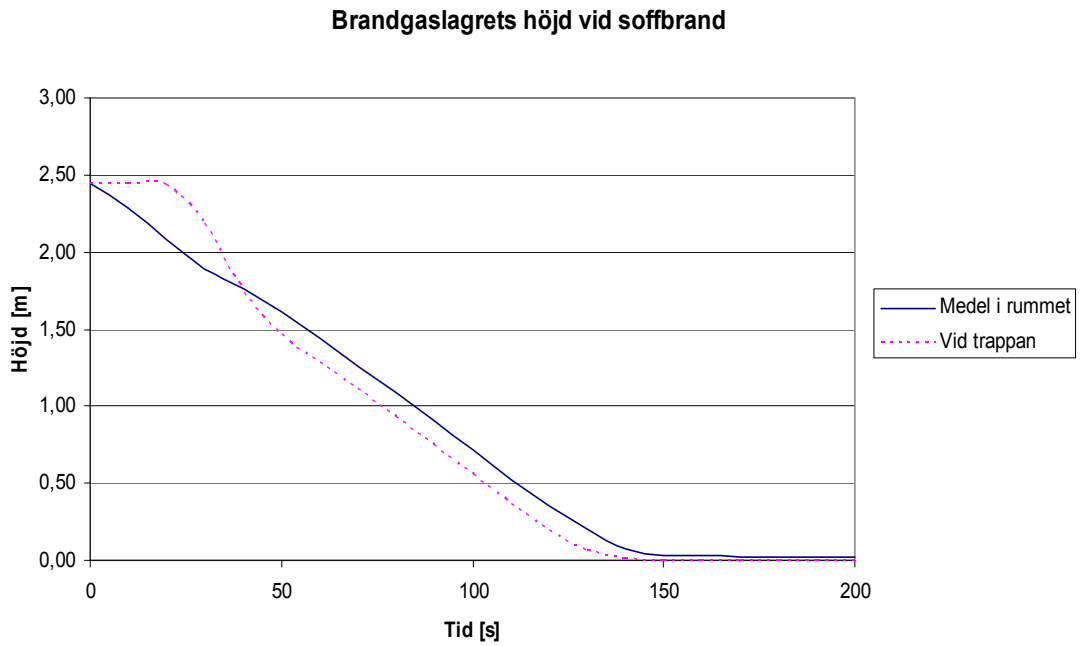
- Ingen hänsyn tas till transporttiden för de varma brandgaserna att nå den övre kontrollvolymen
- CFAST tar inte hänsyn till att brandgaslagret strålar tillbaka mot branden vilket ökar massavbrinningen
- Programmet kräver en axisymmetrisk plym vilket gör att branden ej får finnas i hörn eller nära väggar
- Beräkningarna bygger på McCaffreys plymmodell som är en punktkälla som varken tar hänsyn till brandspridning eller brandkällans geometri
- Programmet klarar max 30 rum
- Effekten får inte vara större än 1 MW/m^3
- Den maximala simuleringstiden är 24 timmar
- Simulering av bränder i bottenplan med endast en vertikal öppning förbunden till annat rum ovanför överskattar brandgaslagertemperaturen i brandrummet med ca 10 % och underskattar höjden på brandgaslagret med ungefär 10 %. Experiment visar att avvikelserna ligger inom 10-20 % från experimentella värden. (Peacock, 2005)
- Acceptabla förhållanden när det gäller geometrin ges i tabell nedan

Tabell 14.3 Gränsvärden geometriförhållanden

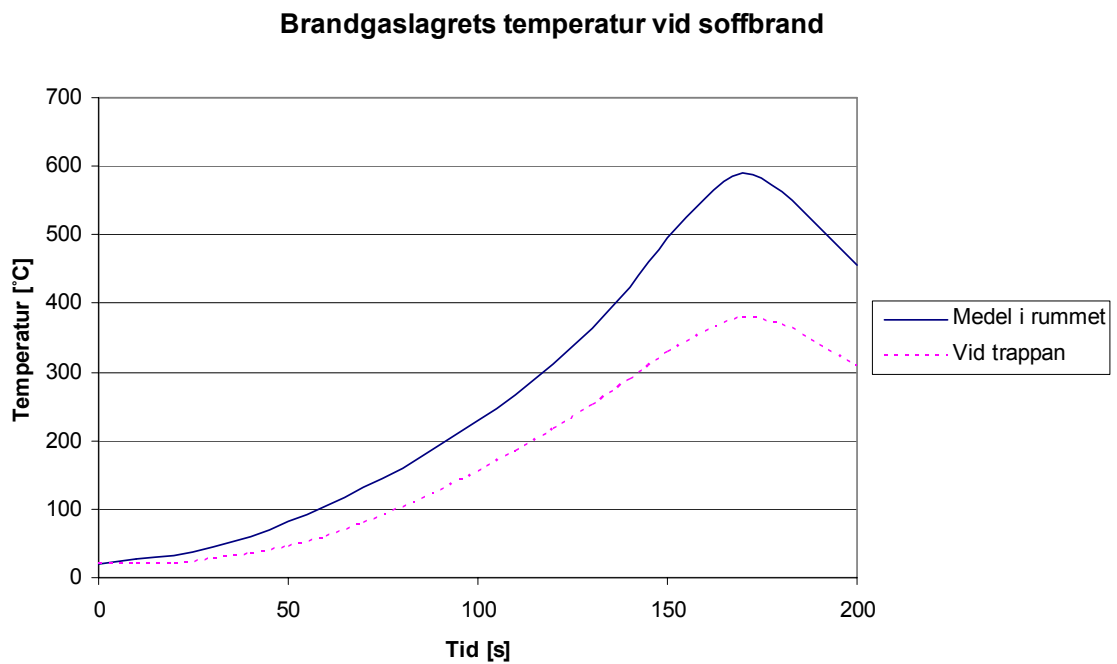
	Acceptabelt	Särskild hänsyn	Ej acceptabelt
L/B max	$L/B < 3$	$3 < L/B < 5$	$L/B > 5$
L/H max	$L/H < 3$	$3 < L/H < 6$	$L/H > 6$
B/H max	$B/H > 0,4$	$0,2 < B/H < 0,4$	$B/H < 0,2$

- Överstiger förhållandet gränsvärdet innebär det viss osäkerhet i resultaten. Rumsvolymer upp till storleksordningen 1000 m^3 är validerade. (CFAST User's Manual, NIST, 2005)
- Värt att nämna är att McCaffreys plymmodell inte är lämplig för stora bränder i små utrymmen då flamman slår i taket eller för väldigt små bränder i stora utrymmen (CFAST User's manual, NIST, 2005).

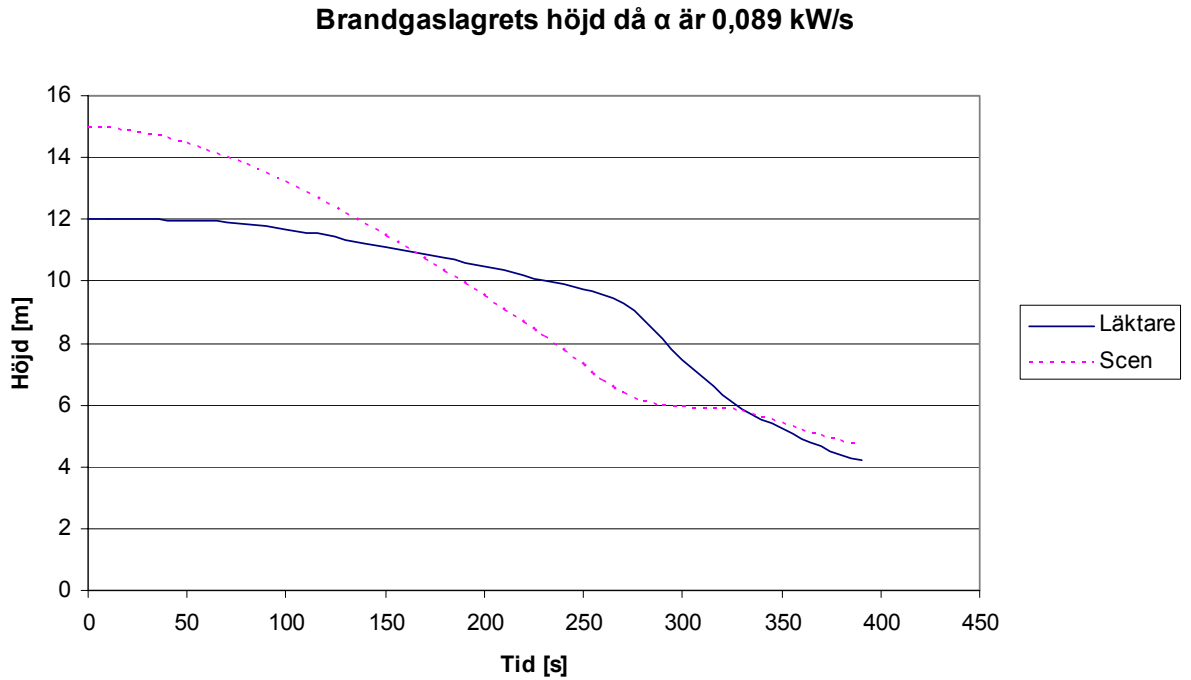
Appendix G - Diagram från simuleringar i CFAST



