

Brandteknisk riskvärdering av

NORRBOTTENSTEATERN



HT 2005

Handledare:
Mikael Andersson
Daniel Nilsson

Av:
Olof Axelsson
Charlotte Cederlund
Jonas Davidsson
Susanne Mattsson

Brandingenjörsprogrammet

Lunds Tekniska Högskola

Box 118

221 00 Lund

Telefon: 046-222 73 00

brand@brand.lth.se

Departement of Fire Safety

Engineering

Lund University

Box 118

221 00 Lund, Sweden

Telephone: +46-46-222 73 00

brand@brand.lth.se

Rapport/Report 9261**Titel**

Brandteknisk riskvärdering av Norrbottensteatern

Title

Fire safety evaluation of Norrbottensteatern

Av/By

Olof Axelsson

Charlotte Cederlund

Jonas Davidsson

Susanne Mattsson

Abstract

This report is a fire safety evaluation of Norrbottensteatern in Luleå, Sweden. The report was carried out as a part of the education program for fire engineers. The main purpose was to analyse the safety regarding evacuation in case of fire, and to present a proposal of measures if necessary.

The theatre, built in 1986, is a four storey building and can hold more than 600 guests in its three salons. It also has a restaurant that seats 50 guests, as well as offices, dressing rooms, workshops etc.

Three scenarios, all likely to occur and with severe consequences, were chosen. These were *Fire in the cloakroom* (in the theatre foyer), *Fire beneath the seats* (in salon 1) and *Fire on the stage* (in salon 2).

The time until critical conditions were reached was calculated with CFAST and with calculations by hand. These were compared with the evacuation times calculated by Simulex. All three scenarios showed that there is a need for further improvements of the fire safety at the theatre. However, most things can be solved with simple measures like education of the staff, new and better exit signs and better or restored evacuation door handles.

Keywords

Theatre, smoke, evacuation, Norrbottensteatern, fire safety, cloakroom, seats, stage

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

Förord

Denna rapport har tillkommit utifrån de krav som ställs i kursen VBR 054 Brandteknisk riskvärdering och på begäran av Luleå Räddningstjänst.

Författarna vill tacka de som har hjälpt till med rapporten;

- Daniel Nilsson på Brandteknik för ett kanonjobb som handledare.
- Mikael Andersson, vår handledare, samt Ronnie Lindberg på Luleå Räddningstjänst
- Personalen på Norrbottensteatern, framförallt husintendent Sven-Åke Renlund
- Luleå Räddningstjänst för mat och logi.
- Lars Jensen för hjälp med ventilationsfrågor.

Sammanfattning

En brandteknisk riskvärdering av Norrbottensteatern i Luleå har utförts inom kursen Brandteknisk riskvärdering. Målet har varit att studera brandskydd med fokus på utrymningssäkerhet och därefter komma med åtgärdsförslag om behov föreligger.

Teatern som byggdes 1986 består av fyra plan och har plats för drygt 600 personer i de tre scenerna sammantaget, samt ett femtiotal gäster i restaurangen. Där finns även kontor, loger, verkstäder etc.

Tidigt i projektet besöktes Norrbottensteatern tillsammans med handledare från Brandteknik och Luleå Räddningstjänst. Därefter utfördes en riskinventering för att klargöra teaterns riskbild. Denna följdes sedan av en riskidentifiering där riskerna diskuterades och där slutligen tre troliga brandscenarier valdes ut för vidare analys. Dessa scenarier är *Brand i garderob* (foajé), *Brand under stolar* (Scen 1) samt *Brand på Scen* (Scen 2). Effektkurvor för scenarierna togs fram ur litteratur och sedan utfördes handberäkningar samt simuleringar i CFAST och Simulex.

Vid scenariot med brand i garderob utvecklar de brinnande kläderna en mycket stor effekt. Kritiska förhållanden nås snabbt i foajén och för gäster i restaurangen kommer utrymning inte att kunna genomföras på ett säkert sätt. Problem uppstår också då branden blockerar flera nödutgångar samtidigt. Hålls dock dörrarna ut till foajén stängda hinner publiken utrymma fullständigt. För att förhindra att en brand som den i garderoben uppstår bör den sektioneras i mindre avdelningar. Garderobspersonalen bör aldrig lämna garderoben och de ska ha utbildning för användning av handbrandsläckare. Utbildad personal kan även förbättra utrymningssituationen genom att visa besökare till rätt utrymningsvägar.

Brand under stolar på Scen 1 kan, trots att brandeffekten inte är så stor, ge oerhörda konsekvenser för publiken. Branden tar sig i utrymmet under besökarnas fötter, och detektionstiden kan bli lång. Brandgaslagret når kritisk höjd relativt snabbt, och en säker utrymning kan inte garanteras. För att förhindra ett scenario som detta bör utrymmet under sittplatserna inte användas som lagerplats. Det är även viktigt att brandcellsgränser upprätthålls och att personal på plats utbildas så att de vid en brand vet hur de ska handla.

Scenariot med brand på Scen 2 ger ett snabbt och häftigt brandförlopp. Kritiska förhållanden uppnås snabbt och publiken kommer inte att hinna utrymma på ett säkert sätt. Utrymningsvägar måste vara i bra skick och vara väl markerade. Utbildad personal kan enkelt förkorta publikens beslutstid genom att fungera som vägvisare. Lös släckutrustning ska vara välmarkerad och lättillgänglig, på så sätt kan branden i bästa fall släckas redan i ett tidigt skede.

Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Problemformulering.....	1
1.3 Syfte.....	1
1.4 Metod.....	1
1.5 Avgränsningar.....	2
2 Objektsbeskrivning.....	3
2.1 Allmänt.....	3
2.2 Plan 1.....	3
2.2.1 Scen 1.....	3
2.2.2 Dekorförråd.....	4
2.2.3 Scen 2.....	4
2.2.4 Foajén.....	4
2.2.5 Scen 3 (mobilen).....	4
2.2.6 Smide.....	4
2.2.7 Snickeri.....	4
2.2.8 Soprum/garage.....	4
2.2.9 Skrädderi/Tvätt.....	4
2.2.10 Attributverkstad.....	4
2.2.11 Montering.....	5
2.3 Plan 2.....	5
2.4 Plan 3.....	5
2.5 Plan 4.....	6
3 Befintligt brandskydd.....	7
3.1 Passiva system.....	7
3.1.1 Brandceller.....	7
3.1.2 Brandgasventilation.....	8
3.2 Aktiva system.....	8
3.2.1 Sprinklersystem.....	8
3.2.2 Brandlarmsystem.....	9
3.3 Systematiskt brandskyddsarbete.....	10
3.4 Övrigt.....	10
4 Riskinventering.....	13
5 Riskidentifiering.....	15
5.1 Grovanalys.....	15
5.1.1 Scen 1.....	15
5.1.2 Dekorförråd.....	16
5.1.3 Förråd 166.....	16
5.1.4 Foajé.....	16
5.1.5 Scen 2.....	16
5.1.6 Scen 3 (Mobilen).....	17
5.1.7 Snickeri.....	17
5.1.8 Soprum/Garage.....	17
5.1.9 Skrädderi/tvätt.....	17
5.1.10 Attributverkstad.....	17
5.2 Fördjupad grovanalys.....	18
5.2.1 A1 – brand i mixerbord.....	18
5.2.2 A3 – brand i elektronikrum.....	18
5.2.3 A6 – brand under stolar.....	18

5.2.4 B1 och B2 – brand i dekorförråd	18
5.2.5 C – allmän brand Scen 2	19
5.2.6 D1 – brand i kylskåp	19
5.2.7 E5 – brand i garderob	19
5.2.8 F4 – brand i mixerbord	19
5.2.9 F6 – brand i bar	19
5.2.10 Slutsats	19
6 Brandscenarier	21
6.1 Effektutveckling	21
6.1.1 Scen 1 – brand under stolar	21
6.1.2 Brand på Scen 2	22
6.1.3 Brand i garderob	23
6.2 Ventilationen i aktuella lokaler	25
6.2.1 Scen 1	25
6.2.2 Scen 2	25
6.2.3 Foajén	25
7 Utrymning	27
7.1 Råd enligt BBR	27
7.1.1 Scen 1	27
7.1.2 Scen 2	27
7.1.3 Scen 3	28
7.1.4 Foajén (Garderob)	28
7.2 Utrymningstider och kritiska förhållanden	28
7.3 Simulex	29
7.3.1 Allmänt	29
7.3.2 Scen 1	29
7.3.3 Scen 2	30
7.3.4 Garderob	31
8 CFAST-simuleringar	33
8.1 Scen 1	33
8.2 Scen 2	34
8.3 Garderob	35
9 Handberäkningar	37
9.1 Brandgaslagrets höjd och temperatur	37
9.2 Brandgasventilation	37
10 Resultat	39
10.1 Simulex	39
10.1.1 Scen 1	39
10.1.2 Scen 2	39
10.1.3 Garderob	40
10.2 CFAST	41
10.2.1 Scen 1	41
10.2.2 Scen 2	42
10.2.3 Garderob	43
10.3 Handberäkningar	45
10.3.1 Scen 1	45
10.3.2 Scen 2	46
11 Diskussion av resultat	47
11.1 Jämförelse mellan handberäkningar och CFAST	47
11.1.1 Scen 1	47

11.1.2 Scen 2	47
11.2 Jämförelse kritiska nivåer och utrymningssimulering	48
11.2.1 Scen 1	48
11.2.2 Scen 2	48
11.2.3 Garderoben	49
12 Känslighetsanalys	51
12.1 Utrymningssimuleringar gjorda med Simulex	51
12.1.1 Scen 1	51
12.1.2 Scen 2	51
12.1.3 Garderob	51
12.2 Brandförloppssimuleringar gjorda med CFAST	51
12.3 Handberäkningar	51
13 Osäkerhetsanalys	53
13.1 Effektutveckling	53
13.1.1 Scen 1	53
13.1.2 Scen 2	53
13.1.3 Garderob	53
13.2 CFAST	53
13.2.1 Scen 1	54
13.2.2 Scen 2	54
13.2.3 Garderob	54
13.3 Simulex	54
13.3.1 Scen 1	54
13.3.2 Garderob	55
13.3.3 Scen 2	55
13.4 Handberäkningar	55
14 Diskussion och verifiering av åtgärdsförslag	57
14.1 Scen 1	57
14.2 Scen 2	58
14.3 Garderoben	59
14.3.1 Jalusi för garderoben	59
14.3.2 Sprinkler för garderob och personal med handbrandsläckare	60
14.3.3 Garderobssektionering	61
14.4 Foajén	61
14.5 Scen 3	62
14.6 Elektronikrummet	62
14.7 Dekorförråd	62
14.8 Mixerbord	62
14.9 Förråd vid Scen 2	63
14.10 Allmänt i teatern	63
14.11 Ledning och personal	63
15 Åtgärdsförslag	67
Källförteckning	69
Bilaga A Utdata för Simulex-simuleringar	71
Bilaga B Simulexberäkningar och uppställningar	75
Bilaga C CFAST geometrirekommendationer	85
Bilaga D Indata från CFAST	87
Bilaga E handberäkningar	89
Bilaga F Detact-T2 för dekorförråd	93
Bilaga G Verifiering av sprinkler i garderob	97

1 Inledning

Ett bra förebyggande brandskyddsarbete är en viktig del i att undvika större bränder. Det här arbetet är ett försök till att underlätta det förebyggande brandskyddsarbetet på Norrbottensteatern.

1.1 Bakgrund

I Brandingenjörsutbildningen ingår ett flertal kurser såsom Brandkemi, Branddynamik och Termodynamik. Tredje året läses kursen Brandteknisk riskvärdering vilken är mer praktiskt inriktad. Det största delmomentet i kursen består av att en byggnad undersöks och dess brandsäkerhet i förhållande till utrymning utvärderas. Förslag till åtgärder ska finnas med i mån av behov.

Rapporten behandlar Norrbottensteatern i Luleå, detta på uppdrag av Räddningstjänsten i Luleå. Luleå Räddningstjänst ville ha en bedömning av Norrbottensteatern då byggnaden är stor och en grundlig utredning kräver mer tid än de har resurser till.

Denna rapport riktar sig till Brandingenjörsstuderande, Luleå räddningstjänst och verksamhetsansvariga vid Norrbottensteatern.

1.2 Problemformulering

I denna rapport kommer följande frågeställningar att undersökas:

- Är brandskyddet på Norrbottensteatern tillfredsställande sett ur ett utrymningsperspektiv, hinner besökare och personal utrymma innan kritiska förhållanden uppstår?
- Kan det befintliga brandskyddet utnyttjas effektivare?
- Kan förbättringar göras utan omfattande investeringar?

Eftersom den ekonomiska aspekten inte ingår i den här kursen kommer det sistnämnda endast att beröras mycket översiktligt

1.3 Syfte

Det övergripande syftet med rapporten är att brandingenjörsstudenterna ska lära sig använda de teoretiska kunskaperna från tidigare kurser i praktiken i form av en brandteknisk riskvärdering av ett objekt.

Rapporten ska ge en nyanserad bild av Norrbottensteaterns nuvarande brandskydd och ge konkreta förslag på åtgärder för en förbättrad utrymningssäkerhet.

1.4 Metod

Den brandtekniska riskvärderingen inleddes med ett besök på Norrbottensteatern för att få en djupare förståelse för dess geometri, verksamhet och befintliga brandskydd. Mot bakgrund av besöket genomfördes en riskinventering, en grovanalys och en fördjupad grovanalys, vilket ledde till att tre scenarier valdes ut för vidare analys av utrymningssäkerheten. Säkerheten värderades med hjälp av litteratur och datorsimuleringar (CFAST och Simulex). För resultaten som erhöles gjordes en känslighets- och en osäkerhetsanalys. Arbetet utmynnade i en diskussion om vad som kan göras för att förbättra brandsäkerheten, både genom nya

investeringar och bättre utnyttjande av befintligt brandskydd. Resultatet av diskussionen sammanfattades i en lista över åtgärdsförslag.

1.5 Avgränsningar

I rapporten kommer endast utrymningssäkerheten att utvärderas. Säkerheten för räddningstjänsten vid eventuell insats behandlas därmed inte, liksom byggnadstekniska och materiella skador. I och med detta är det brandens initialskede och tid till utrymning som är av intresse.

På grund av tidsbegränsning har ett försök gjorts att bedöma vad som behöver utredas utifrån vad som är unikt med teatern och därmed inte enkelt kan jämföras med riskvärderingar av andra objekt. De scenarier som undersöks ska vara väsentliga sett både till konsekvenser och sannolikhet.

2 Objektsbeskrivning

I kapitlet kommer Norrbottensteatern att beskrivas närmare, våningsplan för våningsplan.

2.1 Allmänt

Norrbottensteatern byggdes 1986 och ligger i Luleås norra hamn. Teatern är byggd för att passa in i miljön, den ska se ut som ett sjömagasin och fasaden är gjord i trä. Teatern är en regionsteater som har i uppdrag att spela teater för barn, ungdomar och vuxna. Således är teaterhuset en byggnad som innesluter en rad vitt skilda rum och aktiviteter för många olika besökare. På teatern arbetar ca 50 personer året runt men antalet varierar beroende på det aktuella programmet.

Teaterhuset har tre scener som alla är flexibla i sin utformning, de är så kallade blackrooms. Vidare finns loger, olika verkstäder, ateljéer, en motionslokal, lagerlokaler, kontor, arkiv, mötesrum, foajé restaurang, garderob etc.

2.2 Plan 1

På plan 1 finns de olika scenerna, foajén med garderob och matservice, kontor, olika verkstäder och rekvisitaförråd, se bild 2.1.

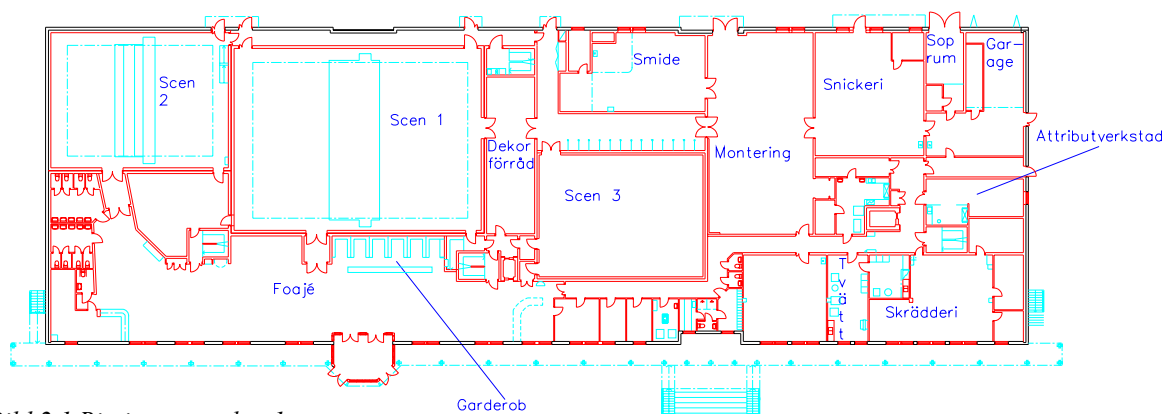


Bild 2.1 Ritning över plan 1.

2.2.1 Scen 1

Scen 1 är ett rum med en golvyta på ungefär 400m² och en takhöjd på cirka 10m från scengolvet, alltså spänner Scen 1 över tre våningar. Rummet ska inte begränsa kreativiteten, således finns inga fasta sittplatser, ”järnridå” eller liknande som kan förknippas med en traditionell teater. Allt är flexibelt. Den ena delen av lokalen är dock avsedd för publiken, som maximalt kan uppgå till 320 personer, och den andra halvan för scen. Ljud- och ljus tekniker sitter i mitten på besökarnas kortsida.

Besökarna kommer in genom en dörr på långsidan av plan ett. De kommer antingen direkt in eller leds via gångar bestående av flyttbara ljuddämpande väggar, runt rummet. Den andra långsidan har två nödutgångar ut som i stor utsträckning används i det dagliga arbetet på teatern, alltså exempelvis vid scenbyggnad. Runt rummet går en balkong där publik kan sitta. Den har också en viktig funktion för scenen då bland annat musikerna sitter där. Det finns

nödutgångsmöjligheter även för balkongen. Bakom scenen finns stora dörrar, som leder till dekorförrådet.

2.2.2 Dekorförråd

Dekorförrådet är fyllt av kläder och kulisser. Förrådet är två våningar högt och saker står staplade längs väggarna och även mitt i rummet.

I förbindelse med förrådet finns en korridor till vilken Scen 3 angränsar. Korridoren är främst fylld med stora kulisser.

2.2.3 Scen 2

Scen 2 är, liksom Scen 1, ett rum med flexibel inredning. Utseendet ändras med hjälp av kulisser, sittplatser, ljus etc. Exempelvis så kan sittplatserna byggas upp i antingen ett lutande eller horisontellt plan. Publiken kan uppgå till ungefär 120 personer. Takhöjden är cirka 5m och golvarean är cirka 220m². I angränsning till scenen finns ett förråd (förråd 166).

2.2.4 Foajén

Innanför huvudentrén finns foajén. Där finns en garderob, en reception och en restaurangavdelning. Från foajén finns dörrar till de olika scenerna, två trapphus till plan 2, toaletter och kök.

Köket används mycket och serverar både lunch och middag. Garderoben används främst under föreställningarna.

2.2.5 Scen 3 (mobilen)

Scen 3, även kallad mobilen, är liksom de två övriga scenerna ett rum som kan byggas om till önskat utseende med hjälp av kulisser, sittplatser, ljus etc. Vid besöket var rummet fyllt med bord likt en restaurang samt en bar vid den ena kortsidan. Väggarna är beklädda med trä. Höjden till taket är 6m och arean är cirka 180m².

2.2.6 Smide

I smideriet finns metallsvarvar och liknande för arbete med metall. Gasflaskor med Argon, Mison 25, Syre och Acetylen finns i rummet. Väggarna är av betong och skulle det ske en explosion trycks fönstren ut. Väggarna och taket är beklädda med trä.

2.2.7 Snickeri

I snickeriet finns diverse maskiner för arbete i trä. Väggarna i lokalen är beklädda med trä.

2.2.8 Soprum/garage

Soprummet ligger intill garaget. Det finns även ett rum för återvinning. Taket i garaget är beklätt med trä.

2.2.9 Skrädderi/Tvätt

I skrädderiet finns mycket tyger lagrade. I angränsande rum ligger tvätteriet som även fungerar som ett personalrum. Det finns även en tygverkstad.

2.2.10 Attributverkstad

I attributverkstaden tillverkas kulisser och rekvisita av exempelvis frigolit.

2.2.11 Montering

Monteringen sker i ett stort och öppet rum som ligger mellan mekanikverkstaden och snickeriet. Även målning/spraymålning utförs här. Väggarna är beklädda med trä.

2.3 Plan 2

Utanför plan två går en lång altan, med utsikt över vattnet. Längs med planet går en lång korridor med kontor och loger. Ovanför plan 1:s entré finns ett fikarum. Motionslokalen är ett stort rum främst avsett för dansutövande. På plan två återfinns även ett arkiv och ett klädförråd. Bild 2.2 visar plan 2.

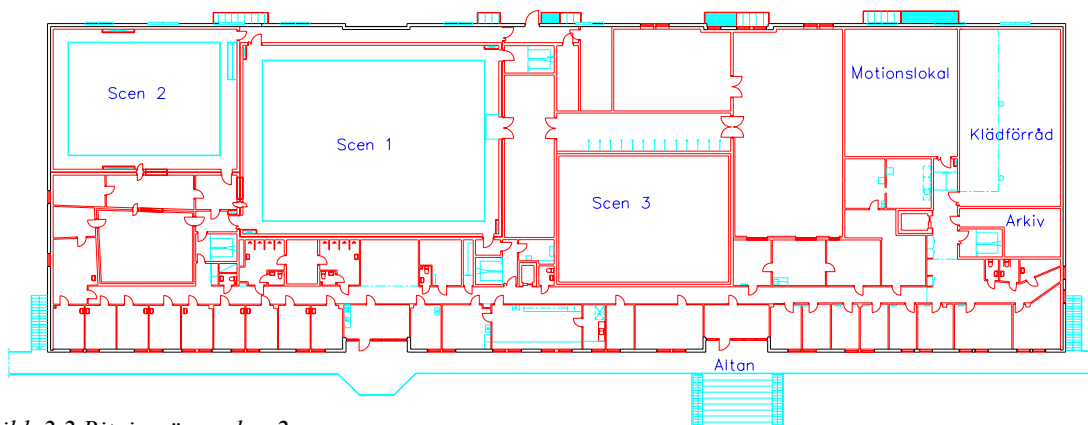


Bild 2.2 Ritning över plan 2.

2.4 Plan 3

På plan tre, se bild 2.3 nedan, finns ett par mötesrum samt även några kontor. Det finns även ett rekvisitaförråd, elrum och ett fläktrum. Scen 1:s övre del når upp hit.

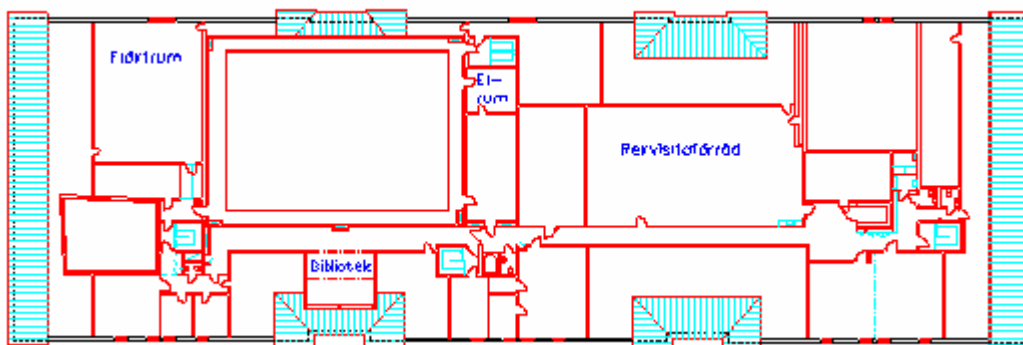


Bild 2.3 Ritning över plan 3

2.5 Plan 4

Planet består av en kallvind, utrymme för lingångsmotorerna och ett rum där rökgasluckorna är placerade, se bild 2.4.

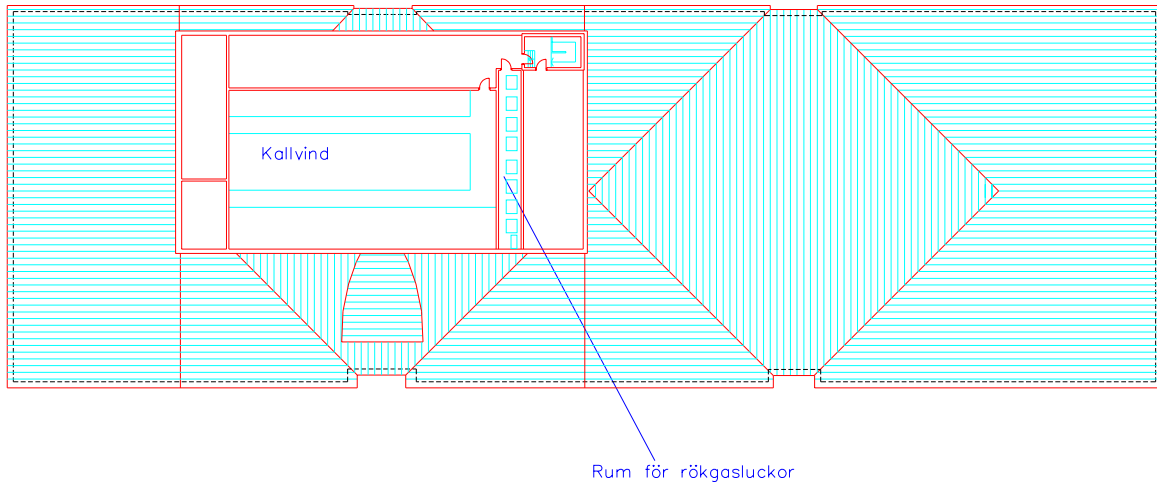


Bild 2.4 Ritning över plan 4.

3 Befintligt brandskydd

Befintligt brandskydd presenteras nedan i form av aktiva samt passiva skyddssystem. Som underlag har brandsynsprotokoll, anteckningar, ritningar samt intervjuer med den tekniska personalen på Norrbottensteatern använts. Dörrbredder och längd på utrymningsväg redogörs för i kapitel 7.1 Råd enligt BBR.

3.1 Passiva system

Nedan presenteras Norrbottensteaterns passiva system.

3.1.1 Brandceller

Trapphusen i teatern är egna brandceller. Vidare är hisschakten egna brandceller. Vad gäller brandcellsindelningen på plan 1 är Scen 1, Scen 2 samt Scen 3 egna brandceller. Foajén samt förrådet bredvid Scen 1 och 2 är en brandcell medan dekorförrådet och anslutningskorridoren till dekorförrådet är en annan brandcell. Vidare är monteringen och smidet en egen brandcell. Snickeriverkstan är en egen brandcell och likaså soprummet. Garaget är också en egen brandcell medan skrädderiet samt tvätten tillsammans bildar en brandcell. Brandcellsgränserna har ritats ut i bild 3.1.

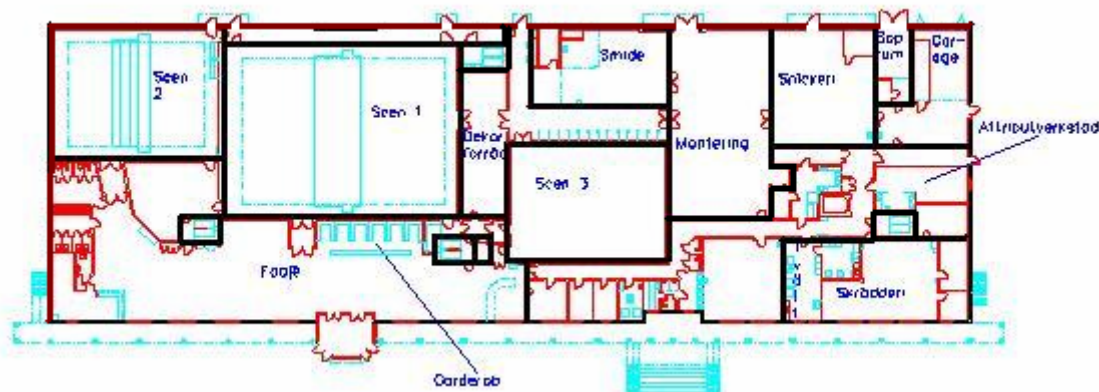


Bild 3.1 Brandcellsgränser plan 1.

För plan 2 ingår naturligtvis övre delarna av Scen 1, 2 och 3 samt monteringen enligt samma fördelning som plan 1. Vidare är klädförrådet på plan 2 en egen brandcell. Dessutom är arkivet en egen brandcell. För plan tre är övre delen av Scen 1, som löper mellan plan 1, 2 och 3, en egen brandcell. Vidare är fläktrummen, klädförrådet, rekvisitaförrådet samt elektronikrummet egna brandceller. På plan 4 är fläktrummet och kallvinden egna brandceller.

Som påpekats av räddningstjänsten (brandsynsprotokoll) och som även uppmärksammades vid objektsbesöket är att många av branddörrarna stod öppna mellan flera av brandcellerna vilket medför att brandcellsindelningen som skydd avsevärt försämras. Dörren till elektronikrummet var dessutom icke stängbar på grund av att det låg en stor mängd elkablar ivägen. Bild 3.2 visar det sistnämnda. Bilden bredvid, 3.3 visar ett exempel på en uppställd branddörr.



Bild 3.2 Dörr i elektronikrummet.



Bild 3.3 Öppen branddörr.

3.1.2 Brandgasventilation

De brandgasluckor som finns är belägna ovanför Scen 1 och manövreras manuellt av räddningstjänsten. Manövreringsanordningen finns vid centralapparaten.

3.2 Aktiva system

Nedan presenteras de aktiva system som finns på Norrbottensteatern i Luleå.

3.2.1 Sprinklersystem

Det enda befintliga sprinklersystemet som återfinns i Norrbottensteatern är lokaliserat till Scen 1 ovanför scenen. Övriga av de undersökta delarna är inte sprinklade. Under sprinklersystemet ovanför scenen är ett antal plywoodplattor upplagda. Varför detta är gjort framgick inte men det kan utan djupare analys konstateras att dessa plattor avsevärt försämrar sprinklersystemets verkan mot en eventuell brand. Bild 3.4 visar installationen. På bilden ses en av plywoodskivornas sidor. Plywoodskivan är placerad ovanför elektroniken och man ser tydligt de ljusa kanterna mot den i övrigt svartmålade plywoodskivan.

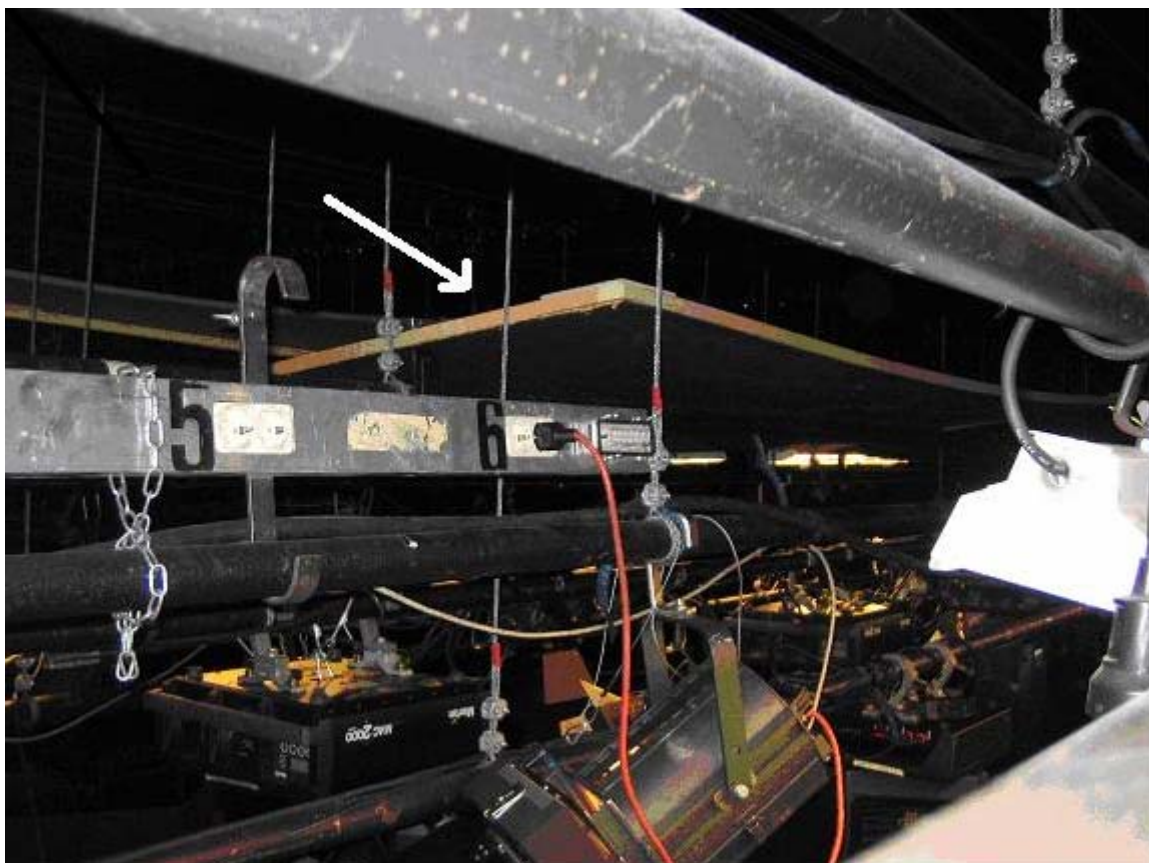


Bild 3.4 Plywoodskivor under sprinkler i Scen 1.

Vid besöket i Luleå medtogs ett sprinklerhuvud för att undersöka dess RTI-värde. Det är ett mått på sprinklernas termiska tröghet och ju högre ett RTI-värde är desto längre tid tar det innan sprinklern aktiveras. För sprinklerhuvudena gäller följande värden.

- RTI-värde motsvarande $103(\text{ms})^{1/2}$
- Aktiveringstemperaturen motsvarar 68°C

RTI-värdet erhöles från ett plunge-test (Holmstedt & Nilsson 2005). Sprinklern sänktes ner i varma gaser och tiden till dess att sprinklern aktiverades mättes. Beräkningar för RTI-värdet finns i bilaga E.

Sprinklercentralen är lokaliserad till korridoren som går till dekorförrådet. Intill sprinklercentralen finns en dörr som löper direkt ut i det fria vilket medför att centralen lätt kan nås av räddningstjänsten eller annan personal utifrån.

3.2.2 Brandlarmsystem

Brandlarmet är kopplat till Luleå Räddningstjänst. Brandlarmet är också kopplat till utrymningslarmet som består av ringklockor som är placerade på lämpliga ställen i teatern. Dessutom finns manuella larmknappar utplacerade på olika ställen i teatern för att starta utrymningslarmet. Centralapparaten är placerad på samma ställe som sprinklercentralen. Det finns både värme- och rökdetektorer. Rökdetektorerna återfinnes i korridorerna i teatern samt i scenlokalerna. Vidare finns rökdetektorer i alla utrymmen på plan 4, alla utrymmen på plan 3, klädförrådet på plan 2 samt samtliga korridorer på plan 2. Värmedetektorerna återfinnes framför allt i foajén och köket på plan 1.

3.3 Systematiskt brandskyddsarbete

Teatern har inget fullständigt dokumenterat systematiskt brandskyddsarbete enligt meddelande från Räddningsverket. Norrbottensteatern saknade vid brandsynstillfället dokumentation över genomförda egenkontroller, främst av de tekniska installationerna. Personalen har fått utbildning i grundläggande brandskydd, vilket inkluderar hantering av handbrandsläckare. Detta gjordes i samarbete med Luleå Räddningstjänst.

3.4 Övrigt

Vid besöket informerade personalen att två stycken brandvakter skall finnas på plats under föreställningen. Dessa har bland annat till uppgift att informera om utrymningsvägar.

Författarna fick vid besöket intrycket av att skyltningen av nödutgångar var direkt rörig och i några fall övertäckt så att den inte syntes. Vidare ansågs brandsläckarnas placering vara direkt undermålig. Dessutom var en del av nödutgångarna och utrymningsvägarna blockerade, se bild 3.8. Inte heller förfogar Norrbottensteatern över någon utrymningsplan. Bilderna 3.5-3.10 nedan och på nästa sida illustrerar ett par exempel som understryker allvaret i texten ovan.



Bild 3.5 Övertäckt handbrandsläckare



Bild 3.6 Övertäckt utrymningsskylt



Bild 3.7 Övertäckt utrymningsskylt.



Bild 3.8 Bråte i utrymningsväg.



Bild 3.9 Svåråtkomlig handbrandsläckare.



Bild 3.10 Gammal skylt.