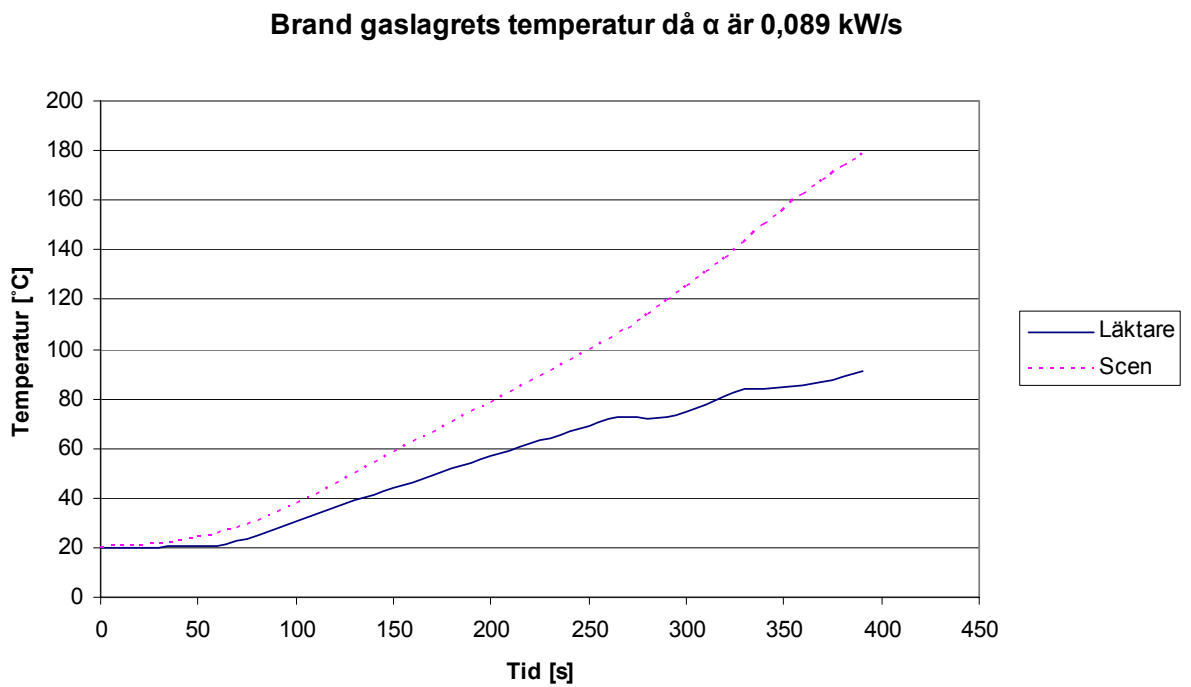
Figur 14.6



Figur 14.7

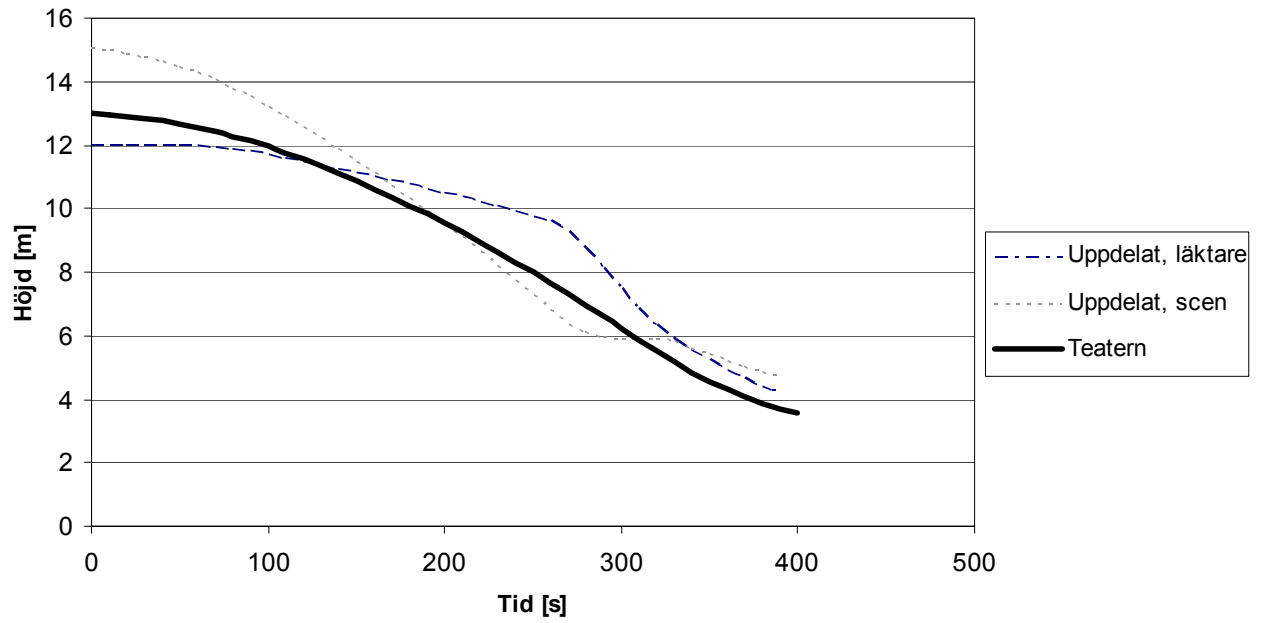


Figur 14.8



Figur 14.9

Jämförelse mellan brandgaslgrets höjd vid förenklade dimensioner och uppdelade utrymmen



Figur 14.10

Appendix H - Beskrivning av Fire Dynamics Simulator

Computational Fluid Dynamics (CFD) är en allmän modell för strömningssimulering och används bland annat för tillämpningar inom aerodynamik och termodynamik. Modellen har anpassats specifikt för brandsimulering i program som t ex Fire Dynamics Simulator (FDS) och Sofie. FDS är utvecklat av NIST (National Institute of Technology, USA) och är relativt användarvänligt och lättöverskådligt. Därför används FDS för CFD-simuleringen. FDS utvecklades för att simulera bränder i industrilokaler och fungerar därför bäst i lokaler där branden är liten i förhållande till rumsvolymen. Resultaten från CFD-simuleringar i industrilokaler har legat inom 20 % från experimentellt uppmätta värden (*FDS User's manual, NIST, 2005*). Teaterläktaren antas därför ligga inom programmets begränsningsområde. I små utrymmen, enclosures, är osäkerheten i modellen större på grund av ökad betydelse av de termiska egenskaperna i byggnadsmaterial. Förbränningsmodellen stämmer sämre i mindre utrymmen. De numeriska felen i transportberäkningarna av strålning och förbränning ökar också i små utrymmen.

Principen för CFD-simulering går ut på att man delar in brandrummet i ett begränsat antal tredimensionella kontrollvolym. I varje kontrollvolym utförs kontinuitets-ekvationer med hänsyn på massa, energi, ämnen och rörelsemängd. Ekvationerna är av typen differentialekvationer med partialderivator och är svåra att lösa exakt. På grund av detta tillämpas numerisk lösningsmetodik vilket kräver stor datorkraft. Ekvationerna är iterativa och så pass många att de i praktiken är omöjliga att lösa för hand. Massa, energi och rörelsemängd beräknas med en modifierad form av Navier-Stokes ekvationen med fokus på rök- och värmetransport från bränder. Strålning beräknas med finita volymmetoden och ämnessammansättning simuleras med lagrange-metoden som gör antagandet att partiklar uppför sig som en vätska eller gas.

Brand uppför sig turbulent och består av små virvlar som i sin tur bygger upp större virvlar. Stora virvlar påverkas av flödesgeometrin medan små virvlar är oberoende av flödet och av universell karaktär. Därför kan effekten av små virvlar försummas eller uppskattas och fokus läggs på de större virvlarna. Den hydrodynamiska modellen använder sig därför av Large Eddy Simulation (LES) för att ta hänsyn till de större flödesberoende virvlarna. Effekten av små virvlar beräknas med subgrid-modeller.

Förbränningsmodellen baseras på empiriska data över brännbarhetsgränserna som utgår ifrån förhållandet mellan bränsle och luft. Modellen antar att förbränning sker oändligt snabbt. Förbränningsreaktionen är enkel i uppbyggnad och tar endast hänsyn till bränsle, syrgas, koldioxid, vatten, kväve, kolmonoxid och sot. Eftersom kontrollvolymerna är ortogonalt tredimensionella är geometrin i rummet begränsad till objekt uppbyggda av rätblock. Möjlighet i programmet finns att efterlikna icke-rätblockiga objekt genom att bygga upp dem av mindre rätblock av cellstorlek. Turbulens påverkar i så fall strömningen runt de skarpa hörn som rätblocket utgör. Genom en funktion kan denna strömning runt skarpa hörn försummas. Detta ger en bättre approximering av flödets strömning även om det inte är exakt byggt som verkliga förhållanden.