4 Riskinventering

Norrbottnesteatern är, som tidigare nämnts, en mycket stor anläggning och det kan vara svårt att få en övergripande bild av riskerna som finns. För att på ett tydligt sätt redogöra för hur riskanalysen tillkommit inleds denna med en riskinventering av verksamheten.

Riskinventeringen syftar till att ge en överblick av de scenarier som kan tänkas uppträda i verksamheten och byggnaden. Den ligger till grund för det fortsatta arbete som utförs i samband med en riskanalys. Metoden är kvalitativ vilket innebär att sannolikhetsberäkningar och andra beräkningar eller data inte utförs respektive används utan endast en subjektiv värdering för att skapa en bild av verksamhetens risker görs.

I rapporten indelas riskerna utifrån var i byggnaden de kan tänkas uppträda då detta ger en bra och strukturerad bild av vilka scenarier som kan uppkomma och var de är lokaliserade. Scenarierna redovisas i listan nedan.

Då den mänskliga faktorn liksom elektriska fel är vanliga orsaker till att bränder uppkommer (Abrahamsson, 1998) är det i huvudsak dessa två brandorsaker som återfinns i riskinventeringen. Under respektive rubrik nedan återges tänkbara scenarier.

Scen 1 (A)

- A1 Brand i mixerbord
- A2 Brand i scen – kuliss
- A3 Brand i elektronikrummet på 3:e vån
- A4 Brand i elektronik i taket
- A5 Brand bakom kulisser (bakom scen)
- A6 Brand i bråte under stolar
- A7 Brand i passage
- A8 Brand i stolar

Dekorförråd (B)

- B1 Brand i kläder
- B2 Brand i rekvisita

Scen 2 (C)

- C1 Brand på scen
- C2 Brand i stolarna
- C3 Brand i dekor
- C4 Brand i mixerbord
- C5 Brand i elektronik i taket

Förråd 166 (D)

- D1 Brand i kylskåp

Fojé (E)

- E1 Brand i papperskorg på toaletten
- E2 Brand i köket
- E3 Brand i gardin
- E4 Brand i vävkonstverk på vägg
- E5 Garderobsbrand
- E6 Brand i kopiator i reception

Scen 3 (F)

- F1 Brand på scen
- F2 Brand i stolarna
- F3 Brand i dekor
- F4 Brand i mixerbord
- F5 Brand i elektronik i taket
- F6 Brand i bar (anordning för tillagning/värmning av mat)

Smide (G)

- G1 Brand i metallsvav
- G2 Brand orsakad av svetsning

Snickeriet (H)

- H1 Brand i hyvel
- H2 Brand i såg

Soprum / Garage (I)

- I1 Brand i pappåtervinning
- I2 Brand i bil

Skrädderi / Tvätt (J)

- J1 Brand i symaskin
- J2 Brand i torktumlare
- J3 Brand i tvättmaskin
- J4 Anlagd brand i skrädderiet

Attributverkstad (K)

- K1 Brand i frigolit

De scenarier som presenterats är de som anses aktuella i verksamheten utifrån de avgränsningar som gjorts. Scenarierna skall i nästa kapitel analyseras grovt för att utröna vilka som kan vara aktuella för en noggrannare analys.

5 Riskidentifiering

Den riskinventering som utfördes i föregående kapitel ligger till grund för den följande riskidentifiering som presenteras i detta kapitel. I riskidentifieringen ingår grovanalys samt en fördjupad grovanalys, vilka syftar till att utröna vilka brandscenarier som bäst beskriver de faktiska förhållande som råder på Norrbottensteatern

5.1 Grovanalys

En grovanalys syftar till att på ett kvalitativt sätt kartlägga de risker som finns inom en verksamhet. Grovanalysen bygger på att samtliga scenarier som återfinnes i riskinventeringen analyseras för att på så sätt utröna vilka som representerar verkligheten. Analysen fokuserar bland annat på effektutveckling, spridningsförlopp, tid till upptäckt samt inverkan på utrymning.

5.1.1 Scen 1

Brand i mixerbord (A1) kan ses som en trolig antändningskälla och då den är belagd strax bakom publiken är det ett angeläget scenario eftersom det är troligt att spridningen blir väldigt snabb och därmed påverkar utrymningen. Brand i elektronikrummet (A3) kan inte ses från scenen och därmed kan branden förväntas bli fullt utvecklad innan den upptäcks. Brandgasutvecklingen riskerar att bli stor eftersom det kan röra sig om en fullt utvecklad brand. I både fall A1 och A3 kan kritiska förhållanden förväntas uppkomma snabbt och är därför av intresse för vidare analys i den fördjupade grovanalysen.

Den största risken för brand på scen (A2) infaller vid föreställning. Detta innebär att det hela tiden kommer att vara människor närvarande vilket medför snabb upptäckt. Därmed kommer utrymning att ske i det tidiga skedet av branden och dessutom finns en stor chans till släckning vilket innebär att utrymningen av lokalen kan förväntas ske utan några allvarliga förhinder. Dessutom finns ingen överhängande risk för snabb spridning från scen eftersom inga draperier i regel används vid föreställningarna. Med anledning av ovanstående kommer scenariot inte att analyseras vidare.

Startar en brand i elektroniken i taket bör rökdetektorerna snabbt aktivera och möjliggöra en tidig utrymning. Även sprinklerystemet kan eventuellt tänkas utlösa och sannolikt släcka branden och därmed förhindra spridning. Scenario A4 kommer därför inte att utredas närmare.

Stolarna som utgör publikens sittplatser är uppbyggda av ställningar vilket medför att det bildas ett utrymme inunder. Där fanns vid besöket en mängd material främst bestående av trä. Vid uppkomst av brand i detta utrymme kommer brandgaser att komma ut rakt bland publiken. Det är mörkt i rummet och det finns risk att brandgaserna till en början uppfattas som en del av föreställningen, som någon slags teaterrök. Detta medför att varseblivningstiden blir lång. Det finns även risk för stor effektutveckling och ett relativt snabbt brandförlopp, syretillgången är också väldigt god. Lågor kan komma att slå upp under stolarna och spridas under dessa. A6 är ett scenario vars konsekvenser kan bli oerhörda och en utförligare analys är därför en nödvändighet. Scenario A8 innebär brand i stolarna och kan anses inkluderat i scenario A6 varför det inte kommer att vidare analyseras.

En brand i passagen (A7) skulle blockera två utrymningsvägar. Den begränsade mängden brännbart material och att takhöjden är i likhet med normal rumshöjd med två rökdetektorer monterade i taket gör att detektion bör ske tidigt, långt innan branden spridit sig vidare till någon av scenerna 1 och 2. Utrymning bör kunna ske utan problem innan branden spridit sig, särskilt som passagen inte ingår i samma brandcell som scenerna. Nämda faktorer bidrar till att scenariot inte är intressant för djupare analys.

5.1.2 Dekorförråd

I dekorförrådet finns mycket brännbart material, framför allt kläder. Förutsättningar för ett snabbt brandförlopp föreligger och om en brand uppstår finns risk att denna inte upptäcks tidigt utan kan förväntas bli fullt utvecklad. Börjar branden i kläderna kommer den troligtvis sprida sig snabbt till rekvisitan och vice versa. Visserligen är dekorförrådet avskilt från Scen 1 via brandcellsörrar men då kläder och annat behövs på scen kommer dörrarna att öppnas ofta. Således kommer dessa scenarier (B1 och B2) att utredas närmare som ett enda fall.

5.1.3 Förråd 166

Vad gäller förråd 166 kan en brand mycket väl inträffa på grund av antändning av kylskåpet som ett resultat av ett elektriskt fel. Utrymmet är relativt begränsat samt frekvent använt och det skulle kunna anses att branden upptäcks tidigt. Vidare finns inte heller annan lättantändlig materiel i någon stor omfattning vilket innebär att spridningen skulle bli begränsad. Rummets placering är dock sådant att om en brand skulle utbryta där kan det vid öppnandet av dörren in till Scen 1 eller Scen 2 innebära en väldigt snabb spridning av branden in till dessa lokaler. Ett sådant scenario anses vara så pass allvarligt att det är aktuellt för vidare analys.

5.1.4 Foajé

Foajén är belägen på sådant sätt att samtliga scener förbinds med den. Detta gör att platsen får betraktas som kritisk sett ur utrymningssynpunkt. Utrymmet hyser garderob, reception, toalett samt restaurang med tillhörande kök. E5 är ett scenario som både är troligt samtidigt som brandförloppet är väldigt snabbt och skulle få stora konsekvenser för utrymningen av teatern. Scenariot kräver på grund av nämnda anledningar vidare analys. Vad gäller toaletten finns det studier som visar på att många anlagda bränder i publika lokaler eller inrättningar startar på toaletten. Scenario E1 kan därför inte uteslutas på grund av hur vanligt förekommande det är. Däremot kan det uteslutas eftersom det inte är troligt att brandens effekt blir så pass stor att spridningen blir sådan att utrymningen av inrättningen skulle påverkas nämnvärt. En brand i köket (E2) kommer troligen att spridas till foajén genom den restaurangdel som finns. Anledningen till detta är att det inte finns någon god avgränsning mellan lokalerna. Då köket endast används när det är personal på plats anses de vanligaste bränderna upptäckas närmast direkt. Detta gör att de troligen släcks omedelbart. Eftersom det kritiska för utrymning är eventuell spridning till foajén och detta redan innefattas av scenario E5 kommer inte någon vidare analys av scenariot att vara aktuell. Av samma anledning kommer inte heller scenario E3, E4 samt E6 att vidare behandlas.

5.1.5 Scen 2

Scen 2 innehåller mycket brännbart material vilket medför snabba brandförlopp. Lokalen inhyser en stor mängd gäster vilka troligtvis har sämre lokalkännedom. Relevanta brandkällor som elfel, brand i mixerbord och anlagd brand gör att brand i Scen 2 bör utredas mer. På grund av att C1, C2, C3 samt C4 antas påverka utrymningen på liknande sätt bakas dessa ihop på så sätt att endast en allmän brand i Scen 2 utreds. Vad gäller C5 är det troligt att denna brand upptäcks så pass snabbt att den inte hinner utvecklas innan utrymningen av lokalen är avklarad. Detta medför att scenariot ej behöver analyseras vidare.

5.1.6 Scen 3 (Mobilen)

Scen 3 innehåller mycket brännbart material vilket medför snabba brandförlopp.

På samma sätt inhyser lokalen gäster som har dålig lokalkännedom samt på grund av sociala faktorer kan tänkas ha mycket lång reaktionstid. Relevanta brandkällor som elfel, brand i mixerbord, anlagd brand och brand i provisorisk bar med uppvärmning av mat och kyl, gör att brand i mobilen bör ingå i den djupare analys som genomföres i nästa kapitel. Precis som för Scen 2 bakas scenario F1 till F4 samt F6 ihop till att endast utredas för fall F6 som får representera de övriga. F5 utreds inte vidare då denna brand troligtvis blir upptäckt så pass snabbt att den inte hinner utvecklas innan utrymningen av lokalen är avklarad.

5.1.7 Snickeri

Risken att en brand startar i hyveln (H1) eller sågen (H2) är troligtvis relativt stor. Det finns dessutom mycket lättantändligt och brännbart material i rummet. Störst sannolikhet att branden startar i maskinerna är när de används. Då brandsläckare finns tillhands förutsätts personalen kunna släcka branden i ett tidigt skede, och om så behövs varna de andra exempelvis via larmknappen på väggen i rummet. Snickeriet är en egen brandcell vilket medverkar till att begränsa branden. Det verkar som goda rutiner råder för att ha brandcellsdörrarna stängda här. På grund av ovanstående utreds inte dessa två scenarier vidare.

5.1.8 Soprum/Garage

Soprummet är en egen brandcell. En brand som exempelvis startar i pappersåtervinningen (I1) eller i garaget (I2) kommer att kunna ta sig obemärkt, det är dock troligt att den kommer att begränsas till detta utrymme i ett inledande skede.

Eftersom det finns en detektor i garaget kommer branden troligtvis att upptäckas tidigt. Då rummen är förlagda till bottenplan och alla berörda personer i intilliggande lokaler med stor sannolikhet har god lokalkännedom bör utrymning kunna ske på ett tillfredsställande sätt. Således utreds inte scenarierna vidare.

5.1.9 Skrädderi/tvätt

Att en brand startar i torktumlare (J2) eller tvättmaskin (J3) är relativt troligt. Att en brand startar i symaskin (J1) eller anlagd brand (J4) är också onekligen tänkbart, men det är svårt att skatta hur troligt. Eftersom berörda personer har god lokalkännedom, samt troligen upptäcker branden i ett tidigt skede, bedöms deras säkerhet inte vara i någon större fara. Dessutom är det troligt att en anlagd brand inträffar vid en tidpunkt då det inte bedrivs någon verksamhet i byggnaden vilket gör att scenariot faller utanför de avgränsningar som gjorts av gruppen i inledningen. Utanför Skrädderi/tvätten finns rökdetektor och larmdon i korridoren. Alltså bör övriga personer i byggnaden ha en tryggad utrymning innan spridningen blir allt för omfattande. Således utreds inte dessa fall mer.

5.1.10 Attributverkstad

I attributverkstaden är det främst risk för att det material som lagerförs i lokalen, exempelvis frigolit, börjar brinna. En rökdetektor sitter precis utanför rummet. Detta medför att en brand i frigolit (K1) antingen upptäcks av någon som befinner sig i verkstaden eller att rökdetektorn larmar. Utrymning uppskattas på grund av detta ske innan kritiska förhållanden uppstår. Således utreds inte dessa fall mer.

5.2 Fördjupad grovanalys

Den fördjupade grovanalysen syftar till att ytterligare analysera de risker som bedömts som intressanta i grovanalysen. Analysmetodiken bygger på frågeställningen ”vad händer om”, och används för olika scenarier för att på ett vedertaget sätt rangordna de risker som finns. Målet är att det efter den fördjupade grovanalysen endast ska finnas ett fåtal scenarier kvar som är intressanta i fråga om trolighet och konsekvens. Dessa scenarier kan sedan undersökas vidare med hjälp av bland annat beräkningar och simuleringar.

5.2.1 A1 – brand i mixerbord

En eventuell brand bedöms upptäckas omedelbart varvid en snabb utrymning av lokalen kan ske. Detta medför att scenariot inte uppskattas innebära en så pass allvarlig konsekvens att en några beräkning kan vara aktuella. Relativt enkla åtgärder kan minimera risken för att en brand skall spridas från mixerbordet och därför kommer ett kvalitativt åtgärdsförslag presenteras (se kapitel 15 *Åtgärdsförslag*).

5.2.2 A3 – brand i elektronikrum

Om en brand uppkommer i elektronikrummet kan brandgaserna spridas ut ur rummet in till angränsande Scen 1 eftersom dörren in till elektronikrummet inte går att stänga på grund av att kablar lagts i vägen för dörren. Detta medför en nedsättning av rummets skydd mot brandspridning. Vad händer om brandgaserna sprids till scenen? Brandgaserna blir väldigt svåra att upptäcka för publik och personal då det är mörkt i lokalen under föreställning. Det finns dock rökdetektorer placerade i scentaket vilka troligtvis detekterar branden tidigt på grund av den korta sträcka som brandgaserna måste transporteras. Således varnas personal och publik och kan utrymma innan kritiska förhållanden inträffat.

Vid besöket var nödutgången från mötesrummet/biblioteket låst, vilket vid en brand skulle kunna få allvarliga följder. Detta kommer dock diskuteras vidare i kapitel 14.6 *Elektronikrummet* samt i kapitel 15 *Åtgärdsförslag*, och enligt den tidigare diskussionen kommer scenariot inte analyseras vidare.

5.2.3 A6 – brand under stolar

Då branden utbryter under åhörarna minskar chansen för en initial upptäck. Detta eftersom åskådarna eller personalen troligen inte fäster någon större uppmärksamhet vid vad som sker under åskådarplatserna. Dessutom är det sannolikt att publiken tror att lukten av brandgaser ingår i showen och därför inte uppmärksammar elden. Branden kan därför eventuellt hinna ta sig ordentligt innan den upptäcks vilket bedöms som väldigt allvarligt. Hela scenariobilden anses som så pass allvarlig att vidare analys genom beräkningar är nödvändigt.

5.2.4 B1 och B2 – brand i dekorförråd

En brand som startar i detta utrymme kommer att växa snabbt och bli omfattande med en hög effektutveckling som följd. Branden kan antingen börja i scenkläderna eller i rekvisitan. I värsta fall kan branden förbli oupptäckt och växa till sig för att först upptäckas om någon öppnar dörren in till dekorförrådet vilket medför att stora mängder brandgaser kan välla in i Scen 1. Öppnandet av dörren kan bidra till att stora delar av scenen antänds på mycket kort tid. Brandgaserna kommer troligen att sprida sig vidare till trapphuset och eventuellt till logekorridoren, eftersom branddörrarna vid besöket var uppställda. Detta är naturligtvis ett mycket allvarligt scenario men då de största konsekvenserna uppstår vid föreställning och det då troligen hela tiden finns personal i lokalen som därmed tidigt kan upptäcka branden, kommer det inte analyseras vidare kvantitativt. En kvalitativ åtgärdsbedömning kommer dock

göras för att så långt som möjligt förhindra att detta scenario uppkommer (se kapitel 14.7 *Dekorförrådet* samt kapitel 15 *Åtgärdsförslag*).

5.2.5 C – allmän brand Scen 2

Scen 2 är en lokal som rymmer mycket folk med dålig lokalkännedom. Inredningen kan orsaka snabba brandförlopp med hög effekt. Detta i kombination med att det finns många och troliga antändningskällor gör att en brand i lokalen bör utredas mer.

5.2.6 D1 – brand i kylskåp

Branduppkomst genom elfel är som tidigare nämnts relativt vanligt. Om en sådan brand skulle ta sig och inte upptäckas skulle den kunna sprida sig till Scen 1 eller Scen 2 och då initiera en stor brand med snabbt brandförlopp i någon av dessa lokaler. Det är dock sannolikt att det rör sig ganska mycket folk i förrådet under tider då verksamhet pågår och på så sätt kommer antagligen en brand upptäckas innan den får allvarliga konsekvenser för utrymningen av Scen 1 eller Scen 2. Vid en brand är det dessutom rimligt att detektorn i trapphuset detekterar branden eftersom dörrarna i regel står öppna, något som i och för sig inte är bra eftersom det motverkar den brandcellsindelning som gjorts. De allvarliga konsekvenser som D1 kan få kan anses ingå i scenarierna A6 och C och kommer således tas upp under analys av dessa därför inte genom beräkningar som enskilt fall.

5.2.7 E5 – brand i garderob

Brandförloppet i garderoben skulle med största sannolikhet bli väldigt snabbt vilket medför att ingen av scenerna skulle hinna utrymmas innan kritiska förhållanden uppnås i foajén, vilket omöjliggör utrymning åt det hållet. Problem kan uppstå om publiken på någon av scenerna trots allt påbörjar utrymning mot entrédörrarna och sedan tvingas vända. Resultatet blir en kork i dörröppningen mellan scen och foajé vilket medför att brandgaser från foajén kan strömma obehindrat in i scenutrymmena. Ovanstående resonemang visar på att scenariet i fråga är ett av de absolut allvarligaste och det kommer därför att utredas vidare med hjälp av beräkningar och simulering.

5.2.8 F4 – brand i mixerbord

En brand i mixerborden på Scen 2 eller Scen 3 kommer troligtvis att upptäckas nästan omedelbart vilket medför att en utrymning kan ske relativt snabbt innan kritiska förhållanden uppnås. Relativt enkla åtgärder kan minimera risken för att en brand skall spridas från mixerbordet och därför kommer ett kvalitativt åtgärdsförslag presenteras (se kapitel 15 *Åtgärdsförslag*).

5.2.9 F6 – brand i bar

Brand i baren (anordning för tillagning/värmning av mat) skulle ge stora konsekvenser för Scen 3 eftersom branden snabbt skulle kunna spridas på grund av en hög effektutveckling och därmed en hög strålning till intillstående stolar och bord. Eftersom Scen 3 påminner mycket om Scen 2 vad beträffar geometri, brännbart material etc. kommer scenariot inte att utredas genom beräkningar utan innefattas i scenario C .

5.2.10 Slutsats

De scenarier som kommer att utredas vidare är brand i garderoben, brand under stolarna i Scen 1 samt brand på Scen 2. Därmed är övriga scenarier färdiganalyserade och kommer inte att behandlas ytterligare. Däremot kommer förslag på åtgärder, vilka kan minska riskerna, ges. Åtgärdsförslagen presenteras i kapitel 15 *Åtgärdsförslag*.

6 Brandscenarier

Detta kapitel syftar till att ge en fördjupad bild av de brandscenarier som valts utifrån den fördjupade grovanalysen. Effektutveckling, ventilation etc. kommer att studeras.

6.1 Effektutveckling

Nedan presenteras aktuella effektkurvor för scenarierna *Scen 1- brand under stolar*, *Brand på Scen 2* samt *Brand i garderob*. Effektkurvan ligger till grund för de beräkningar och simuleringar som presenteras i kapitel 8 *CFAST-simuleringar* och är därför en viktig del av arbetsprocessen.

6.1.1 Scen 1 – brand under stolar

I Scen 1 kan sittplatserna bl.a. byggas upp i ett lutande plan som lämnar ett stort öppet utrymme under stolarna. I det öppna utrymmet lagras de delar av den ombyggbara scenen som inte används för tillfället. De består till största del av trä och som en förenkling anses delarna motsvara lastpallar. Brandscenariot som valts att analyseras innebär en anlagd brand i detta trämaterial eller andra troliga antändningskällor.

NIST utförde 1996 ett försök där sex staplade lastpallar eldades (<http://fire.nist.gov/fastdata/>). Denna försöksupställning liknar till stor del det valda scenariot och därför kommer effektutvecklingskurvan (se diagram 6.1) från försöket användas vid senare beräkningar och simuleringar.

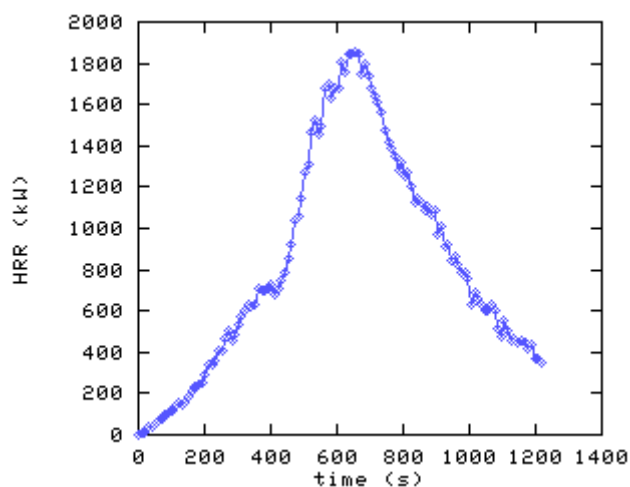


Diagram 6.1 Effektutvecklingskurva för brand under stolarna i Scen 1, lastpallar.

Det som kommer att studeras är mängden brandgaser som alstras, deras temperatur och spridning. Fokus ligger på att finna tidpunkten när de kritiska förhållanden för utrymning infinner sig. Därför kommer inte antändningstidpunkt för ovanliggande stolar analyseras. Då dessa börjar brinna bör utrymning redan vara avslutad.



Bild 6.1 Stolar i Scen 2.

Scen 1 är uppbyggd på samma sätt som Scen 2, se bild 6.1. Det är i mellanrummen i trappan och under stolarna, vid besökarnas fötter, som brandgaserna kommer att strömma ut. En del brandgaser kommer även att strömma ut vid sidorna och in i utrymningsvägarna, vilket kan försvåra utrymning.

6.1.2 Brand på Scen 2

Då Scen 2 och Scen 3 är av ungefär samma storlek kommer endast ett scenario undersökas. Scenariot som valts är en brand på scenen. Efter diskussion av olika möjliga scenmöblemang ansågs två tresitssoffor utgöra en tänkbar scenuppbyggnad som vid brand skulle ge en hög brandeffekt.

För att få en trolig effektkurva har en αt^2 -kurva anpassats. Enligt den rekommendation som ges för underhållningslokal i tabell 3.7 i Enclosure Fire Dynamics, (Karlsson & Quintiere, 2000) sätts α -värdet till ultra fast, $\alpha = 0,2 \text{ kW/s}^2$.

Två tresits-soffor motsvarar en brandeffekt på 6MW enligt Initial Fires, (Särdqvist, 1993) försök Y5,4/12-13 eller ungefär 1700 kW/m^2 för en area på 4 till 5 m^2 enligt Enclosure Fire Dynamics, (Karlsson & Quintiere, 2000) tabell 3.6. I analysen kommer den maximala effekten antas vara konstant, ingen hänsyn till spridning eller avsvälning kommer att tas. Anledningen till detta är att det inte är aktuellt med avseende på utrymning. Den effektutvecklingskurva som använts ses i diagram 6.2.

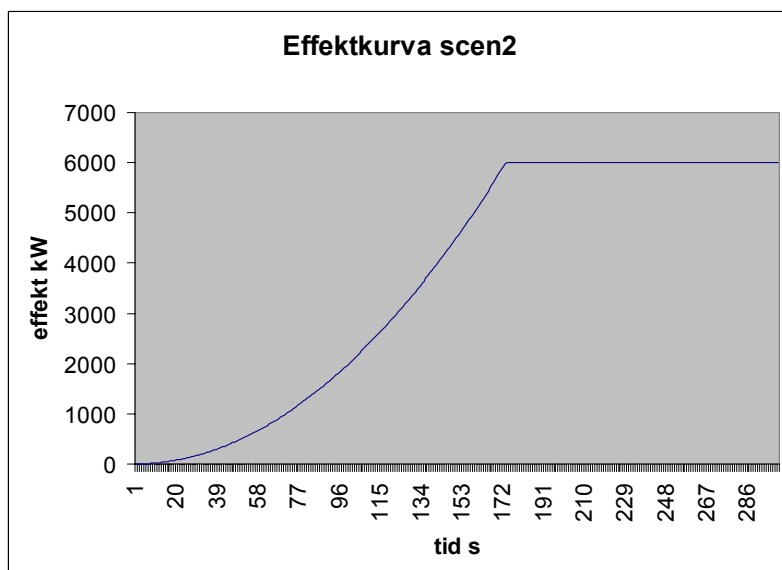


Diagram 6.2 Effektutvecklingskurva för brand i Scen 2, två soffor.

6.1.3 Brand i garderob

I garderoben (se bild 6.2) finns totalt 440 galgar och en kall vinterkväll i Luleå kan dessa komma att fyllas med tjocka jackor och andra värmande plagg. Kontentan är att det i garderoben finns en mängd brandfarligt material som vid brand producerar mycket brandgaser. Antändningskälla i detta scenario föreställs vara att en av personerna i publiken lagt en inte helt släckt fimp i fickan på sin jacka.



Bild 6.2 Garderoben.

Effektutvecklingskurvan för simulering av brand i garderoben utgår från Björn Johanssons examensarbete *Analys av utrymningssäkerheten vid brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå* (2004). Vid simuleringarna används dels den effektkurva, som är experimentellt framtagen för 105 jackor, se nedan diagram 6.3 och en effektkurva för så många jackor som kan anses troligt, se diagram 6.4.

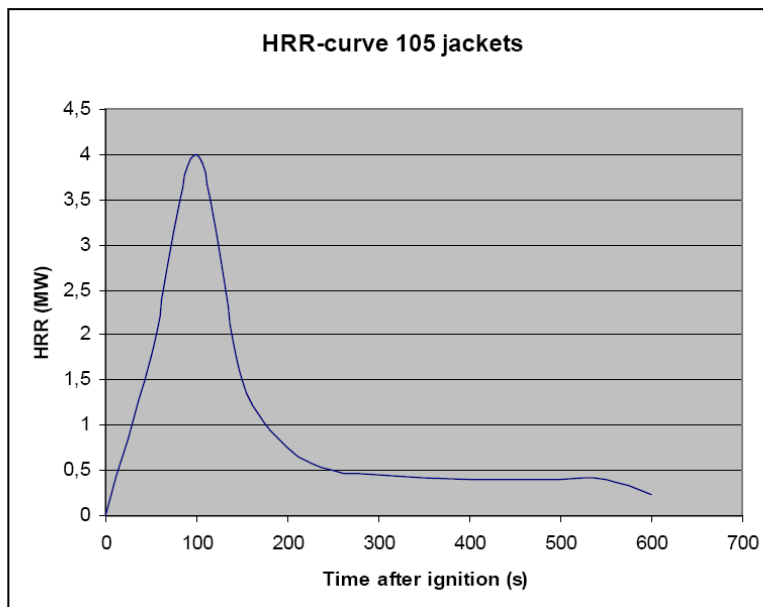


Diagram 6.3 Effektutvecklingskurva för brand i garderoben, 105 jackor.

Det är mycket troligt att det är mer än hundra jackor i garderoben. Dels har garderoben över fyrahundra galgar, och dels är det är mycket troligt att folk tar med både mössor, halsdukar och kanske till och med termobyxor. Detta innebär troligen ingen ökad spridningshastighet mellan jackorna, men en högre effekt och större brandbelastning. En sådan effektkurva har diskuterats fram och skulle kunna se ut enligt den i diagram 6.4.

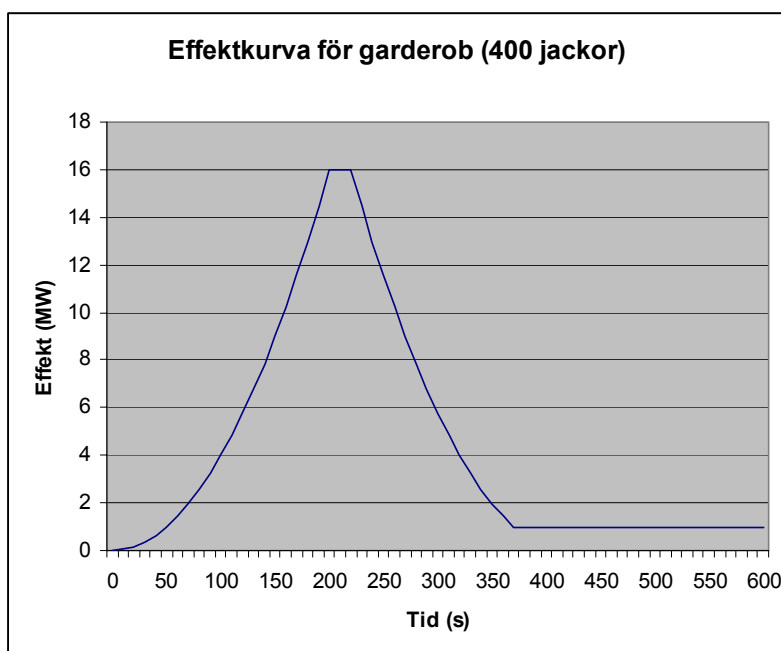


Diagram 6.4 Effektutvecklingskurva för trolig brand i garderob, ca 400 jackor och andra plagg.

6.2 Ventilationen i aktuella lokaler

En aspekt vid utrymnings säkerhet är att undersöka hur brandgaser sprids via ventilationssystem. Ventilationen för de olika scenarierna kommer att utredas nedan.

6.2.1 Scen 1

Ventilationen i Scen 1 sköts av ett eget system vars don består av 29 stycken 500*200 mm tilluftsdon på en höjd av ca 2,5 meter över golvet och fyra stycken 800*800mm frånluftsdon i taket. Luftbytet är 7000 till 14000 kubikmeter per timme. Någon risk för rökgasspridning till andra brandceller genom ventilationen anses inte föreligga då cellen har sitt eget ventilationssystem. Enligt de tillgängliga ventilationsritningarna är systemet uppbyggt för att använda återluft. Återluft innebär att en del av frånluften pumpas in i lokalen igen, det vill säga blir tilluft igen. Det framgår inte av ritningarna, men troligtvis finns en stoppventil som ska stänga av tilluften från frånluften om den senare för med sig brandgaser. Finns ingen stoppventil eller om den fungerar dåligt föreligger stor risk att brandgaser kan komma att ventileras in till Scen1 igen efter att de har ventilerats ut. Med avseende på brand kan det faktum att frånluftsdonen är placerade ovanför publiken medföra att brandgaser från scenen dras mot publiken. Detta fenomen anses inte vara av någon större betydelse för de i rapporten valda scenarierna då brandgaser kommer upp vid sittläktaren.

6.2.2 Scen 2

Ventilationen i Scen 2 är utformad som ett eget system bland annat bestående av 21 stycken 500*200 mm och två stycken 700*250 mm tilluftsdon på en höjd av ca 2,5 meter över golvet samt två 600*800 frånluftsdon i taket. Luftbytet är 4000 till 8000 kubikmeter per timme. Risk för rökgasspridning till andra brandceller genom ventilationen anses inte föreligga då cellen har sitt eget ventilationssystem. Utifrån de ventilationsritningar som funnits tillgängliga har det inte gått att utröna hur systemet är uppbyggt. Troligtvis är det utformat på samma sätt som ventilationssystemet i Scen1 och det är tänkbart att de nyss utventilerade brandgaserna åter kommer in i lokalen.

6.2.3 Foajén

Ventilationen för foajén, köket, förråd 166 och toaletterna på plan ett tillhör samma ventilationssystem. Vid garderoben finns sex frånluftsdon, i övriga delen av foajén finns ytterligare två frånluftsdon samt två tilluftsdon. Tilluften är 1600- 8500 kubikmeter per timme och frånluften är från noll till 6750, den övriga luften tas från köket, toaletterna och förråd 166. Risk för rökgasspridning till andra brandceller genom ventilationen anses inte föreligga då cellen har sitt egna ventilationssystem. Vid scenarioberäkningarna antas frånluften i garderoben till noll, då det ändå inte är någon påtaglig risk för spridning den vägen.

7 Utrymning

BBR ger ett antal olika råd vad gäller utformning av utrymningsvägar och nödutgångar. Dessa råd grundas på det antal personer som får vistas i den aktuella lokalen. På Norrbottensteaterns scener får det maximalt vistas 400 (Scen 1), 200 (Scen 2) samt 200 (Scen 3) personer. Detta ger ett totalt antal besökare på 800 personer. Det är dock inte troligt att alla scener används samtidigt och det är heller inte troligt att lokalens maximala besöksantal uppfylls, exempelvis går det bara in 320 sittande gäster på Scen 1. Dörrbredder och utrymningsvägar måste trots det utformas efter maximalantalet.

7.1 Råd enligt BBR

I samlingslokaler ska utrymningsvägarna dimensioneras för det maximala antal personer som får vistas i lokalen (BBR 5:371). För att ett fullgott personskydd skall erhållas ställs krav på avstånd till och bredder på utrymningsdörrar. Enligt BBR krävs vissa minimimått för utrymningsbredden för en lokal vad gäller dess dörrar. BBR 5:341 säger att en utrymningsväg minst skall vara 0,9 meter bred och 2,1 meter hög. Vidare skall dörröppningen minst ha 0,8 meter fri bredd och 2,0 meter fri höjd. I brandceller där personantalet överstiger 150 krävs en dörrbredd på minst 1,2 meter för varje utrymningsväg. Den totala utrymningsbredden skall vara 1,0 meter per 150 personer. Vidare skall bredden hos dörrarna vara sådan att om den bredaste utrymningsdörren blockeras skall de övriga ha en dörrbredd som motsvarar 300 personer per meter. För Norrbottensteatern gäller att längsta gångavstånd från någon plats i lokalen inte får överstiga 30 meter. Reglerna kommer nedan att jämföras med den aktuella situationen på Norrbottensteatern.

7.1.1 Scen 1

Vad gäller Scen 1 är den totala bredden på utrymningspassagerna $1,2 + 1,2 + 1,8 = 5,2$ meter. I lokalen får det vistas högst 400 personer vilket innebär att det bör vara en dörrbredd på $400/150 = 2,67$ meter. Eftersom den totala dörrbredden är 5,2 meter klarar lokalen de råd som anges. Vid eventuell blockering av den bredaste dörren blir den kvarvarande dörrbredden $1,2 + 1,2$ meter. Multipliceras detta med 300 personer fås $(1,2 + 1,2) * 300 = 720$ vilket medför att lokalen också efterföljer vedertagna råd vid blockering av den bredaste utrymningsvägen. Vidare efterlevs rådet att den minsta enskilda dörrbredden för samlingslokaler med fler än 150 personer bör vara 1,2 meter.

Det längsta gångavstånd i Scen 1 som uppmättes var cirka 19 meter vilket innebär att de råd som finns i BBR 5:331 efterlevs.

7.1.2 Scen 2

I Scen 2 får det vistas 200 personer vilket innebär att det minst bör vara en total dörrbredd på $200/150 = 1,33$ meter. Den totala dörrbredden för Scen 2 är $1,8 + 1,2 = 4$ meter vilket betyder att gällande råd efterlevs. En blockering av den bredaste dörren medför att den återstående dörrbredden blir 1,2 meter. 1,2 meters dörrbredd motsvarar ett maximalt antal personer på $1,2 * 300 = 360$ personer. Detta gör att Scen 2 även uppfyller de råd som är knutna till vad som gäller vid blockering av den bredaste utrymningsdörren. Vad gäller minsta dörrbredd för samlingslokaler med fler än 150 personer efterlevs BBR:s råd för Scen 2.