Strålning

Strålningen beräknas efter vissa förenklingar. Effekten av strålning är framförallt beroende på temperatur, kemisk sammansättning och våglängd vilket kräver väldigt fint cellnät för att få tillräcklig noggrannhet i beräkningarna. Cellstorleken som krävs är en sida mindre än 1 centimeter. Temperatur, kemisk sammansättning och våglängd påverkar dessutom varandra. På grund av detta komplexa förhållande görs istället antagandet för flammorna att en del av den utvecklade energin är strålningsenergi. Strålningsstandarden i FDS är att det empiriska värdet 35 % (*NIST, 2005*) avges som strålning. Detta stämmer bra för de flesta kolväten. Denna energi överförs till angränsande celler. Denna förenkling fungerar bäst för bränder som är små i förhållande till rumsvolym innan brandgaslagret utvecklats. Bränder som är stora i förhållande till rumsvolymer med etablerat brandgaslager innebär större återstrålning och mindre energiförlust. Återstrålningen gör att massavbrinningen och därmed effektutvecklingen ökar. Detta tas inte hänsyn till i beräkningarna som används.

I celler där ingen förbränning sker används FDS enklaste strålnings ekvation. Den enklaste strålnings ekvationen i FDS antar att strålningskällan är en grå kropp. Det stämmer relativt bra för ämnen som sotar mycket. Sot dominerar strålningsdelen i förbränningsprocessen. Eftersom strålningspektrat för sot är kontinuerligt antas

strålningskällan vara en grå kropp. Strålningen påverkas av en absorptionskoefficient som är beroende av temperatur och kemisk sammansättning.

Geometri kontrollvolym

Kontrollvolym (celler) bör enligt manualen vara så kublika som möjligt. Celler utformades så nära kubform som var möjligt. Tryckekvationerna i beräkningarna utförs med en Poisson-lösning med Fast Fourier Transforms. Detta kräver att antalet celler skall vara baserat på formen $2^l 3^m 5^n$, där l, m och n är heltal. I samtliga tre dimensioner anpassades därför antalet celler till närmsta Poisson-bas. Cellerna avviker därför marginellt från kubisk form.

Storleken på cellerna påverkar beräkningarna i simuleringen. Generellt kan sägas att ett grövre nät underskattar effektutveckling och flammhöjd i branden. Därför gäller att ett finare nät är viktigare i de kritiska delarna av simuleringen, som till exempel branden. Enligt experiment utfört av Bounagi (*FDS Technical Reference Guide, NIST 2005*) konvergerar temperaturen i brandplymen när sidorna på cellerna är 10 cm. Celler längre bort från branden som inte deltar aktivt i hela eller delar av brandförloppet kan vara grövre för att minska beräkningstiden utan att resultatet påverkas nämnvärt. Mängden beräkningar påverkas av totalt fyra dimensioner varav tre rymdsdimensioner och tidsstegen. En halvering av sidan på cellen innebär ungefär $2^4 = 16$ gånger så lång beräkningstid.

Rökfyllnad och sikt

Optisk densitet (D_L) beräknas enligt

$$\text{masskoncentration} = \frac{m_s}{V} = \frac{y_s * m}{V}$$

m = massan bränsle, m_s = massan sot, y_s = soot yield

D_L = masskoncentration * POD

POD (Particulate Optical Density) = 7,62 m^2/g (FDS)

Sikt i FDS beräknas enligt $Sikt(m) = \frac{k}{D_L}$.

POD-värdet är ett empiriskt värde som är oberoende av bränsletyp för alla flambränsle.

FDS använder amerikanska standarder för k. Därför väljs istället k som $\ln(10) = 2,3026$ enligt Kompendium Aktiva System. Konfigurationen kräver en ändring för bränslet i databasen database4.data, VISIBILITY_FACTOR = 2.3026.

Appendix I - Indata och utdata i Fire Dynamics Simulator**Indata**

```

&HEAD CHID='teater_grov',TITLE='Teaterdel Avestaskolan - grovgrid cm' /

&GRID IBAR=54, JBAR=108, KBAR=15 / 20cm grid i källaren ~173250 celler
&PDIM XBAR0=16.8, XBAR=28, YBAR=22, ZBAR=2.8 /

&GRID IBAR=72, JBAR=54, KBAR=40 / 173250 celler
&PDIM XBAR=28,YBAR=22,ZBAR0=2.8,ZBAR=18 /

&TIME TWFIN=400. /300s

&MISC SURF_DEFAULT='INERT',REACTION='WOOD', DATABASE='c:\nist\fds\database4\database4.data'
/WOOD = 'Ritchie, et al., 5th IAFSS, C_3.4 H_6.2 O_2.5'

&SURF ID='BURNER',HRRPUA=14810, TAU_Q=-400, / Brandkälla (kW/m2) HRR*1.04=14810, original
HRRPUA=14240

&OBST XB= 0.0, 16.8, 0.0, 22, 0, 2.8, SURF_ID='INERT' / Teaterkällaren
&OBST XB= 16.8, 28, 0.0, 22, 2.8, 2.8, SURF_ID='INERT' / Scengolv
&OBST XB= 0.0, 18, 0.0, 22, 15, 18, SURF_ID='INERT' / Teatertak
&OBST XB= 22, 23.2, 10.8, 11.6, 0, 0, SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT', COLOR='RED' / Brand
0.8x1.2=0.96m2

&OBST XB= 18, 18.0, 0.0, 22, 9.5, 18, SURF_ID='INERT' / Takvägg Scen-Teater
&OBST XB= 0, 1.6, 0, 22, 9.5, 15, SURF_ID='INERT' / Bakre utsprång -X
&OBST XB= 0, 12, 0, 3, 9.5, 15, SURF_ID='INERT', COLOR="INVISIBLE" / Sidoutsprång -Y
&OBST XB= 0, 12, 19, 22, 9.5, 15, SURF_ID='INERT', / Sidoutsprång +Y
&OBST XB= 18, 18.0, 0.0, 2.5, 2.8, 9.5, SURF_ID='INERT' / Sidovägg Scen-Teater -Y
&OBST XB= 18, 18.0, 19.5, 22, 2.8, 9.5, SURF_ID='INERT' / Sidovägg Scen-Teater +Y
&OBST XB= 0, 5, 0, 22, 11.6, 12, SURF_ID='INERT' / Spåntak 1
&OBST XB= 5, 12.4, 0, 22, 12.8, 13.2, SURF_ID='INERT' / Spåntak 2

&OBST XB= 12, 12.4, 0, 22, 12.4, 13.2, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 1
&OBST XB= 12.4, 12.8, 0, 22, 12, 12.4, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 2
&OBST XB= 12.7, 13.1, 0, 22, 11.9, 12.4, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 3
&OBST XB= 12.9, 13.3, 0, 22, 11.7, 12.2, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 4

&OBST XB= 13.1, 13.5, 0, 22, 11.5, 12.0, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 5
&OBST XB= 13.3, 13.7, 0, 22, 11.3, 11.8, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 6
&OBST XB= 13.5, 13.9, 0, 22, 11.1, 11.6, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 7
&OBST XB= 13.7, 14.1, 0, 22, 10.9, 11.4, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 8
&OBST XB= 13.9, 14.3, 0, 22, 10.6, 11.2, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 9
&OBST XB= 14.1, 14.5, 0, 22, 10.4, 11.0, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 10
&OBST XB= 14.3, 14.7, 0, 22, 10.2, 10.7, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 11
&OBST XB= 14.5, 14.9, 0, 22, 10.0, 10.5, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 12
&OBST XB= 14.7, 15.1, 0, 22, 9.8, 10.3, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 13
&OBST XB= 14.9, 15.3, 0, 22, 9.6, 10.1, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 14
&OBST XB= 15.1, 15.5, 0, 22, 9.4, 9.9, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 15
&OBST XB= 15.3, 15.7, 0, 22, 9.1, 9.6, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 16
&OBST XB= 15.5, 15.9, 0, 22, 8.8, 9.3, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 17
&OBST XB= 15.7, 16.1, 0, 22, 8.5, 9.0, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 18
&OBST XB= 15.9, 16.3, 0, 22, 8.2, 8.7, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 19
&OBST XB= 16.1, 16.5, 0, 22, 8.0, 8.4, SURF_ID='INERT', SAWTOOTH=.FALSE. / Snedtak 20

&OBST XB= 0, 16, 0, 22, 2.8, 3.2, SURF_ID='INERT' / Läktare 1
&OBST XB= 0, 14, 0, 22, 3.2, 3.6, SURF_ID='INERT' / Läktare 2
&OBST XB= 0, 12.4, 0, 22, 3.6, 4.0, SURF_ID='INERT' / Läktare 3
&OBST XB= 0, 10.4, 0, 22, 4.0, 4.4, SURF_ID='INERT' / Läktare 4
&OBST XB= 0, 8.8, 0, 22, 4.4, 4.8, SURF_ID='INERT' / Läktare 5
&OBST XB= 0, 6.8, 0, 22, 4.8, 5.2, SURF_ID='INERT' / Läktare 6
&OBST XB= 0, 5.2, 0, 22, 5.2, 5.6, SURF_ID='INERT' / Läktare 7
&OBST XB= 0, 3.2, 0, 22, 5.6, 6, SURF_ID='INERT' / Läktare 8
&OBST XB= 0, 1.6, 0, 22, 6, 6.4, SURF_ID='INERT' / Läktare 9

&HOLE XB= 15.6, 17.4, 21.8, 22.20, 2.8, 4.8 /Dörröppning Nedre +Y
&HOLE XB= 15.6, 17.4, -0.20, 0.2, 2.8, 4.8 /Dörröppning Nedre -Y
&HOLE XB= 27.8, 28.2, 19.4, 20.4, 2.8, 4.8 /Dörröppning Scen +Y
&HOLE XB= 27.8, 28.2, 1.6, 2.6, 2.8, 4.8 /Dörröppning Scen -Y
&HOLE XB= -0.2, 0.2, 19.8, 20.8, 6.4, 8.4 /Dörröppning Övre +Y
&HOLE XB= -0.2, 0.2, 1.2, 2.2, 6.4, 8.4 /Dörröppning Övre -Y
&HOLE XB= 16.8, 18, 3, 19, 2.7, 3.0 /Orkesterdike
&HOLE XB= 21, 26, 0, 1, 2.7, 3.0 /Öppning för trappa