För Scen 2 är det längsta gångavståndet 15 meter vilket medför att även Scen 2 klarar dessa råd.

7.1.3 Scen 3

För Scen 3 är maximalt antal personer angivet till 200. Den totala utrymningsbredden är $0,9 + 1,8 = 2,7$ meter. De råd som ges säger att den minsta totala dörrbredden bör vara $200/150 = 1,33$ meter. Eftersom den minsta dörrbredden för en utrymningsdörr skall vara 1,2 meter för gällande lokal och den i verkligheten är 0,9 meter efterlevs inte de råd som ges för dimensionering av passagemått i utrymningsväg. Rådet gällande blockering av den bredaste utrymningsvägen följs eftersom $0,9 * 300 = 270$.

Vid Scen 3 är det längsta gångavståndet cirka 25 meter vilket medför att rådet efterlevs.

7.1.4 Fojén (Garderob)

För fojén finns det inga generella råd men en rimlig total bredd på utrymningsdörrarna bör vara $800/150 = 5,33$ meter. Idag är den totala utrymningsbredden 3 meter.

Här är det längsta gångavståndet cirka 20 meter vilket medför lokalen klarar rådet i BBR.

7.2 Utrymningstider och kritiska förhållanden

En byggnad ska utformas så att tillfredsställande utrymning ska kunna ske vid brand, något som innebär att samtliga personer ska kunna utrymmas ut ur byggnaden eller till en säker flyktplats inom byggnaden (BBR 5:31).

Utrymning måste ske innan kritiska förhållanden uppstår, $t_{kritisk} > t_{utrymning}$. Detta gäller överallt i byggnaden. Den totala utrymningstiden brukar delas in i tre delar: varseblivningstid, besluts- och reaktionstid samt förflyttningstid (Utrymningsdimensionering, 2004). Det innebär att $t_{kritisk} > t_{varseblivning} + t_{beslut\&reaktion} + t_{förflyttning}$.

Varseblivningstiden är den tid det tar till dess branden upptäcks. Hur lång tid detta tar beror bland annat på om personen ser branden eller inte. Vid förekomst av ett automatiskt brandlarm med utrymningslarm kan dess aktiveringstid användas som varseblivningstid.

Besluts- och reaktionstiden är tiden som går från det att branden upptäckts till dess att förflyttningen precis ska påbörjas. Personen ska uppfatta att det brinner, fatta ett beslut och påbörja genomföringen av beslutet. Denna tid är svår att uppskatta och den beror av flera faktorer så som erfarenhet av liknande händelser, sociala faktorer och roller.

Förflyttningstiden beror på olika personliga förutsättningar så som ålder, handikapp, lokalkännedom etc. Dessutom påverkar yttre faktorer som exempelvis gångsträcka till utrymningsväg, dörrbredd och belysning.

När tiden till kritiska förhållanden ska bestämmas bör följande beaktas (Utrymningsdimensionering, 2004):

Parameter	Vad utrymnande personer får utsättas för.
Temperatur	Maximalt 80°C
Strålning	Strålningsintensitet på 10,0kW/m ² (några sekunder) Strålningsintensitet på 2,5kW/m ² (max 10 minuter)
Brandgaslagrets höjd	1,6 + 0,1xH meter över golvnivån (H är rumshöjden). Brandgasskiktet ska inte störa personer under utrymningen.

Sikt	Minst 5 meter i brandrummet och 10 meter i utrymningsvägarna. Ett sätt att lösa det är $siktbarhet\ i\ meter = 10/od$ (od är optisk täthet)
Toxicitet	CO < 2000 ppm CO ₂ < 5% O ₂ > 15%

I rapporten kommer endast brandgaslagrets höjd att användas som kritiskt förhållande. Med tanke på de stora lokaler som kommer att undersökas i rapporten är även sikten av intresse. Enligt BBR 5:361 innefattar dock höjdbräkningarna även siktbarheten och toxicitet.

7.3 Simulex

Simulex är ett datorprogram som beräknar förflyttningstiden för personer i en byggnad. Den tiden kan sedan jämföras med tiden det tar till dess att kritiska förhållanden uppstår, för att en uppskattning skall kunna göras om huruvida tillfredställande utrymning kan ske eller inte. I programmet kan CAD-ritningarna över en byggnad användas och de utgångar som önskas användas kan aktiveras. Sedan placeras det antal människor in som ska utrymma. För dessa kan olika egenskaper som storlek, kön, gånghastighet och framför allt reaktionstider väljas.

7.3.1 Allmänt

Norrbottnesteatern har automatiskt brandlarm, men det är nödvändigt med en avvägning huruvida detta aktiveras snabbare än att en person upptäcker branden och larmar via en larmknapp. Enligt säkerhetsåtgärderna ska skådespelarna vid larm avbryta föreställningen och se till att utrymningen påbörjas. De har en viktig roll, för om de vid larm fortsätter med föreställningen kommer troligtvis utrymningen att fördröjas avsevärt (Frantzich 2001). En fördröjning av utrymningen kan också orsakas av att ingen vill göra bort sig inför någon man inte känner. På en teater är flertalet i publiken obekanta med varandra och var och en kan tveka om att ta första steget att påbörja en utrymning (Frantzich, 2001). Personalen har kännedom om lokalen och har dessutom fått utbildning. Vid utrymning väljer personer företrädesvis den ingång de kom in igenom, det vill säga foajén.

I samtliga simuleringar valdes att betrakta medelpersoner med varierande kroppstorlek för att möjliggöra en simulering med en varierad publik. Gånghastigheten var 1,0 m/s då det var mycket folk och personerna inte kunde gå fritt. Vid simulering av garderobsbranden antogs att det fanns gäster i restaurangen. Även här varierades kroppstorleken. Besluts- och reaktionstiden för personerna på scen sattes till ca 20 sekunder längre än för publiken då personalen skulle se till att utrymningen påbörjades och fortlöpte.

7.3.2 Scen 1

Den första simuleringen av två för Scen 1 gjordes med 320 personer i publiken. 80 personer kunde endast utrymma genom att gå upp till andra plan och delades upp på de två trapphusen. 120 personer utrymde via entrén och 100 via de två nödutgångarna. 20 personer som placerats på balkongen, belägen på plan 2, utrymde via trapphus 1 till entrén.

Scen 1 har sluttande sittplatser och för att kompensera lutningen vid en utrymning lades två trappor in mellan plan 1 och plan 2. Det lutande stolsplanet antogs vara 11 m lång (radernas maxhöjd = 3m, radernas bas = 11m). Simuleringen utformades så att del av besökarna endast kunna välja de övre utrymningsvägarna, de var därmed tvungna gå till trappans början, och sedan upp och ut genom nödutgången på plan 2.

Trapporna i trapphusen antogs ha en lutning av 30°, höjden mellan planen antogs vara 3 m. Detta gav en trapplängd på 6 m. Då trapporna var något svängda lades en meter till på trapplängden. Trapporna i simuleringen var alltså 7 m långa.

Tiderna har bestämts med hjälp av beräkningar (se bilaga B) och litteratur. För att få fram en varseblivningstid har det utgått från att publiken kommer att reagera när 60°C varma brandgaser når deras fötter (SFPE, 1995). Beräkningarna har gjorts med hjälp av Heskestads plymekvationer (Karlsson & Quintiere, 2000). Höjden har satts till 3 m, vilket är det maximala avståndet mellan golv och sittplatser, då det mesta av det staplade materialet fanns i de bakre delarna av utrymmet. Den effektiva förbränningen, Q_c , har antagits vara 70% av den totala effekten då materialet är trä. Resultatet av beräkningarna visade att en temperatur på 60°C uppnås då brandens effekt är 63 kW. Enligt effektkurvan för Scen1 sker detta efter ca 40 s. Enligt Frantzich (2001) har en person som inte ser branden en besluts- och reaktionstid på ca 1 min. Detta ger en total tid på 100s innan förflyttning påbörjas.

De tider som använts i simuleringen är därför:

- Varseblivningstid 40 s

- Besluts- och reaktionstid 60 s

För att simulera en föreställning placerades 10 personer på scenen varav hälften utrymde via nödutgångarna och hälften via entrén.

- Varseblivningstid 40 s

- Besluts- och reaktionstid 80 s

Den andra simuleringen gjordes för att se hur lång tid en utrymning tar om endast den ”kända” vägen ut via foajén används. Detta kan också motsvara en situation då båda nödutgångarna är blockerade. Personantalet var detsamma men skådespelarna sattes att ha samma besluts- och reaktionstid som publiken. Resultaten av simuleringarna presenteras under kapitlet *10.1.1 Scen 1*.

7.3.3 Scen 2

För scenariot brand i Scen 2 gjordes två simuleringar där publiken hade tillgång till olika utgångar. I den första simuleringen kunde samtliga utgångar användas och i den andra kunde utrymning inte ske via nödutgången. Personantalet i publiken och på scen var detsamma i de båda simuleringarna. Publiken antogs utgöras av 130 personer. I simuleringen antogs sittläktaren vara plan istället för lutande, detta för att förenkla uppställningen. Vid de båda simuleringarna sattes att 78 personer utrymde via entrén medan 52 utrymde via nödutgången.

För att få fram varseblivningstiden för personerna i Scen 2 uppskattades att flamman, allra senast, borde ses när den blivit en halv meter hög. Flamhöjdsberäkningar (se bilaga B) har gjorts med hjälp av Heskestads plymekvationer (Karlsson & Quintiere, 2000). Flamman är ca 50cm då effekten är 500kW, enligt effektkurvan för Scen 2 sker detta efter 50s. Detta utgör med andra ord varseblivningstiden. Enligt Frantzich (2001) har en person som ser branden en besluts- och reaktionstid på ca 1 min. Detta ger en total tid på 110s fram till dess att förflyttning påbörjas.

De tider som använts i simuleringen är:

- Varseblivningstid 50 s

- Besluts- och reaktionstid 60 s

Fem personer antogs befinna sig på scen. Alla dessa sattes att utrymma via nödutgången i simulering 1.

- Varseblivningstid 50 s
- Besluts- och reaktionstid 80 s

Resultaten av simuleringarna presenteras under kapitlet *10.1.2 Scen 2*.

7.3.4 Garderob

Vid brand i garderoben kommer troligtvis all utrymning via entrén att omöjliggöras. För att undersöka hur detta påverkar utrymningen simulerades det i simulering 1 att alla utrymde via scenlokalerna. Vid simuleringen antogs det att en föreställning på Scen 1 lockat 320 personer. Åttio av dem utrymde från plan 1 via plan 2 och trapphuset. Tjugo personer hade sittplatser på plan 2 och utrymde även de via trapphuset. Resten av publiken, 220 personer utrymde via nödutgångarna i markplan. De personer som utrymde från plan 2 vid Scen 1 har endast ett trapphus att använda. Trapporna och det lutande stolsplanet har samma mått som i tidigare simuleringar (se kapitel *7.3.2 Scen 1*).

Varseblivningstiden för personerna inne i Scen 1 vid brand i garderoben sattes att motsvaras av aktiveringstiden för värmedetektorerna i garderoben. Då detektorns RTI samt detektionstemperatur inte var kända gjordes en mängd olika beräkningar i Detact-T2 så att en medeldetektionstid kunde fastställas. För in- och utdata från Detact-T2 se bilaga B, för en kort förklaring till programmet, se bilaga F. Effektkurvan i garderoben utvecklades ultrafast, varför den kategoriserades som detta i Detact-T2. RTI-värdet varierades mellan 1 och 10 enligt samtal med Daniel Nilsson (051111). För maximalvärmedetektorn blev tidsdifferensen 10,2 s (från 70,8s till 81s). För differentialvärmedetektorn blev tidsdifferensen 2,4 s (från 38,4s till 36s). Värdet på RTI utgör inte den största skillnaden och det går att anta att RTI=1 utan betydande fel.

Detektionsvärdet för maxtemperatur varierades mellan 40°C och 60°C, RTI är konstant 1. Vid 40°C blev detektionstiden 61,2s, vid 55°C 75s och vid 60°C 78,6s. Vid en temperaturdifferens på 4°C var detektionstiden 36s, vid 6°C var den 36,6s, vid 8°C 36,6s och vid 10°C 37,2s.

Värst: Max 89,4s Diff 42s

Bäst: Max 61,2s Diff 36s

Varseblivningstiden kan utifrån detta betraktas som ca 1 +/- ½ minut.

Enligt *Scenariotänkande vid Brandsyn – samlingslokaler* (Abrahamsson, 1998) gäller för teatrar att besluts- och reaktionstiden är

-vid larmklocka 4 minuter och

-vid meddelande från personal 2 minuter.

Medelvärdet av detta användes i simuleringen, det vill säga 3 minuter. Den totala varseblivnings- samt besluts- och reaktionstiden blir då 4 +/- ½ minut.

Personerna i restaurangen bör se branden efter ca 30 +/- 10 sekunder (Björn Johansson, samtal 051112). En person som ser branden har en besluts- och reaktionstid på 1 minut (Frantzich, 2001). Det ger en total tid på ca 1 ½ minut.

De tider som använts i simuleringen är:

- Varseblivningstid 60 s +/- 30 s

- Besluts- och reaktionstid 180 s

10 personer antogs vara på scen. Dessa utrymde via nödutgångarna.

- Varseblivningstid 60 s +/- 30 s

- Besluts- och reaktionstid 200 s

I restaurangen antogs det vara 30 sittande gäster. Dessa utrymde via Scen 2.

- Varseblivningstid 30 s +/- 30 s
- Besluts- och reaktionstid 60 s

För att kontrollera känsligheten vid utrymning av foajén gjordes även en simulering med 400 gäster i foajén. I simuleringen var båda entrédörrarna samt alla scenernas nödutgångar användbara. Tvåhundra personer sattes att utrymma via entrédörrarna, 50 utrymde via Scen 2, 50 via Scen 3 och 100 via Scen 1. Endast förflyttningstiden studerades i denna simulering, dock sattes en besluts- och reaktionstid till 10 +/- 10 sekunder för att få en mer realistisk start på utrymningsförloppet.

Resultatet av simuleringarna presenteras under kapitlet *10.1.3 Garderob*.

8 CFAST-simuleringar

I detta avsnitt simuleras de scenarier som framkommit genom grovanalysen samt den fördjupade grovanalysen. Simuleringarna har utförts med CFAST och syftar till att modellera brandgasfyllnaden i lokalerna. Anledningen till att CFAST valts som simuleringsprogram är att det simulerar snabbt och är relativt lättanvänt. Den största förenklingen CFAST gör är att programmet delar upp brandrummet i två lager, en så kallad tvåzonsmodell. Principen bygger på att det undre lagret är fritt från brandgaser medan det övre skiktet innehåller endast brandgaser.

För att CFAST skall ge användbar utdata har författarna fått dela upp två av de lokaler som skall utredas i flera compartments där spridningen konstruerats så att den sker i sidled från en compartment till en annan. För de begränsningar på ett rums geometri som CFAST har, se bilaga C. Detta medför naturligtvis att en del osäkerheter implementeras i simuleringarna. Dessa diskuteras i kapitel 13 *Osäkerhetsanalys*.

8.1 Scen 1

Vid simulering av Scen 1 innebär dess storlek att lokalen måste indelas i flera mindre rum, så kallade compartments. Indelningen till compartments gjordes för att undvika att förhållandet mellan längd, höjd och bredd avvek från de rekommenderade förhållandena (se bilaga C) och därmed minska resultatens tillförlitlighet. Detta gjordes på ett sådant sätt att brandgaser endast kan spridas horisontellt. Branden förutsätts som tidigare nämnts i rapporten att starta under läktarna. I simuleringarna användes de effektkurvor som framtagits i kapitel 6.1.1 *Scen 1-brand under stolar*. Området under publiken valdes att indelas i två compartments, för att i viss mån åstadkomma ett trappstegsliknande tak. Den viktiga funktionen att hindra gasernas flöde och kyla dem anses då till viss mån uppfyllas.

Bredvid läktaren, på båda sidor, konstruerades en compartment som speglar det verkliga utrymmet bredvid läktaren på ett tillfredställande sätt. Utrymmet ovanför scenen delades inte upp utan konstruerades som en compartment. För att förtydliga uppdelningen av Scen 1 i CFAST visas en tredimensionell bild av lokalen i bild 8.1 med alla olika compartments numrerade. Compartment 1 och 4 kommer att ge samma resultat på grund av symmetri. I simuleringarna antogs väggar och tak vara gjorda av gips, ingen hänsyn till golvmaterialet togs. Väggar och tak i Scen 1 är i verkligheten inte uteslutande av gips, detta avsteg diskuteras vidare i osäkerhetsanalysen kapitel 13.2.1 *Scen 1*.

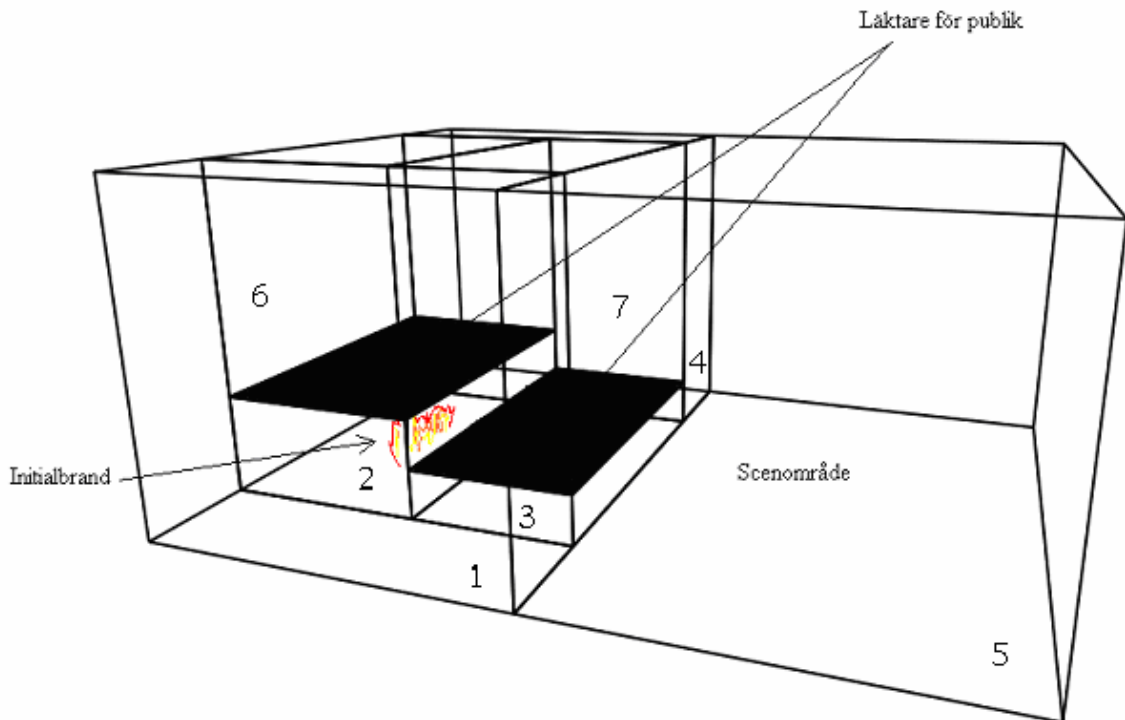


Bild 8.1 Uppdelningen i compartments av Scen 1.

För Scen 1 genomfördes tre simuleringar för att undersöka hur mycket brandförloppet påverkades om olika dörrar stod öppna. I simulering 1 antogs det att alla dörrar till lokalen hölls stängda (ingen hänsyn till läckage togs alltså, se diskussion i osäkerhetsanalysen 13.2.1 Scen 1) medan det i simulering 2 och 3 förutsattes att en dörr bakom Scen, respektive entrédörren till Scen 1 stod öppna. I simulering 2 sattes dörrens mått till $2 \times 0.9 \text{ m}^2$ medan simulering 3 antog dimensionerna $2 \times 1.2 \text{ m}^2$. Hur detta ändrar resultaten diskuteras i känslighetsanalysen kapitel 12.2 *Brandförloppssimuleringar gjorda med CFAST*.

8.2 Scen 2

Scen 2 valdes att simuleras som en enda compartment till skillnad från Scen 1. Anledningen till detta är att även om lokalen i sig bedöms som stor anses branden i förhållande till geometrin vara så pass kraftig att rummet kan simuleras som ett rum (se bilaga C). Effektkurvan redovisas i kapitel 6.1.2 *Brand på Scen 2*. I simuleringarna antogs väggar och tak vara gjorda av gips, ingen hänsyn till golvmaterial togs. Dessa avsteg diskuteras vidare i osäkerhetsanalysen kapitel 13.2.2 Scen 2.

För Scen 2 genomfördes två simuleringar för att undersöka huruvida öppna dörrar påverkar brandförloppet och därmed ändrar de parametrar som bedöms som kritiska. Simulering 1 innebar att inga dörrar till Scen 2 stod öppna (ingen hänsyn till läckage tas alltså, se diskussion i osäkerhetsanalysen 13.2.2 Scen 2) medan det i simulering 2 antogs att dörren ut till foajén stod öppen. Dörrens dimensioner antogs vara $2 \times 1.2 \text{ m}^2$. Vidare resonemang förs dels i resultatkapitlet 10.1.2 Scen 2 dels i känslighetsanalysen kapitel 12.2 *Brandförloppssimuleringar gjorda med CFAST*.

8.3 Garderob

För att CFAST skulle ge rimliga resultat vid simuleringarna för garderoben delades foajén in i sex stycken compartments som redovisas i bild 8.2. Detta för att foajén är alldeles för lång för att ge relevant data vid en simulering (se bilaga C). Vid simuleringarna antogs att branden startar i en jacka på grund av en kvarglömd cigarettfimp.

För att undersöka hur brandgaserna sprider sig i rummet gjordes sex simuleringar. I första simuleringen antogs alla dörrar vara stängda till foajén (ingen hänsyn till läckage togs alltså, se diskussion i osäkerhetsanalysen 13.2.3 Garderob). I simulering 2 antogs dörren bredvid receptionen vara öppen, simulering 3 antog gällande förhållanden för simulering 2 med tillägget att dörren till Scen 1 också var öppen. Vad gäller simulering 4 antogs samma konfiguration som simulering 3 med tillägget att dörren till Scen 2 också var öppen. Även skillnader mellan olika brandeffekter undersöktes. Därför användes de två effektkurvor som redovisats i kapitel 6.1.3 Brand i garderob. Det var en effektkurva för brand i 105 jackor och en kurva för brand i ca 400 jackor. Detta gjordes för att försöka påvisa att kritiska förhållanden för utrymning också kan uppkomma vid ett mindre antal jackor än vad som normalt förvaras i garderoben. Det sistnämnda diskuteras vidare i kapitel 11.2.3 Garderoben. I simuleringarna antogs att väggar och tak vara gjorda av gips, ingen hänsyn till golvmaterial togs (se osäkerhetsanalys 13.2.3 Garderob).

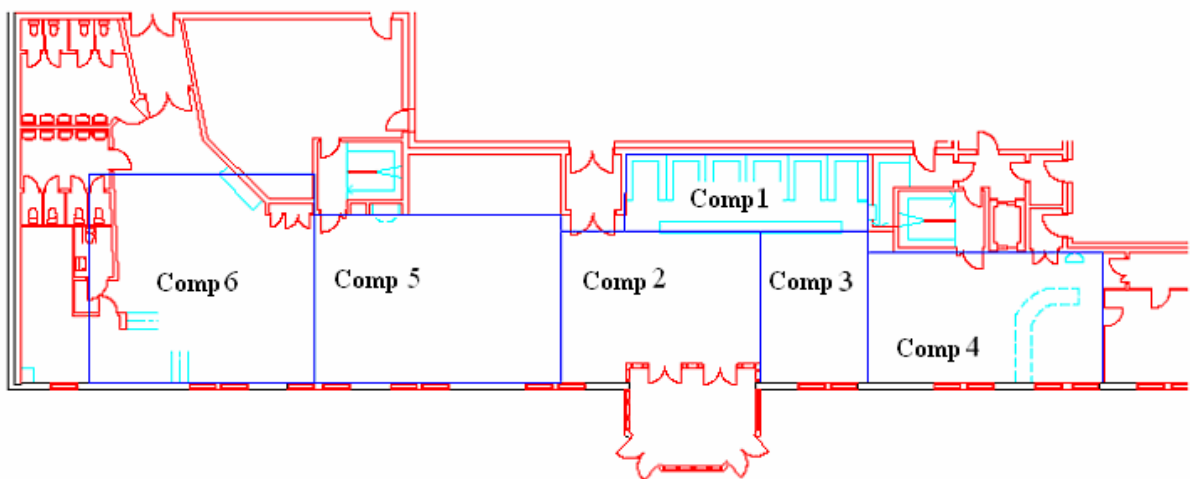


Bild 8.2 Uppdelningen av compartments i foajén.

9 Handberäkningar

Handberäkningar utfördes som ett komplement till datorsimuleringsprogrammen.

9.1 Brandgaslagrets höjd och temperatur

Dessa handberäkningar utfördes för att få ett bredare underlag om hur förhållandena i Scen 1 och Scen 2 är vid olika tidpunkter i brandförloppet. För garderoben utfördes inga handberäkningar då detta inte ansågs ge tillförlitliga värden.

Beräkningsgången följer den som Takeyoshi Tanaka och Tochio Yamana arbetade fram under mitten av åttiotalet. Ett viktigt antagande i ekvationerna är att rummet är stort i förhållande till branden och att luft kommer att flöda ut ur öppningarna i den nedre delen av rummet. Det tas ingen hänsyn till värmetransport och värmeförluster, det är en svag plymmodell. Mer information om antagandena hittas i osäkerhetsanalysen kapitel 13.4 *Handberäkningar* och i Enclosure Fire Dynamics, kapitel 8.6 (Karlsson & Quintiere, 2000), där det även redogörs för beräkningsgången. Mer om handberäkningarna återfinns i finns i bilaga E, för resultaten se kapitel 10.3 *Handberäkningar*.

9.2 Brandgasventilation

För Scen 1 utfördes dessa handberäkningar för att kontrollera att de inluftsöppningar som finns i lokalen är tillräckliga för att brandgasventilationen ska kunna fungera optimalt. För Scen 2 undersöktes möjligheterna att med hjälp av brandgasventilation förlänga tiden till dess att kritiska förhållanden uppstår i lokalen och på så sätt underlätta utrymning.

Ekvationerna är hämtade ur Enclosure Fire Dynamics, kapitel 8.6 (Karlsson & Quintiere, 2000) där information om antaganden och beräkningsgång finns. Mer om handberäkningarna återfinns i finns i bilaga E, för resultaten se kapitel 10.3 *Handberäkningar*.

10 Resultat

Nedan redovisas resultat från Simulex, CFAST och handberäkningar för scenarierna, övriga data återfinns i bilaga A, D och E. En diskussion och jämförelse följer i nästa kapitel, kapitel 11.

10.1 Simulex

I avsnitten nedan kommer resultaten från de simuleringar som gjordes i Simulex att redovisas. Även iakttagelser om huruvida problem uppstod vid förflyttningen redogörs för. Tiderna innefattar varseblivning, beslut- och reaktion samt förflyttning.

10.1.1 Scen 1

Den totala tiden för fullständig utrymning av Scen 1:

Simulering 1 - 5 minuter

Simulering 2 - 6 och ½ minut

I simulering 1 tilläts utrymning genom alla utgångar. I trapporna bildades inga stopp, medan viss flaskhalseffekt uppstod vid nödutgångarna och ut till foajén (se bild 10.1) Utrymningen påverkades dock inte i någon större utsträckning av detta.

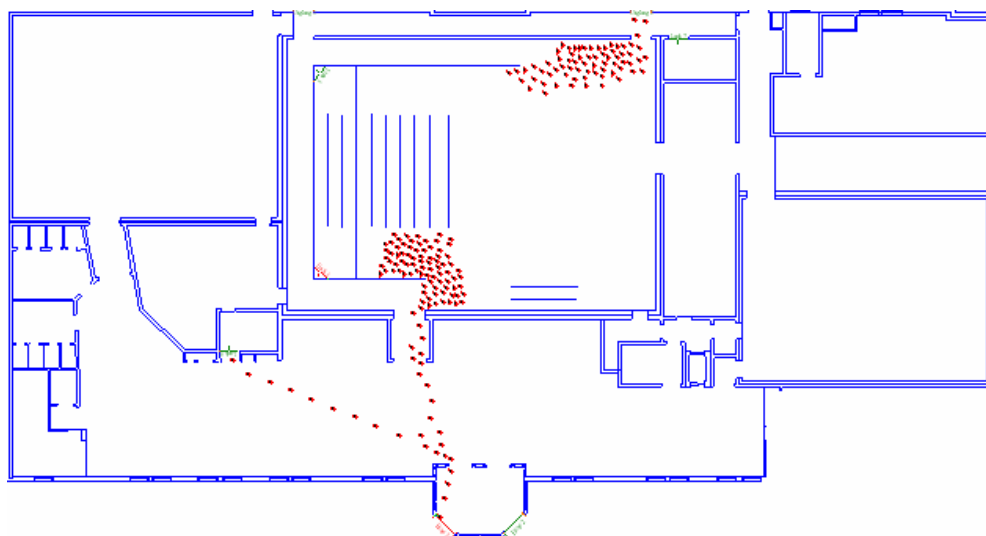


Bild 10.1 Utrymnings simulering av Scen 1, simulering 1 vid tiden 2 ½ minut.

Den andra simuleringen medgav endast utrymning genom foajén. Publiken tog sig ur raderna men dessa utgjorde ett hinder i utrymningen liksom dörren ut till foajén. Senare i utrymningen uppstod köbildning vid entrén då personerna från nedre delen av Scen 1 mötte de som kom från trapphuset.

10.1.2 Scen 2

Den totala tiden för fullständig utrymning av Scen 2:

Simulering 1 - 4 minuter

Simulering 2 - 5 minuter

I den första simuleringen kunde samtliga utgångar användas. Inga uppenbara flaskhalsar uppstod förutom vid stolsraderna (se bild 10.2). Dessa utgjorde ett hinder för publiken men

förhindrade samtidigt till viss del att köbildning uppstod vid dörren ut till foajén. I foajén uppstod inga problem.

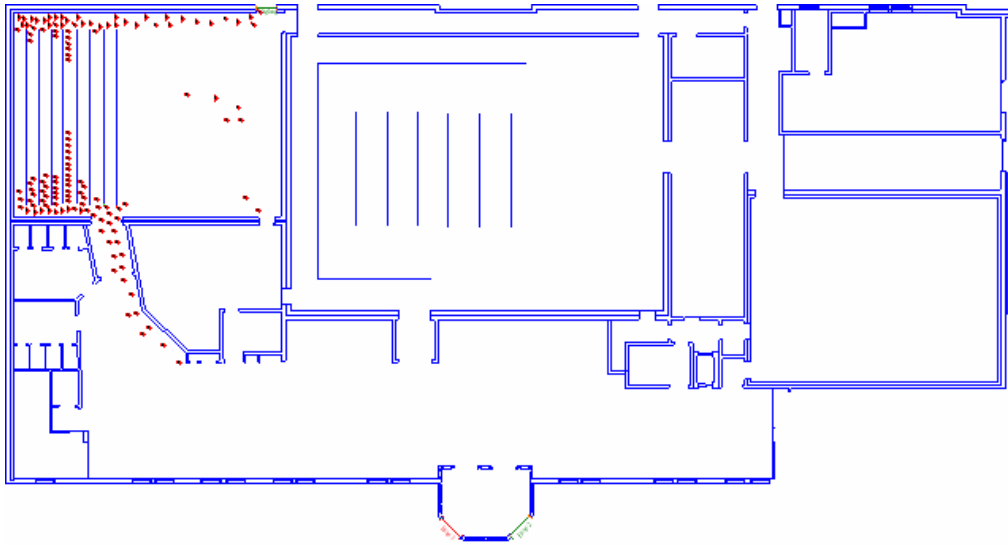


Bild 10.2 Utrymningsmodell av Scen 2, simulering 1 vid tiden 2 minuter.

Förutsättningarna i simulering 2 var att nödutgången ut mot gatan inte kunde användas, endast utrymning via foajén var möjlig. Utrymningsituationen liknade den i första simuleringen med skillnaden att viss köbildning uppstod vid dörren ut till foajén. Därför tog det publiken ca en minut längre tid att genomföra utrymningen i simulering 2.

10.1.3 Garderob

Den totala tiden för fullständig utrymning av foajén och Scen 1:

Simulering 1 - 8 och ½ minut.

Personerna som befann sig i restaurangen hade utrymt efter 2 och ½ minut.

Simulering 2 – 2 minuter. Observera att denna utrymningstid endast innefattar förflyttningstiden.

Simulering 1 gjordes för brand i garderoben och utrymning kunde inte ske genom entrédörrarna. Restauranggästerna utrymde via Scen 2, ingen köbildning uppstod. Då publiken i Scen 1 utrymde uppstod först en flaskhals vid en passage strax innan utgången. När publik kom ner från trapphuset och anslöt till de övriga utrymnande uppstod köbildning även vid utgången.

Vid simulering 2 var båda entrédörrarna och nödutgångarna från samtliga scener användbara. Köbildning uppstår tidigt vid entrédörrarna och ingångarna till de tre scenerna (se bild 10.3).

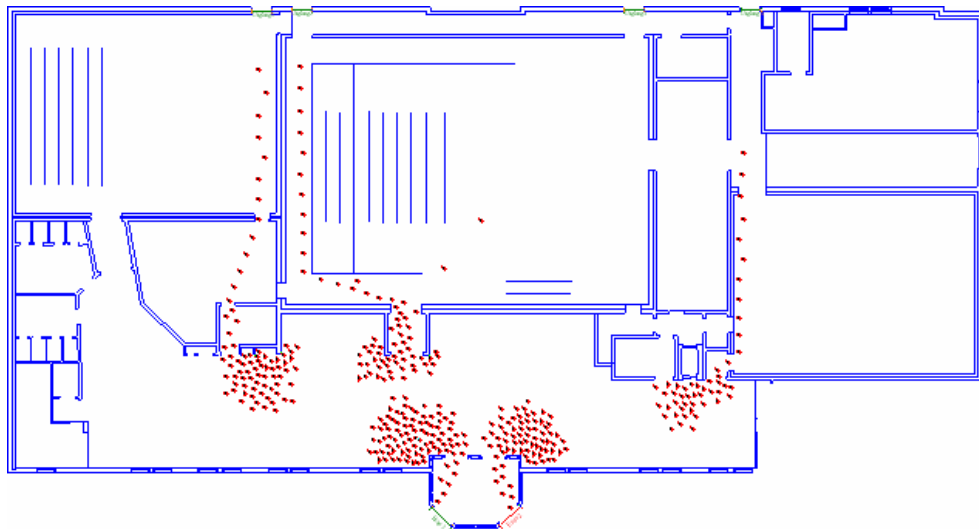


Bild 10.3 Utrymningsmodellering av foajén, simulering 2 vid tiden 1/2 minut.

10.2 CFAST

I avsnitten nedan visas resultaten från CFAST-simuleringarna för brandgaslagrets höjd samt temperatur.

10.2.1 Scen 1

De olika simuleringarna gav ingen signifikant skillnad, vad beträffar brandgaslagrets höjd och temperatur. Eftersom simuleringarna gav så lika resultat går det inte att påvisa någon skillnad då olika dörrar står öppna. Resultatet för simulering 3 kan därmed representera resultaten även för de övriga simuleringarna. I diagrammen redovisas resultat för olika ytor, bild 10.4 visar vilka dessa ytor är.

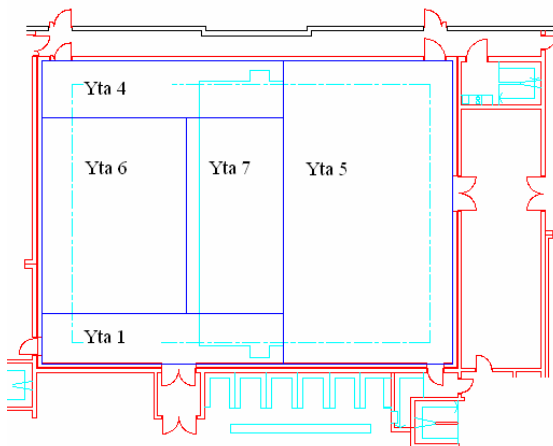


Bild 10.4. Uppdelning av Scen 1 i ytor.

Yta 1 och 4, som är bredvid läktarna, ger samma resultat på grund av symmetri. Yta 5 är ovanför scenen, yta 6 är bakre läktaren och yta 7 är främre läktaren. Värt att observera är det faktum att brandgaslagrets höjd har scenens golv som nollnivå. Detta betyder exempelvis att en brandgaslagerhöjd på 3 meter över yta 6 innebär att röken har nått golvet på de bakre bänkraderna (se diagram 10.1). Diagram 10.1 visar brandgaslagrets höjd som funktion av tiden, medan diagram 10.2 visar temperaturens förändring med tiden.