```


Brandteknisk Riskvärdering – Domarhagsskolan

```
&SLCF PBZ=2.8, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /Flöde scenkällaren
&THCP XB= 0, 28, 0, 22, 0, 18, QUANTITY='HRR', LABEL='Brandeffekt' /Brandeffekt

&THCP XYZ=16.6,20,4.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='Dörr Nedre +Y' / Temp 1
&THCP XYZ=16.6,2,4.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='Dörr Nedre -Y' / Temp 2
&THCP XYZ=2,20.4,8.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='Dörr Övre +Y' / Temp 3
&THCP XYZ=2,1.8,8.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='Dörr Övre -Y' / Temp 4
&THCP XYZ=17.2,11.2,2.8, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='Orkesterdike' / Temp 5
&THCP XYZ=24,0.5,2.8, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='Trapp öppning' / Temp 6
&THCP XYZ=22.8,11.2,0.8, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='Temperatur plymen' / Temp 7

&THCP XYZ=16.5,22,4.5, QUANTITY='RADIANT_INTENSITY', LABEL='Dörr Nedre +Y' / Radiation 1
&THCP XYZ=16.5,0,4.5, QUANTITY='RADIANT_INTENSITY', LABEL='Dörr Nedre -Y' / Radiation 2
&THCP XYZ=0,20.5,8.3, QUANTITY='RADIANT_INTENSITY', LABEL='Dörr Övre +Y' / Radiation 3
&THCP XYZ=0,0.5,8.3, QUANTITY='RADIANT_INTENSITY', LABEL='Dörr Övre -Y' / Radiation 4

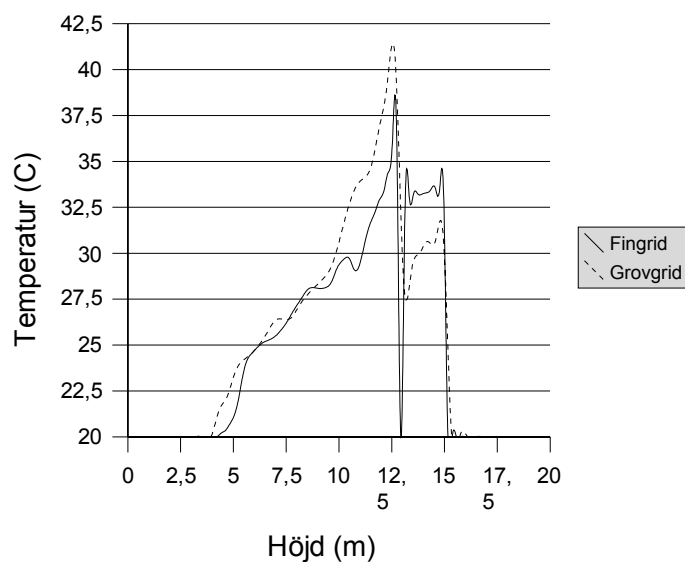
&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE(1)=80, / 80 graders lagret

&SLCF PBZ=11, QUANTITY='TEMPERATURE' / Temp_snitt mitt i rummet
&SLCF PBZ=11, QUANTITY='RADIANT_INTENSITY' / Strålnings_snitt i läktaren
&SLCF PBZ=11, QUANTITY='visibility', / Sikt_snitt mitt i rummet, egen
visibility factor
&SLCF PBZ=11, QUANTITY='carbon monoxide', / Sikt_snitt 2, carbon monoxide
&SLCF PBZ=11, QUANTITY='carbon dioxide', / Sikt_snitt 2, carbon monoxide
&SLCF PBX=15.4, QUANTITY='TEMPERATURE' / Temp_snitt 2
&SLCF PBX=15.4, QUANTITY='RADIANT_INTENSITY' / Strålnings_snitt 2
&SLCF PBX=15.4, QUANTITY='visibility', / Sikt_snitt 2, egen visibility
factor
&SLCF PBX=15.4, QUANTITY='carbon monoxide', / Sikt_snitt 2, carbon monoxide
&SLCF PBX=15.4, QUANTITY='carbon dioxide', / Sikt_snitt 2, carbon monoxide
```

Utdata

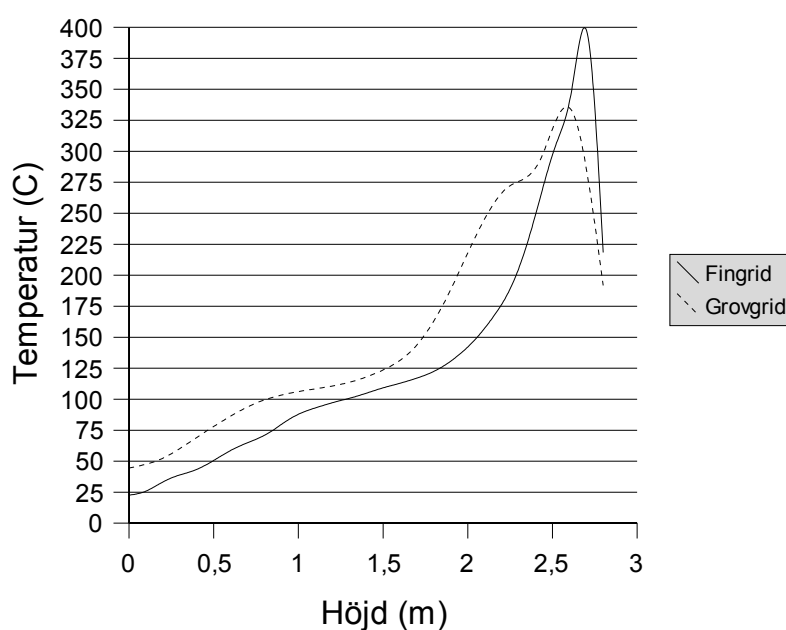
Följande diagram används för att bedöma om man får samma resultat med ett grövre gridnät som med ett finare.

Läktaren, (X=10,1), 90-100s, 5MW



Figur 14.11 Temperaturen scenkällaren X=10,1 m

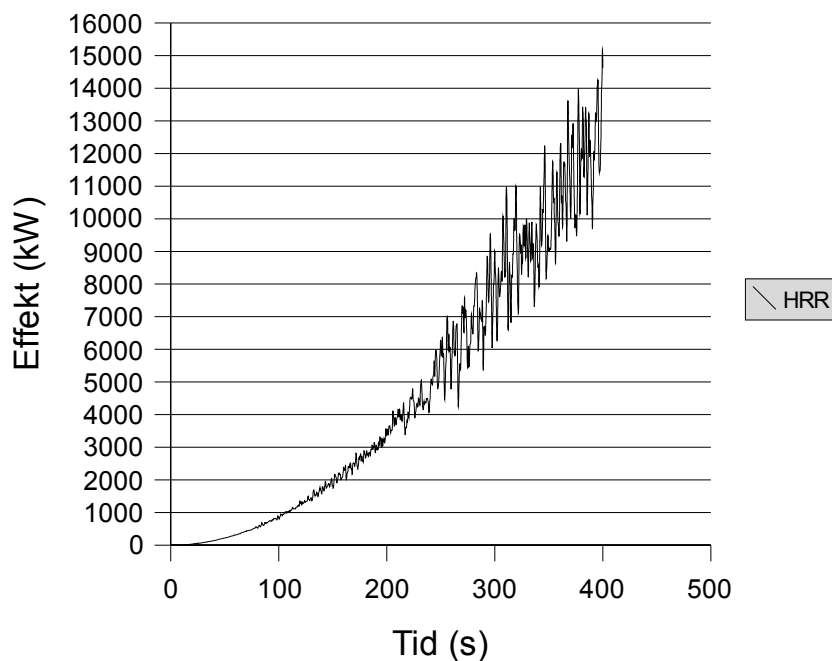
Scenkällaren (X=27,6), 90-100s, 5MW



Figur 14.12 Temperatur scenkällaren X=27,6 m

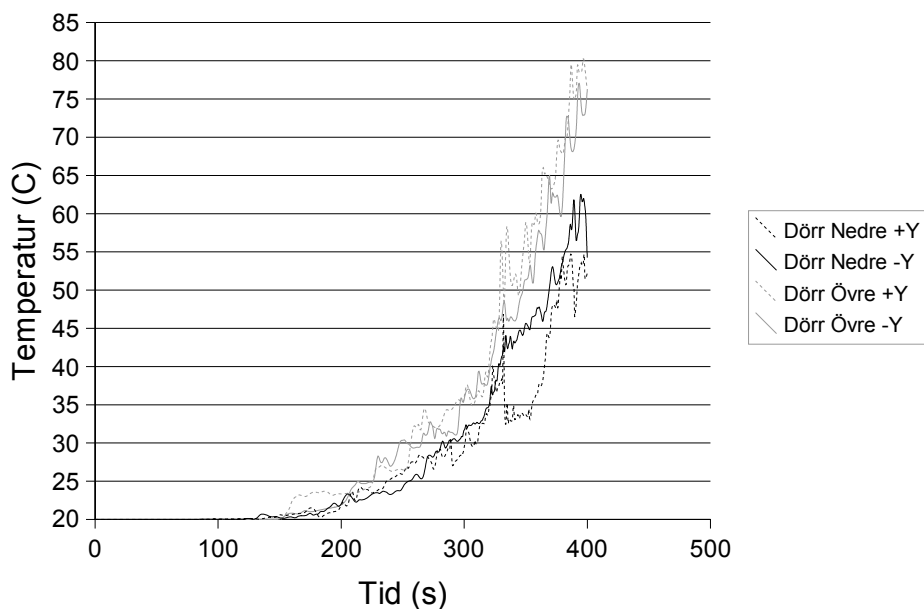
Följande diagram är resultat från simuleringen av Scenario 2 –Scenkällare.