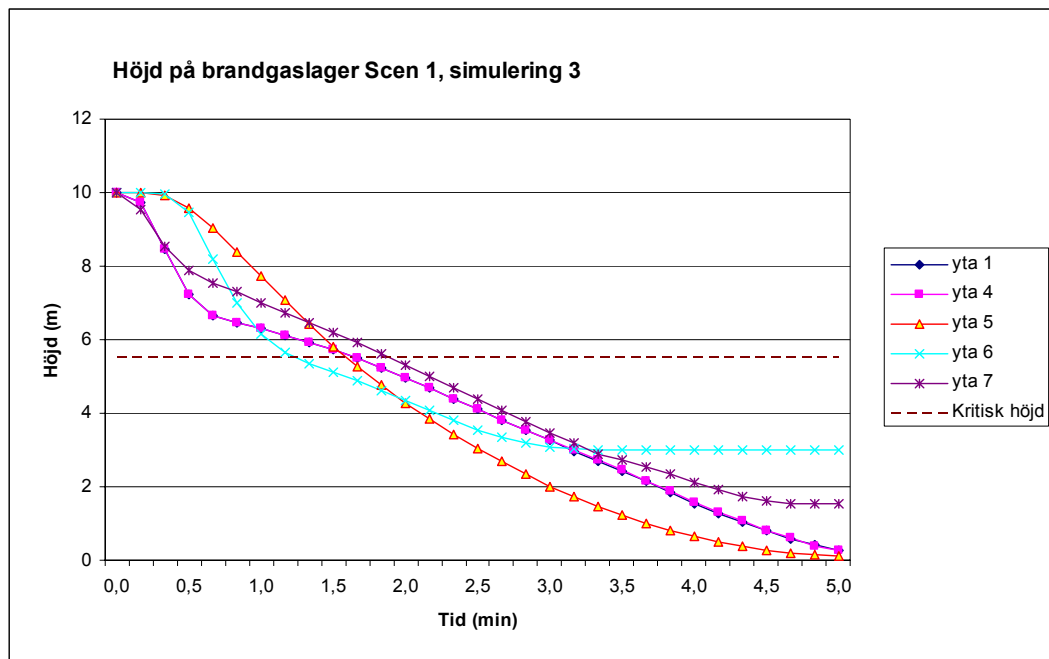


Diagram 10.1 Brandgaslagrets höjd i Scen 1 som funktion av tiden.

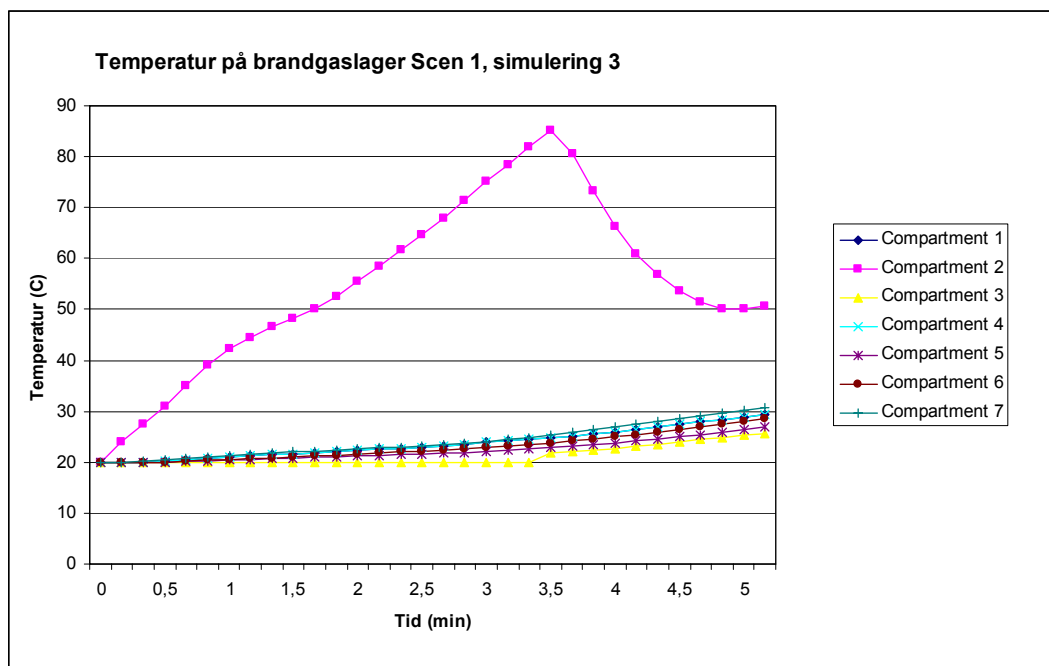


Diagram 10.2 Temperaturen i Scen 1 som en funktion av tiden.

10.2.2 Scen 2

De olika simuleringarna gav ingen signifikant skillnad, vad beträffar brandgaslagrets höjd och temperatur. Därför redovisas här bara resultat från simulering 1 (då inga dörrar var öppna till lokalen), som anses ge en representativ bild av de värden CFAST gav vid de olika simuleringarna. Diagram 10.3 och 10.4 visar brandgaslagrets höjd respektive brandgaslagrets temperatur som funktion av tiden.

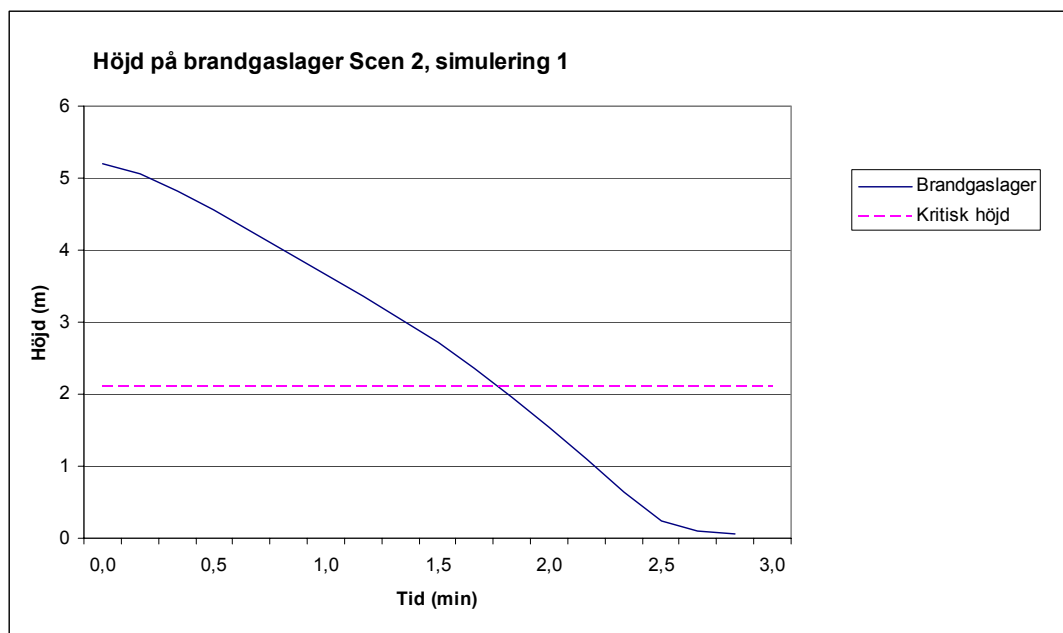


Diagram 10.3 Höjd på brandgaslagret som funktion av tiden i Scen 2.

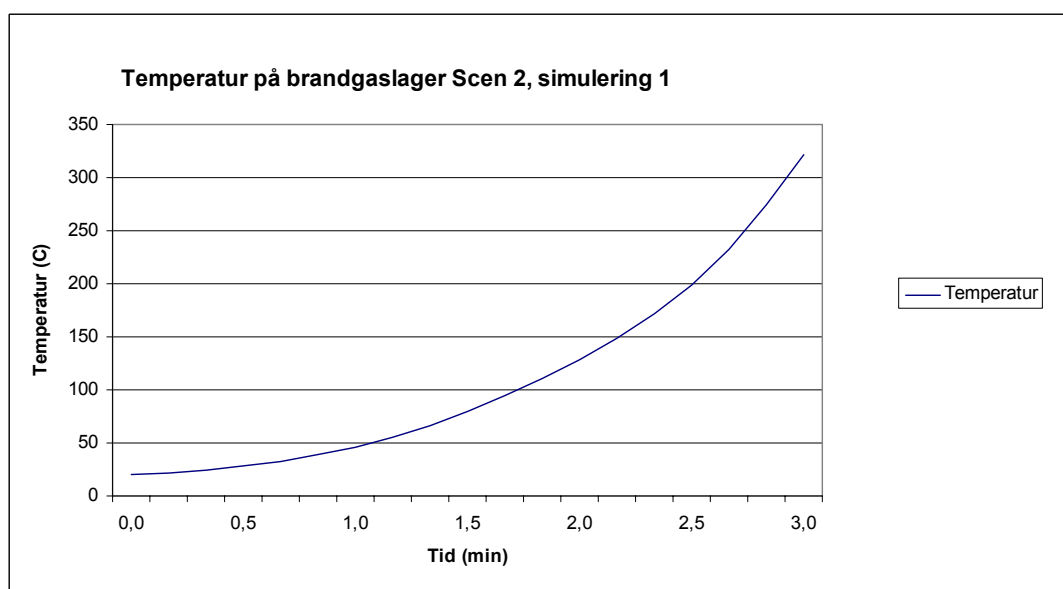


Diagram 10.4 Temperaturförändringen i Scen 2 som en funktion av tiden.

10.2.3 Garderob

De olika simuleringarna gav inledningsvis likvärdiga resultat, även då olika effektkurvor användes. Skillnaden visade sig först i ett senare skede av branden då simuleringen med 105 jackor gav lägre temperatur och högre brandgaslagerhöjd än 400 jackor. Detta är inget som det läggs någon större vikt vid i detta arbete då fokus ligger på utrymnings säkerhet. Här redovisas simulering 1 (full garderob) som representativ data för brandgaslagerhöjd för simuleringarna 1-3 och simulering 4 (ca 100 jackor) som representativt för simuleringarna 4-5 i diagrammen 10.5 och 10.6. För en överblick av brandgaslagrets temperatur i ett inledningsskede tas värden från simulering 1, se diagram 10.7. Vilka delar av foajén som de olika compartments motsvarar redovisas i bild 10.5.

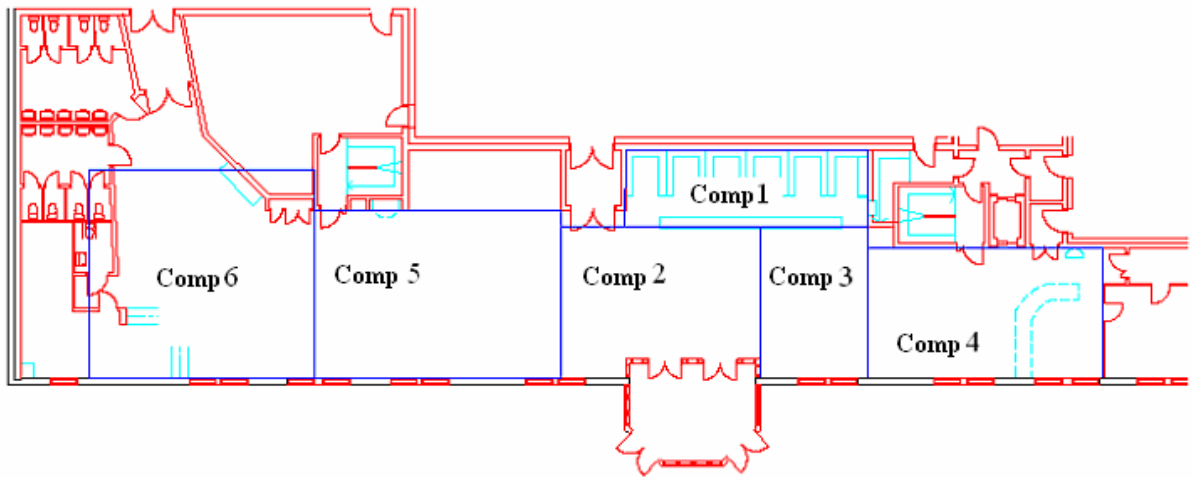


Bild 10.5 Uppdelning av compartments i foajén.

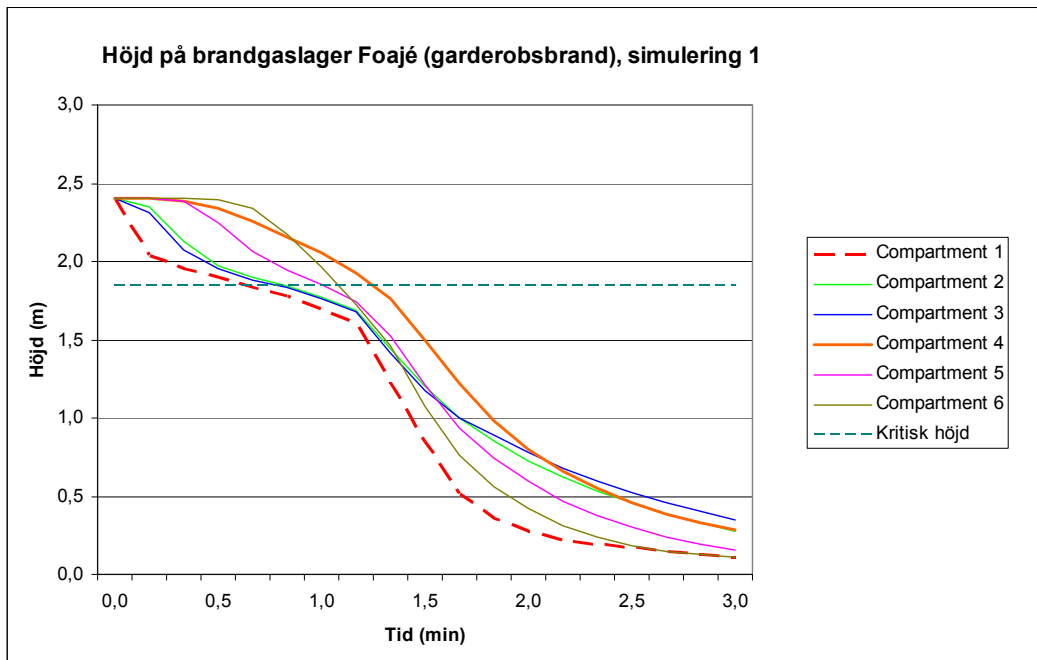


Diagram 10.5 Brandgaslagrets höjdförändring i foajén som en funktion av tiden, simulering 1.

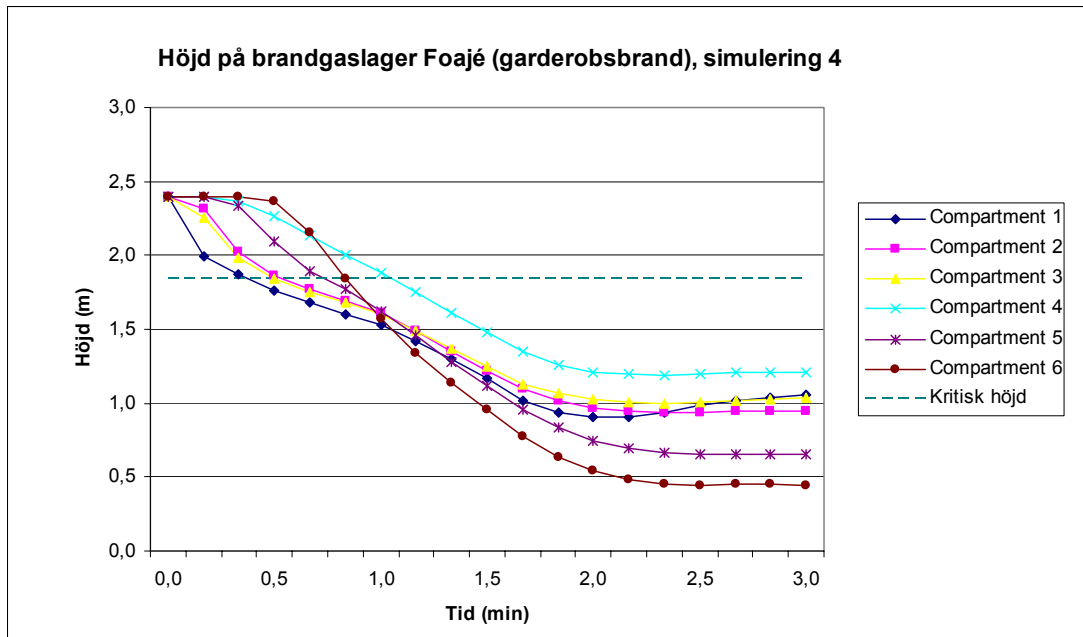


Diagram 10.6 Brandgaslagrets höjdförändring i foajén som en funktion av tiden, simulering 4.

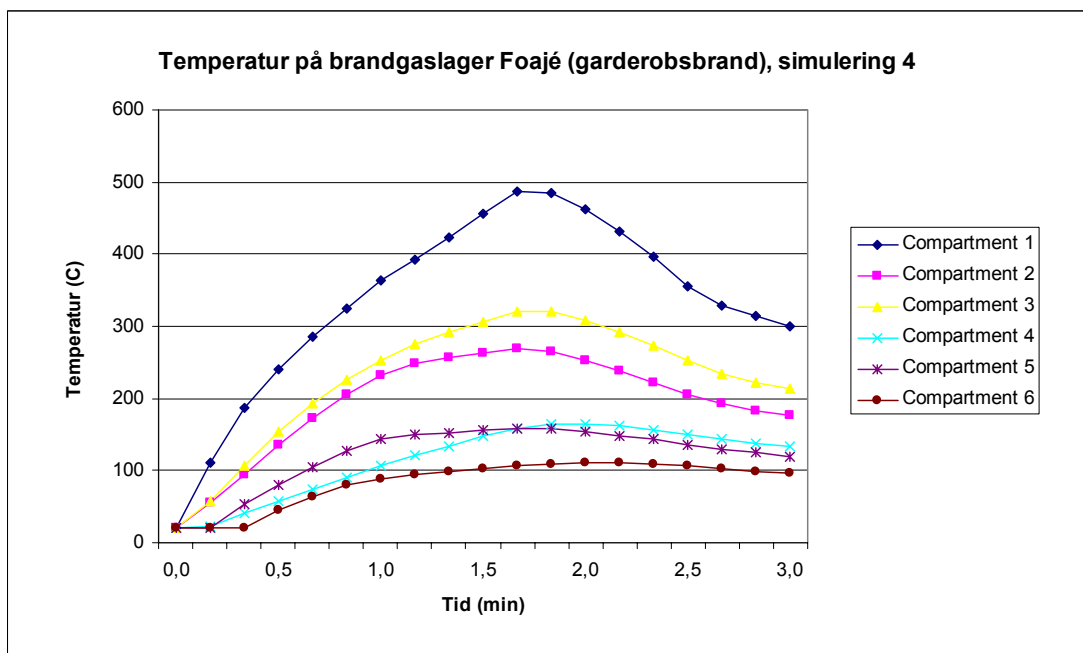


Diagram 10.7 Temperaturförändringen i brandgaslagret i foajén som en funktion av tiden, simulering 1.