Effektutveckling



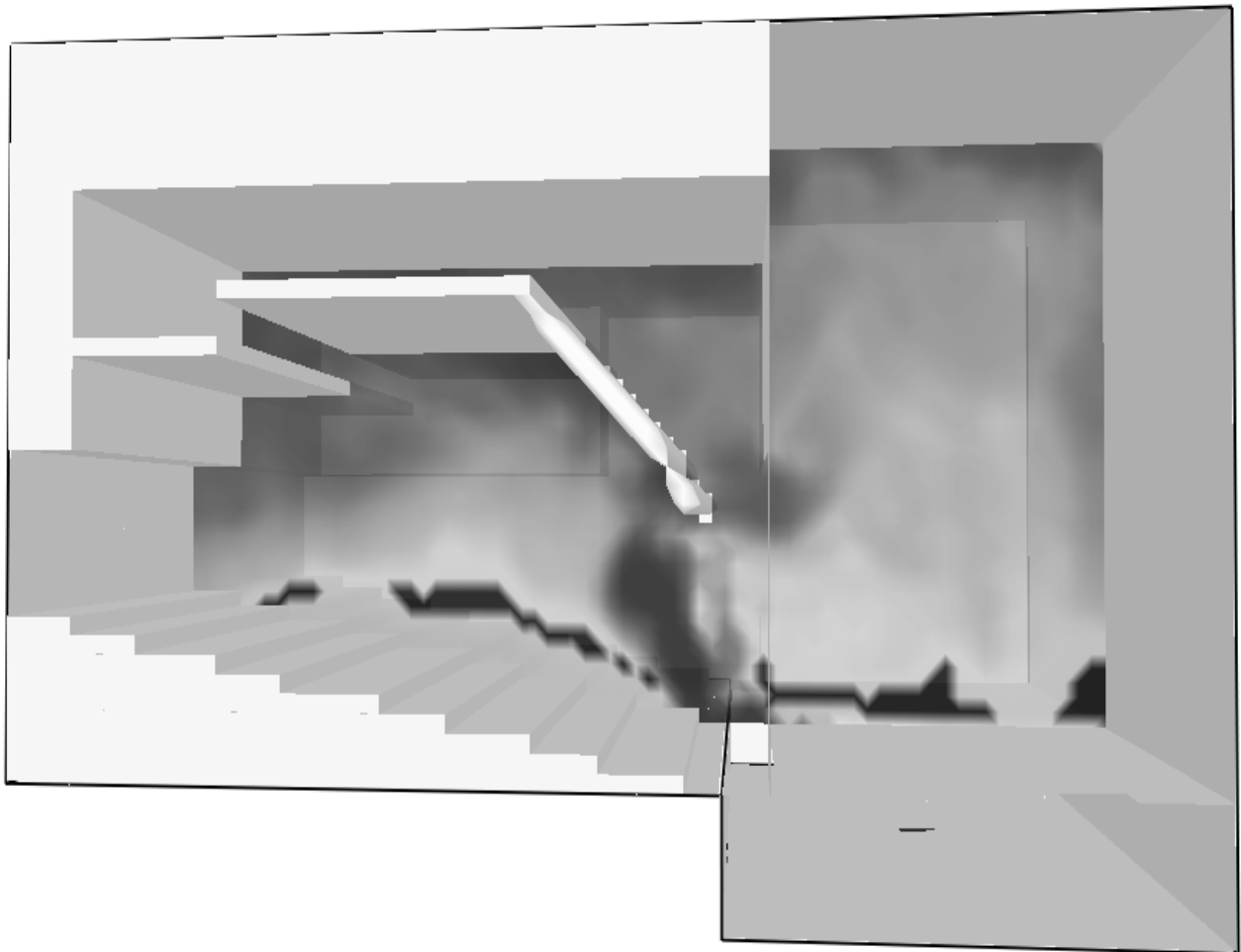
Figur 14.13 Effektutveckling

Temperatur utrymningsvägar

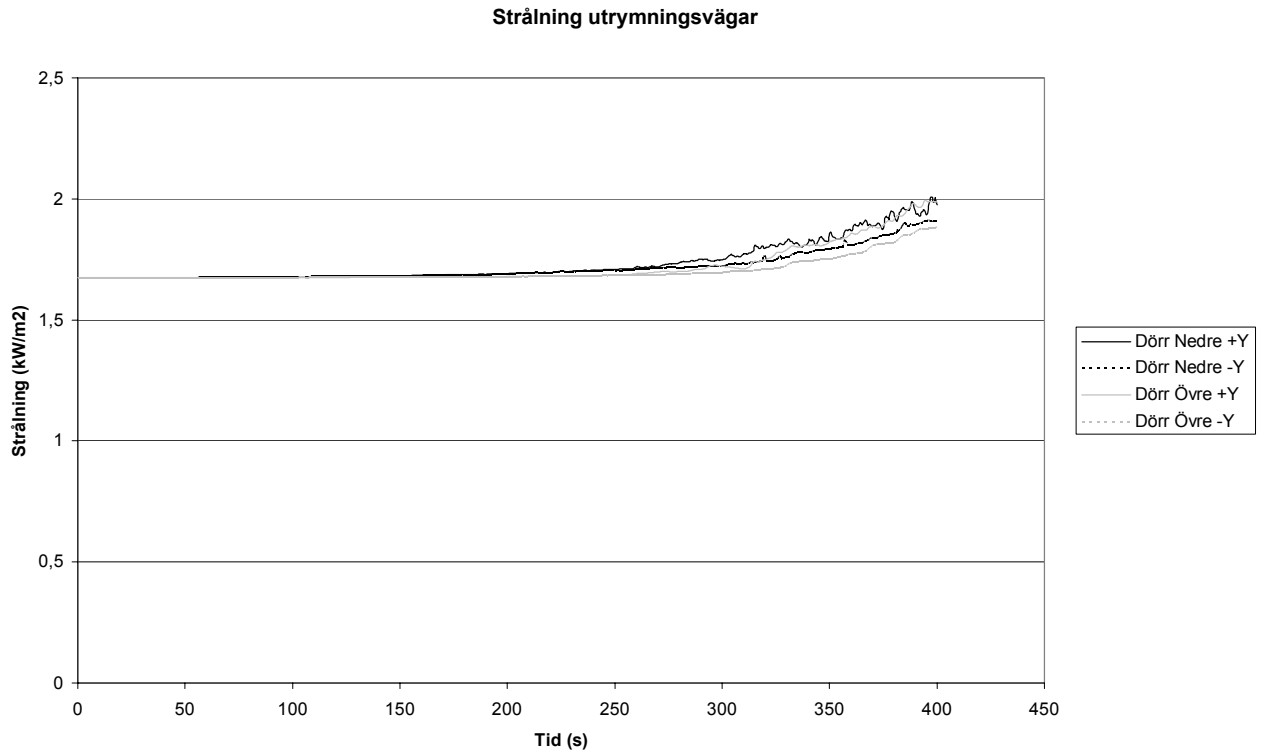


Figur 14.14 Temperatur utrymningsvägar

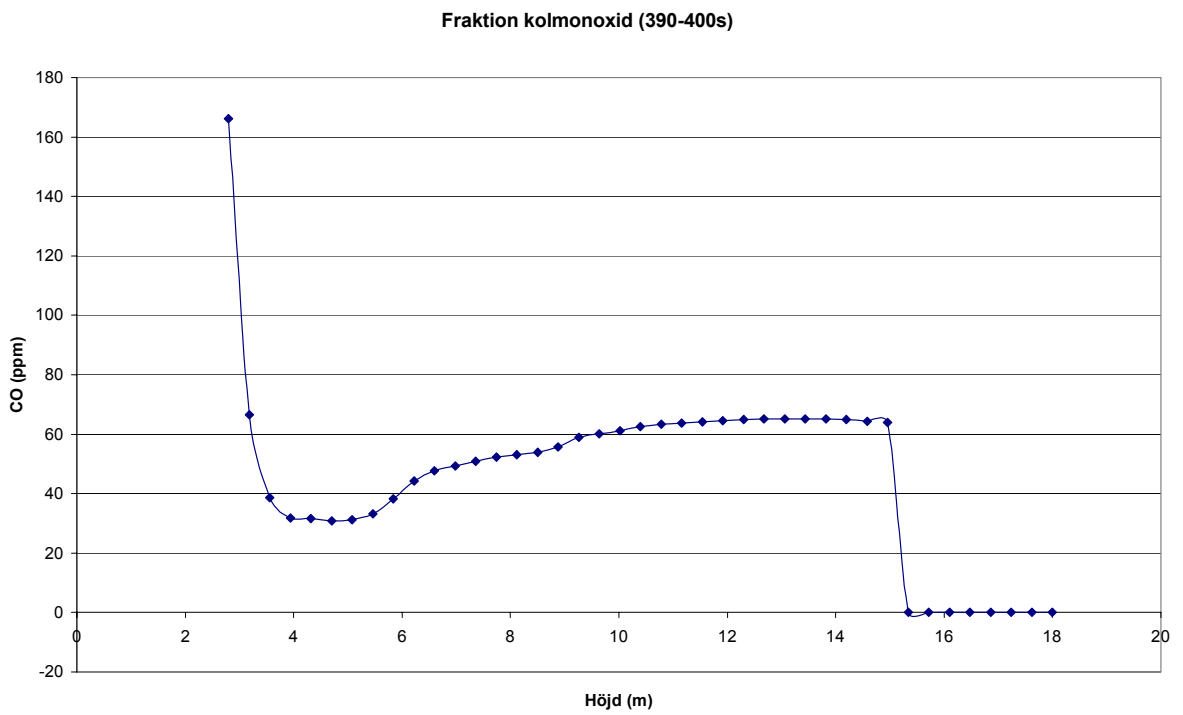
Bilden nedan visar sikten i rummet efter 320 sekunder. De svarta fälten visar områden där sikten är 10 meter. Området ovanför det svarta skiktet har en sämre sikt än 10 meter.



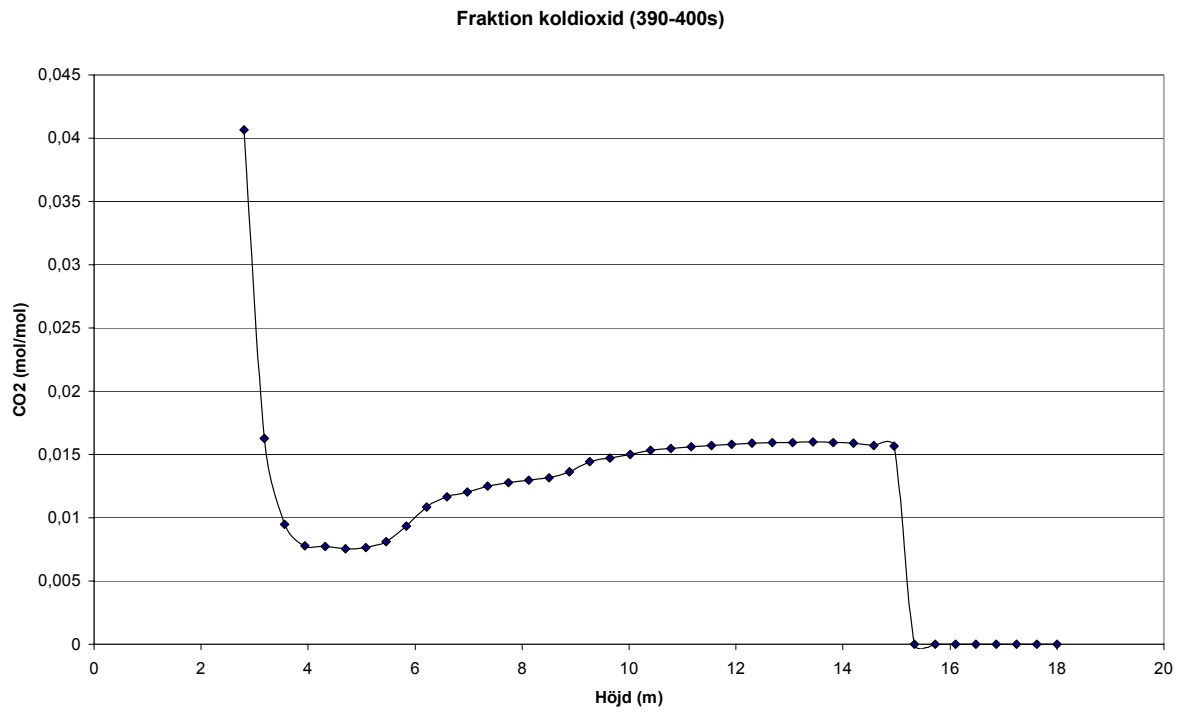
Figur 14.15 Sikt ovanför scen och läktare



Figur 14.16



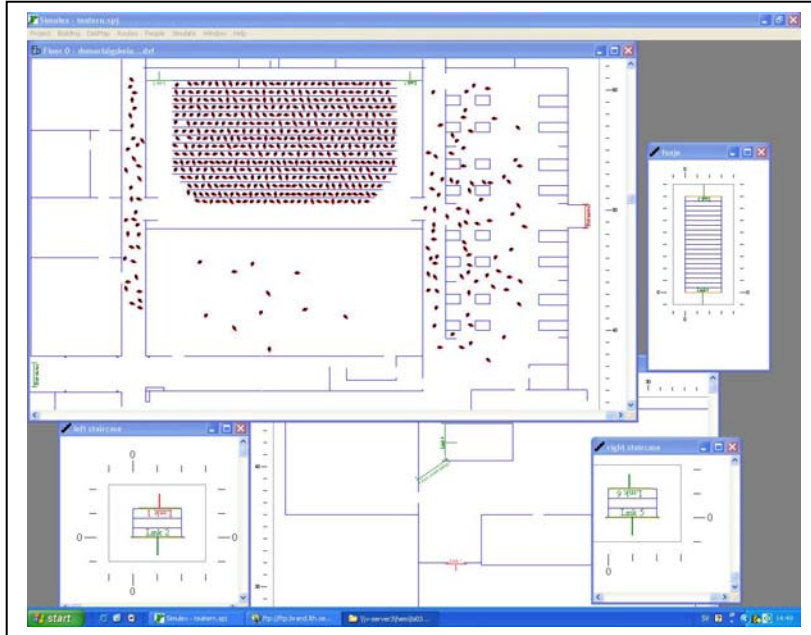
Figur 14.17



Figur 14.18

Appendix J - Beskrivning av Simulex

Simulex är ett datorprogram utvecklat av Avdelningen för Brandteknik, IES i Glasgow och University of Edinburgh¹ som simulerar utrymningstider för individen/individer i byggnader.



Figur 14.19 Programmets användarfönster

Programmet klarar både större och mindre byggnader. För att kunna använda datorprogrammet Simulex så behövs CAD-ritningar för de olika planen i en byggnad. Dessa ritningar importeras till programmet och därefter kan programmet börja användas.

Datorprogrammet är i 2D och individerna ses ovanifrån. Varje våning består av en CAD-ritning. Skulle det finnas fler våningar så finns det trappor att tillgå i programmet.

I programmet kan det göras en del inställningar gällande gånghastighet, typ av individ till exempel barn, vuxna, handikappade, individers storlek och reaktionstider. I programmet så utrymmer individen via den närmaste utgången. Detta är inte alltid lämpligt eftersom det kan vara missvisande. Det gäller att tänka på vilket

brandscenario som just den pågående simuleringen gäller för så att individerna inte utrymmer genom t.ex. en pågående brand. Branden är inte utsatt på CAD-ritningen och är på så sätt inget hinder för den utrymmande individen. Detta går att hanteras på två sätt. Antingen så införs ett hinder på CAD-ritningen, vilket innebär att individen/individerna inte kan komma förbi den vägen eller så kan inställningar göras i programmet. Då väljs istället till vilken/vilka utgångar som individen/individerna ska utrymma. Dessa två sätt gör att de mest orealistiska utrymningsvägarna kan undvikas.

Ett av de stora problemen i Simulex är att individen inte har någon intelligens. Köbildningar kan bli ett stort problem om alla individer ska utrymma den kortaste vägen. Förutom att de enbart väljer den kortaste vägen ut kan de ”fastna”. Ett exempel är att i stället för att gå runt en mötande individ så kan de gå rakt på och ”fastna”. De låser varandra och kommer ingenstans. För att avhjälpa detta problem kan oftast små ändringar av inställningarna göra att de mest orealistiska situationerna försvinner.

I de simuleringar som har gjorts i detta projekt har individerna valts till skolelever i programmet. Skolelever definieras i programmet som en blandning mellan 3 % vuxna män, 7 % vuxna kvinnor och 90 % barn. Dessa värden är baserade på statistik. Detta påverkar framförallt gånghastighet och ger en fördelning. Respektive gånghastigheter har satts till 1,35 m/s, 1,15 m/s och 0,9 m/s. Om personen går i en trappa multipliceras hastigheten med en faktor 0,5. Dessa värden kan jämföras med vad Boverket rekommenderar i sin rapport ”Utrymningsdimensionering” där en gånghastighet på 1,3 m/s rekommenderas. I Boverkets rapport gör man ingen urskiljning vad gäller vilken typ av person det handlar om. På skolan finns det också individer med rörelseförhinder och de rör sig en hastighet av 0,8 m/s i Simulex.

¹ Ingen av dem tar dock något ansvar för resultaten från programmet

Appendix K - Utdatafiler från Simulex

Scenario 1 - Hallongrottan

Number of Floors = 2
Number of Staircases = 1
Number of Exits = 2
Number of Links = 2
Number of People = 100

Floor 0 (DXF file: Hallongrottan...dxf) (Size: 10.600,6.503 metres)
Number of People Initially in This Floor = 40
Link 1 : (9.73,1.75 m), 92.12 degrees, 1.65 m wide, connected to Staircase 1

Floor 1 (DXF file: Hallongrottao...dxf) (Size: 12.266,6.503 metres)
Number of People Initially in This Floor = 60
Link 2 : (9.68,3.65 m), -90.00 degrees, 1.00 m wide, connected to Staircase 1
Exit 1 : (9.50,6.63 m), -90.00 degrees, 1.00 m wide
Exit 2 : (11.10,-0.12 m), 90.00 degrees, 1.00 m wide

Staircase 1 (Size: 1.000,4.500 metres)
Number of People Initially in This Stair = 0
Link 1 : (0.52,0.00 m), 270.00 degrees, 1.65 m wide, connected to Floor 0
Link 2 : (0.50,4.50 m), 90.00 degrees, 1.00 m wide, connected to Floor 1

All people reached the exit in 1:33.8.

Scenario 2 - Scenkällaren

Number of Floors = 2
Number of Staircases = 3
Number of Exits = 3
Number of Links = 6
Number of People = 631

Floor 0 (DXF file: domarhögskola...dxf) (Size: 70.250,82.734 metres)
Number of People Initially in This Floor = 631
Link 2 : (34.85,60.80 m), 91.15 degrees, 2.20 m wide, connected to left staircase
Link 3 : (35.95,77.00 m), 0.00 degrees, 3.00 m wide, connected to foaje
Link 5 : (55.60,61.05 m), 90.00 degrees, 2.20 m wide, connected to right staircase
Exit matsal : (70.10,49.50 m), 0.00 degrees, 2.00 m wide
Exit väster : (24.50,36.30 m), 0.00 degrees, 2.00 m wide

ovanvåning (DXF file: plan2.dxf) (Size: 65.900,44.800 metres)
Number of People Initially in This Floor = 0
Link 1 : (14.10,31.90 m), -89.00 degrees, 1.80 m wide, connected to left staircase
Link 4 : (13.20,42.00 m), 0.00 degrees, 3.00 m wide, connected to foaje
Link 6 : (31.65,31.90 m), -90.00 degrees, 1.80 m wide, connected to right staircase
Exit ovanvåning : (12.15,39.75 m), -54.78 degrees, 3.00 m wide

left staircase (Size: 2.000,1.200 metres)
Number of People Initially in This Stair = 0
Link 1 : (1.10,1.20 m), 90.00 degrees, 1.80 m wide, connected to ovanvåning
Link 2 : (1.02,0.00 m), 270.00 degrees, 2.20 m wide, connected to Floor 0

foaje (Size: 3.000,8.000 metres)
Number of People Initially in This Stair = 0
Link 3 : (1.55,8.00 m), 90.00 degrees, 3.00 m wide, connected to Floor 0
Link 4 : (1.45,0.00 m), 270.00 degrees, 3.00 m wide, connected to ovanvåning

right staircase (Size: 2.000,1.200 metres)
Number of People Initially in This Stair = 0
Link 5 : (1.00,0.00 m), 270.00 degrees, 2.20 m wide, connected to Floor 0
Link 6 : (0.88,1.20 m), 90.00 degrees, 1.80 m wide, connected to ovanvåning

All people reached the exit in 5:05.2.

Brandteknisk Riskvärdering – Domarhagsskolan

Number of people through all exits over 5-second periods		40	0
Time(s), N (People)		45	0
5	0	50	0
10	0	55	0
15	0	60	0
20	0	65	0
25	0	70	0
30	0	75	0
35	0	80	0
40	0	85	0
45	0	90	0
50	0	95	0
55	0	100	0
60	0	105	0
65	0	110	0
70	0	115	3
75	0	120	2
80	0	125	3
85	0	130	7
90	0	135	1
95	0	140	5
100	0	145	3
105	0	150	11
110	0	155	13
115	3	160	13
120	3	165	11
125	4	170	10
130	12	175	14
135	7	180	15
140	16	185	12
145	10	190	12
150	22	195	11
155	22	200	13
160	25	205	11
165	21	210	10
170	27	215	11
175	32	220	11
180	28	225	6
185	29	230	5
190	30	235	6
195	22	240	2
200	24	245	0
205	28		
210	26	Efter 245 sekunder passerar ej fler individer	
215	28		
220	32	Number of people through Exit väster over 5-second periods	
225	31	Time(s), N (People)	
230	18	5	0
235	19	10	0
240	15	15	0
245	16	20	0
250	11	25	0
255	10	30	0
260	8	35	0
265	9	40	0
270	11	45	0
275	6	50	0
280	6	55	0
285	5	60	0
290	5	65	0
295	2	70	0
300	4	75	0
305	3	80	0
310	1	85	0
		90	0
Number of people through Exit matsal over 5-second periods		95	0
Time(s), N (People)		100	0
5	0	105	0
10	0	110	0
15	0	115	0
20	0	120	1
25	0	125	0
30	0	130	5
35	0	135	3

Brandteknisk Riskvärdering – Domarhagsskolan

140	6	205	8
145	1	210	11
150	4	215	10
155	3	220	17
160	6	225	17
165	4	230	10
170	5	235	6
175	6	240	10
180	3	245	11
185	6	250	7
190	3	255	3
195	2	260	5
200	4	265	6
205	9	270	6
210	5	275	6
215	7	280	6
220	4	285	5
225	8	290	5
230	3	295	2
235	7	300	4
240	3	305	3
245	5	310	1
250	4		
255	7		
260	3		
265	3		
270	5		
275	0		
Efter 275 sekunder passerar ej fler individer		Number of people through Link 1 over 5-second periods	
		Time(s), N (People)	
		5	0
		10	0
		15	0
		20	0
		25	0
		30	0
		35	0
		40	0
		45	0
		50	0
		55	0
		60	0
		65	0
		70	0
		75	0
		80	0
		85	0
		90	0
		95	0
		100	0
		105	0
		110	0
		115	0
		120	0
		125	2
		130	5
		135	1
		140	7
		145	6
		150	7
		155	7
		160	4
		165	6
		170	6
		175	7
		180	5
		185	7
		190	6
		195	6
		200	4
		205	7
		210	6
		215	6
		220	7
		225	4
		230	5
		235	5
		240	0
		245	0
		250	0
		255	0
		260	0
		265	0
		270	0
		275	0
Number of people through Exit ovanvåning over 5-second periods			
Time(s), N (People)			
5	0		
10	0		
15	0		
20	0		
25	0		
30	0		
35	0		
40	0		
45	0		
50	0		
55	0		
60	0		
65	0		
70	0		
75	0		
80	0		
85	0		
90	0		
95	0		
100	0		
105	0		
110	0		
115	0		
120	0		
125	1		
130	0		
135	3		
140	5		
145	6		
150	7		
155	6		
160	6		
165	6		
170	12		
175	12		
180	10		
185	11		
190	15		
195	9		
200	7		

Brandteknisk Riskvärdering – Domarhagsskolan

Efter 235 sekunder passerar ej fler individer	15	0
	20	0
	25	0
	30	0
Number of people through Link 2 over 5-second periods	35	0
Time(s), N (People)	40	0
	45	0
5	50	0
10	55	0
15	60	0
20	65	0
25	70	0
30	75	0
35	80	0
40	85	0
45	90	0
50	95	0
55	100	0
60	105	0
65	110	0
70	115	0
75	120	1
80	125	4
85	130	6
90	135	5
95	140	7
100	145	7
105	150	7
110	155	5
115	160	5
120	165	6
125	170	5
130	175	7
135	180	6
140	185	5
145	190	5
150	195	7
155	200	5
160	205	5
165	210	6
170	215	7
175	220	7
180	225	6
185	230	7
190	235	6
195	240	6
200	245	4
205	250	2
210	255	0
215		
220		
225		
230		
	Efter 255 sekunder passerar ej fler individer	
	Number of people through Link 6 over 5-second periods	
	Time(s), N (People)	
	5	0
	10	0
	15	0
Number of people through Link 3 over 5-second periods	20	0
Time(s), N (People)	25	0
	30	0
Inga individer passerar	35	0
	40	0
	45	0
Number of people through Link 4 over 5-second periods	50	0
Time(s), N (People)	55	0
	60	0
	65	0
Inga individer passerar	70	0
	75	0
Number of people through Link 5 over 5-second periods	80	0
Time(s), N (People)	85	0
	90	0
5	95	0
10	100	0

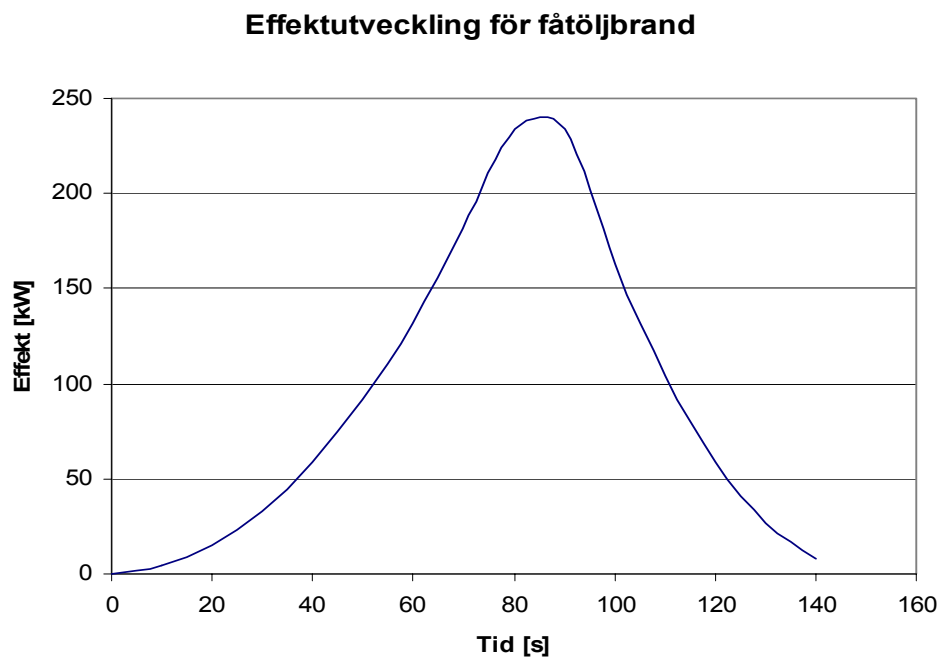
Brandteknisk Riskvärdering – Domarhagsskolan

105	0
110	0
115	0
120	0
125	2
130	4
135	4
140	5
145	7
150	6
155	6
160	6
165	5
170	6
175	6
180	5
185	6
190	7
195	5
200	7
205	4
210	6
215	7
220	5
225	7
230	6
235	7
240	5
245	5
250	6
255	4
260	0

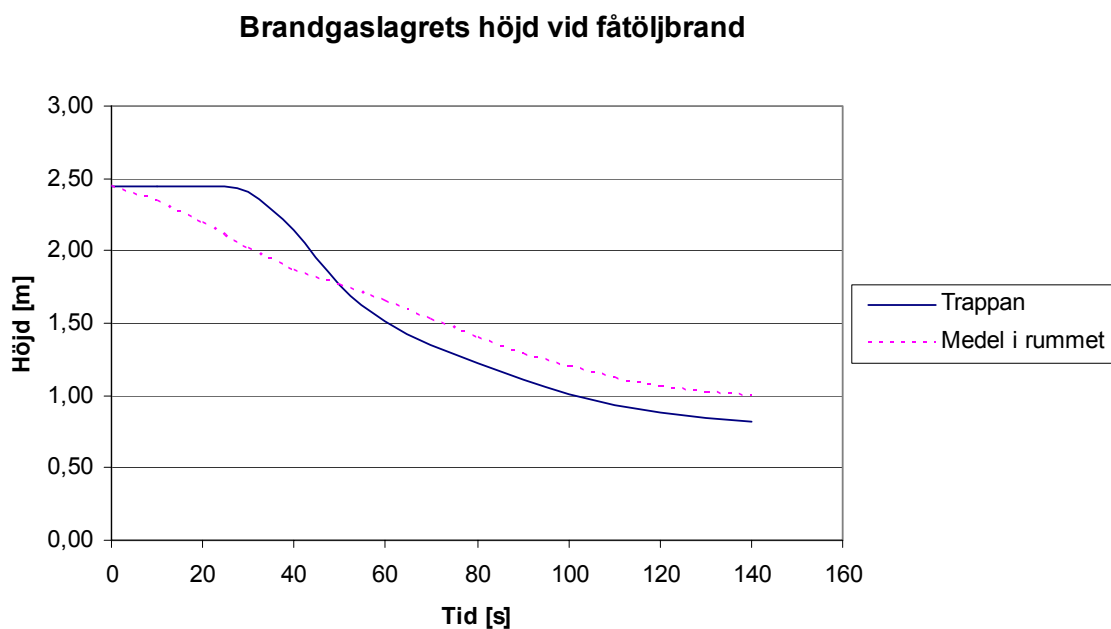
Efter 260 sekunder passerar ej fler individer

Appendix L - Känslighetsanalys

Scenario 1 Hallongrottan



Figur 14.20 Effektutveckling i hallongrottan för fåtöljbrand



Figur 14.21 Brandgaslagret i hallongrottan för fåtöljbrand

Beräkningar RTI

$$RTI = \tau \cdot v^{1/2}$$

$$\tau = t / \ln(T_g - T) / (T_g - T_o) = 41,5 / \ln(191 - 71,1) / (191 - 23,3) = 123,3$$

$$RTI = 123,3 \cdot 1,41 = 174,5$$

Sprinklerhuvudet aktiveras vid 160 F, vilket är ungefär 71 °C.

Alpha-värde är enligt tidigare $0,089 \text{ kW/s}^2 = 89 \text{ W/s}^2$

```
ENTER THE AMBIENT TEMPERATURE IN DEGREES C.
20
ENTER THE DETECTOR RESPONSE TIME INDEX <RTI> IN <M-SEC>**1/2.
175
ENTER THE DETECTOR ACTIUVATION TEMPERATURE IN DEGREES C.
71
ENTER A DETECTOR RATE OF RISE IN DEGREES C/MINUTE.
5
ENTER THE CEILING HEIGHT IN METERS.
2.8
ENTER THE DETECTOR SPACING IN METERS.
3
ENTER: S FOR SLOW FIRE GROWTH RATE
      M FOR MEDIUM FIRE GROWTH RATE
      F FOR FAST FIRE GROWTH RATE
      U FOR ULTRAFAST FIRE GROWTH RATE OR
      O FOR OTHER
0
ENTER THE FIRE GROWTH RATE CONSTANT <ALPHA> IN WATTS/SEC/SEC.
89
RESULTS:
      CEILING HEIGHT   =   2.80 METERS <  9.19 FEET >
      DETECTOR SPACING =   3.00 METERS <  9.84 FEET >
      DETECTOR RTI    =  175.0 <M-SEC>**1/2 < 317.0 <FT-SEC>**1/2 >
      FIRE GROWTH CONSTANT =   0.8900E+02 JOULES/<SEC**3>
                          <   0.8436E-01 BTU/SEC**3 >
<RETURN> TO CONTINUE
FOR TEMPERATURE ACTUATED DETECTOR:
      ACTIUVATION TEMPERATURE =   71.0 DEGREES C < 159.8 DEGREES F >
      TIME TO ACTIUVATION   =     2.27 MINUTES
      HEAT RELEASE RATE    =   0.1645E+04 KILOJOULES/SEC
```