10.3 Handberäkningar

Här redovisas resultat från de handberäkningar som utförts. Se även kapitel 9 *Handberäkningar* och bilaga E för mer information om hur de utfördes.

10.3.1 Scen 1

Brandgaslagrets höjd och temperatur:

$t = 120s$ ger höjden 9,5m och temperaturen $23^{\circ}C$

$t = 300s$ ger höjden 4,65m och temperaturen $48^{\circ}C$

Brandgasventilation:

A_E (storlek på brandgasluckor) = 7 m²

A_D (storlek på tilluftsöppning) = 6m²

10.3.2 Scen 2

Brandgaslagrets höjd och temperatur:

t = 45s ger höjden 4,3m och temperaturen 22°C

t = 90s ger höjden 2,8m och temperaturen 142°C

Brandgasventilation:

A_E (storlek på brandgasluckor) = 5 m²

11 Diskussion av resultat

I avsnitten nedan diskuteras de resultaten som erhållits med Handberäkningar, CFAST och Simulex för de olika scenarierna.

11.1 Jämförelse mellan handberäkningar och CFAST

Här redovisas en jämförelse mellan resultaten från handberäkningar och CFAST. En förklaring till skillnader i resultaten är att handberäkningarna inte tar hänsyn till värmeförluster, således kan handberäkningarna tänkas överskatta temperaturen något. En sänkning av brandgasernas temperatur medför en lägre höjd på brandgaslagret. Se kapitel 13 *Osäkerhetsanalys*.

11.1.1 Scen 1

Handberäkningar för tiden 2 minuter ger att brandgaslagret befinner sig på en höjd av 9,5 meter och har en temperatur på cirka 23°C. CFAST ger vid samma tid, oberoende av varierande öppningar, en brandgaslagerhöjd på ca 4,5 meter och en temperatur på ca 23°C.

Handberäkningar för tiden 5 minuter ger att rökgaslagret ligger på 4,5 meter och har en temperatur på 48°C. CFAST ger vid samma tid oavsett varierande öppningar en temperatur på cirka 30°C och att brandgaserna har nått golvet.

Handberäkningarna kan tänkas överskatta temperaturen något då dessa inte tar hänsyn till värmeförluster till omgivningen. En sänkning av brandgasernas temperatur medför en lägre höjd på brandgaslagret. Den typ av scenario som Scen 1 innebär, är inte något som CFAST är anpassat och evaluerat för. De utdata som CFAST ger tyder på att det är mycket tänkbart att hela rummet har rökfyllts efter fem minuter, dock är brandgastemperaturen inte så hög. Vid beräkningarna har det inte tagits någon hänsyn till om branden sprider sig vidare från startobjektet, något som mycket väl kan tänkas ske. En spridning förvärrar givetvis utrymningsförhållanden.

De handberäkningar som gjordes på brandgasventilationen visar på att om den aktiveras kan utrymningsituationen förbättras avsevärt. De befintliga brandgasluckorna räcker till för att hålla brandgaslagret ovan kritiska nivåer. En förutsättning för att luckorna ska ha inverkan på utrymnings säkerheten är att de öppnas i ett tidigt skede. Detta uppfylls inte i dagsläget då de öppnas manuellt av räddningstjänsten.

11.1.2 Scen 2

Handberäkningar (se bilaga E) och CFAST-simuleringen (resultat från simulering 1) ger för given tid följande brandgaslagerhöjd och temperatur.

	hand 45s	CFAST 45s	hand 90s	CFAST 90s
Brandgaslagrets temp (celsius)	22	35	142	80
Brandgaslagrets höjd (meter)	4,3	4,2	2,8	2,7

Handberäkningar och CFAST tenderar att ge liknande värden på höjden till brandgaslagret. De olika simuleringarna ger också i stort sett lika värden. Således används CFAST värden

från simulering 1 för brandgaslagrets höjd som en fingervisning om var det ligger vid olika tidpunkter.

Beräkningarna för brandgasventilationen tyder på att brandgasluckor kan förbättra utrymningsituationen.

11.2 Jämförelse kritiska nivåer och utrymningssimulering

I avsnitten nedan görs jämförelser mellan kritiska nivåer och utrymningssimuleringarna.

11.2.1 Scen 1

Att utrymma Scen 1 tar enligt rapportens beräkningar mellan 5 till 6 minuter. De beräkningar som utförts för analys av förhållandena i Scen 1 vid tiden 5 minuter ger olika resultat. Handberäkningar för tiden 5 minuter ger att brandgaslagret ligger på 4,5 meter och har en temperatur på 48°C. CFAST ger vid samma tid, oberoende av varierande öppningar, en temperatur på cirka 30°C och då har brandgaserna nått golvet. Vad som kan konstateras med hjälp av rapportens analys av förhållanden är att en tillfredställande utrymning inte är säkrad med avseende på brandgaslagrets höjd.

I den ena utrymningssimuleringen antogs det att alla dörrar var väl fungerande och öppnades utan svårighet. Utrymningstiden blev då ungefär 5 minuter. Vid den andra simuleringen var alla tvungna att utrymma via foajén. Utrymningstiden blev då ca 1 minut längre. Detta visar att det är av stor vikt att alla nödutgångar hålls i gott skick och även att personal tydligt visar var nödutgångarna är belägna. Vid besöket var flera av nödutgångarna låsta eller mycket svåra att öppna. Detta kan anses som en allvarlig brist.

I simuleringarna sattes en varseblivningstid på knappt 1 minut. Enligt CFAST-utdata är det då redan ett en meter tjockt brandgaslager i taket. Detta medför troligen en kortare varseblivningstid, framför allt då brandgaserna strömmar ut vid publikens fötter. Även besluts- och reaktionstiden (satt till en minut) kan komma att minskas.

Kritisk brandgaslagerhöjd nås 3-4 minuter in i brandförloppet. I den simulering då alla utgångar kunde användas var mellan 200 och 280 av de totalt 330 personerna i simuleringen ute ur byggnaden. Då endast entrédörrarna kunde användas, nödutgångarna var blockerade, hann mellan 80 och 140 personer utrymma. Detta antal kan komma att höjas om varseblivningstiden samt besluts- och reaktionstiden minskas, men tillfredställande utrymning kan inte garanteras.

11.2.2 Scen 2

Utrymning av Scen 2 tar mellan 4 och 5 minuter beroende på hur många av utrymningsvägarna som kan användas. Kritiska förhållanden uppnås, både enligt CFAST och handberäkningar, utifrån kritisk brandgaslagerhöjd redan 2 minuter in i brandförloppet.

Varseblivningstiden i de två simuleringarna var ca 1 minut. Redan efter ½ minut har det bildats ett ½ meter tjockt brandgaslager i taket enligt CFAST-resultat. Efter ca 2 minuter är brandgaslagrets höjd på en kritisk nivå och i simuleringarna har ingen börjat utrymma när detta sker. Besluts- och reaktionstiden bestämdes till 1 minut. Med tanke på det snabba brandförloppet kan det dock antas att både varseblivningstid och besluts- och reaktionstid kortas ned.

Varseblivningstiden kan troligen sänkas ner mot 10-15 sekunder och besluts- och reaktionstiden till ca 20 sekunder. Detta ger en total utrymningstid på drygt 2 ½ minuter, då förflyttningstiden uppgår till 2 minuter. Tillfredsställande utrymning kommer alltså, trots förkortade tider, inte kunna genomföras.

11.2.3 Garderoben

Kritiska förhållanden uppstår, vad avser brandgaslagrets höjd, mycket snabbt. Precis utanför garderoben tar det knappt en minut för brandgaserna att sjunka till kritisk höjd. Längre bort från garderoben går det något långsammare, vid köket tar det ungefär 1 och ½ minut. Även om det i garderoben endast hänger 105 jackor blir tiden till dess att kritiska förhållanden uppstår lika kort.

Vid utrymningssimulering 1 var utrymningstiden för restauranggästerna (30 personer) 2 och ½ minut. Sett till det tidsmässiga perspektivet kommer tillfredsställande utrymning inte att kunna genomföras. Troligtvis kommer dock besluts- och reaktionstiden bli något kortare.

Redan efter ½ minut börjar brandgaser strömma ut i taket ovanför restaurangdelen (CFAST). Varseblivningstiden för restauranggästerna sattes i Simulex till ½ +/- ½ minut något som stämmer bra överens med brandgaslagrets utveckling. Den kritiska höjden på brandgaslagret nås efter ca 1 minut. Besluts- och reaktionstiden har i simuleringarna satts till 1 minut, något som säkerligen kan sänkas. Med tanke på att restauranggästernas förflyttningstid endast var ½ minut kan dessa troligtvis hinna ut men med mycket små marginaler.

Besökande på Scen 1 bör hinna utrymma utan problem då garderoben avskiljs från lokalen med en brandcellsvägg.

Vid simulering 2 var den totala förflyttningstiden för gästerna i foajén 2 minuter. Detta visar tydligt att utrymning inte kommer att kunna genomföras innan kritiska förhållanden uppstår. Sammanfattningsvis för scenariot med brand i garderoben kan det alltså konstateras att vid en mycket litet antal gäster i foajén kan utrymning genomföras med mycket små marginaler men vid ett större antal gäster hinner långt ifrån alla ut.

12 Känslighetsanalys

Nedan görs en känslighetsanalys för simuleringar samt handberäkningar för de olika scenarierna. Den syftar till att utröna huruvida olika parametrar påverkar slutresultatet.

12.1 Utrymningssimuleringar gjorda med Simulex

Vid simuleringarna är det framför allt uppskattningen av varseblivningstiden och besluts- och reaktionstiden som påverkar resultaten.

12.1.1 Scen 1

Två simuleringar gjordes där utrymningsmöjligheterna ändrades, från att alla utgångar kunde användas till att endast utrymning via foajén var möjlig. Detta gav en tidsdifferens på ungefär 1 och ½ minut. Detta spelar dock mindre roll sett till kritisk brandgaslagerhöjd, kriteriet uppfylldes innan utrymningen slutförts i båda fallen.

12.1.2 Scen 2

Två simuleringar gjordes, i det ena kunde utrymning ske genom samtliga utgångar medan en nödutgång var blockerad i det andra. Detta gav ingen signifikant skillnad i den totala utrymningstiden, vilken dessutom, i båda fallen, var betydligt längre än tiden till kritisk höjd på brandgaslagret.

12.1.3 Garderob

Varseblivningstiden för personerna inne i Scen 1 vid brand i garderoben sattes att motsvaras av aktiveringstiden för värmedetektorerna i garderoben. Detektorns RTI samt detektionstemperatur var inte kända och beräkningar i Detact-T2 gjordes (se bilaga B och F). Olika värden på RTI och aktiveringstemperatur användes för att undersöka känsligheten. Resultatet blev en aktiveringstid på 1 +/- ½ minut, något som inte påverkade utrymningsresultaten nämnvärt.

I foajén undersöktes skillnaden vid utrymning av ett mycket litet och ett mycket stort antal gäster. Ur detta visade det sig att utrymning endast kommer att kunna genomföras vid simuleringen med få besökare, och då med mycket små marginaler.

12.2 Brandförloppssimuleringar gjorda med CFAST

CFAST är ett datorsimuleringsprogram, och dålig indata ger dålig utdata. För de olika scenarierna gjordes flera simuleringar med varierande öppningar för att undersöka känsligheten för detta. Det visade sig att scenarierna var robusta mot den typen av förändringar. Likaså gjordes simuleringar med olika effekter för garderoben vilket inte visade sig ge någon signifikant skillnad under inledningsskedet. Med anledning av rapportens fokus på utrymnings säkerhet är det endast inledningsskedet som undersöks.

12.3 Handberäkningar

Utredning angående hur känsliga handberäkningarna för brandgaslagret är för olika antaganden, till exempel luftens densitet, begynnelsestemperatur etc., har inte ansetts nödvändig. För beräkningarna av brandgasventilation styr brandens effekt till stor del hur stora brandgasluckorna behöver vara. Scen 1 har befintliga brandgasluckor som, även om de

inte klarar av att hålla brandgaserna över en kritisk nivå, ändå kommer att förbättra situationen. För Scen 2 har en tämligen hög effekt valts och den beräknade storleken på luckor kommer troligen att räcka även vid en annan brand.

13 Osäkerhetsanalys

En osäkerhetsanalys beskriver vilka antaganden som har gjorts.

13.1 Effekttutveckling

Här utreds osäkerheter kring val av effektkurvor.

13.1.1 Scen 1

Det är alltid en inbyggd osäkerhet vid val av en specifik effektkurva när det är okänt vad som brinner. Vid besöket var det mycket trämaterial under sittläktaren, en brand i träpallar innebär en brand i trä som är arrangerad på ett sådant sätt att branden tar sig förhållandevis snabbt. Ingen hänsyn tas till spridning till andra objekt då detta troligen inte sker under det tidsspann som är intressant ur utrymningssynpunkt.

13.1.2 Scen 2

Vid valet av brandscenario i Scen 2 sammanfördes, vid grovanalys och fördjupad grovanalys, ett flertal tänkbara scenarier till ett enda. Effektkurvan innebär en osäkerhet, den ska svara mot en rad tänkbara scenarier. En annan osäkerhet är informationen som tabell 3.7 i Enclosure Fire Dynamics, (Karlsson & Quintiere, 2000) baseras på. Valet av den maximala effekten innebär den största osäkerheten, men det har tidigare i rapporten påvisats att kritiska förhållanden uppstår innan denna uppnås.

13.1.3 Garderob

En del osäkerheter finns när det gäller användandet av Johanssons (2004) resultat för att göra en effektkurva som återspeglar förhållandena vid teatern. Försöken utfördes i en container vars volym är mindre än teaterns aktuella garderobsstorlek och dessutom tätare. Detta medför att brandens tillväxthastighet troligtvis är lägre i teaterns garderob än i containern vilket ger en flackare effektkurva.

Galgarna är av trä och kläderna kommer att hänga kvar en stund, hur länge är en osäkerhet. Efter ett tag ramlar de ner och bildar en pölbrand, hur detta påverkar effektkurvan är inte medräknat. Det antas att detta sker efter att kritiska förhållanden har uppnåtts i lokalen.

13.2 CFAST

För rapportens två scenarier Scen 1 och Scen 2 är de primära nackdelarna dels att modellen bygger på en svag plymmodell och dels att den arbetar utefter tvåzonsmodellen, vilket bland annat medför homogen temperatur i hela brandgaslagret. Vidare är programmet bäst verifierat för bränder som påminner om bränder i ”normala” bostadshus. Dessa antaganden och avsteg från användningsområdet gör att det i implementeras ännu fler osäkerheter i utdatan. Gruppen har dock medvetet försökt att arbeta med osäkerheterna genom att försöka undvika osäkra data.

Tvåzonsmodellen innebär problem då en brand med liten effekt i ett brandrum med högt till tak inte nödvändigtvis bildar två signifikanta skikt som vid simuleringarna för Scen 1 och 2. Det finns olika sätt att minimera detta problem, exempelvis genom att sektionera brandrummet i olika compartments. Hur detta görs på bästa sätt och hur det påverkar utdatan är dock aningen osäkert. Ett program som bygger på CFD-beräkningar hanterar egentligen

simuleringarna för Scen 1 och Scen 2 bättre än CFAST. Det faktum att CFAST är mer överskådligt beträffande beräkningsförenklingar och antaganden gör att det i dagsläget, sett utifrån gruppens kunskaper, är mindre osäkert att använda än ett CFD program.

13.2.1 Scen 1

Området under publiken valdes att indelas i två compartments, då dessa compartments endast går att utforma likt rätblock, och inte med ett trappstegsliknande tak. Den viktiga funktionen att hindra brandgasernas flöde och kyla dem anses dock till viss mån bibehållas med hjälp av indelningen i de två compartments. Väggarna valdes till gips i simuleringen. I verkligheten var väggarna i scenen av olika typer. Detta avsteg innebär en viss skillnad i CFAST utdata men den är dock troligtvis obetydlig då endast brandens initialskede är av intresse i denna rapport. Ingen hänsyn togs till läckage genom väggarna och det finns inget i simuleringarna som tyder på att det ger någon markant skillnad för utdatan under brandens initialskede.

13.2.2 Scen 2

Trots att lokalen i sig bedöms som stor, är branden i förhållande till geometrin så pass kraftig att rummet kan simuleras som en enda compartment. Men hur väl programmet handskas med det tidiga skedet av tillväxten förblir osagt. Precis som för Scen 1 valdes väggarna till gips, vilket kan ge en liten, men obetydlig skillnad i utdatan. Ingen hänsyn togs till läckage genom väggarna. Det finns inget i simuleringarna som tyder på att det ger någon markant skillnad för utdatan under brandens initialskede.

13.2.3 Garderob

En primär osäkerhet i detta scenario är hur CFAST kan hantera det faktum att brandgaserna kyls av och sjunker när de kommer bort från branden. Sektionering sker men hur bra denna är förblir också osäkert. Precis som för Scen 1 och Scen 2 valdes väggarna till gips, vilket kan ge en liten, men obetydlig skillnad i utdatan. Ingen hänsyn togs till läckage genom väggarna. Det finns inget i simuleringarna som tyder på att det ger någon markant skillnad för utdatan under brandens initialskede.

13.3 Simulex

Osäkerheter i programmet är att det inte tar hänsyn till sådant som att människor utrymmer gruppvis, om en person vid ett bord börjar gå kommer troligtvis bordsgrannarna att göra detsamma. I simuleringarna går alla i princip en och en.

13.3.1 Scen 1

Det finns en osäkerhet i hur de lutande sittplatserna skisserades i Simulex. Trappor lades in för att sammanbinda plan 1 med plan 2, så som sittplatserna gör i verkligheten. Vid simuleringen måste alla börja gå i trappan vid dess fot medan alla stolsrader egentligen ansluter direkt till trappan. Resultatet av detta blev att vissa personer, i simuleringen, har gått en något längre sträcka än nödvändigt.

Trappornas lutning, både i trapphusen och vid sittplatserna, har uppskattats.

Vid simuleringarna antogs att de som utrymde via trapphuset mot bakre delen av huset valde att gå ut genom utgången till vänster, inte åt höger (via sprinklercentralen). Vid trappans fot ses utgången till vänster tydligt och det är den utgång som många av de övriga i publiken utrymde genom.

Vid simulering 1 var båda nödutgångarna tillgängliga men endast den ena användes. Detta beror på att Simulex räknar ut avstånden och personerna i programmet väljer den kortaste vägen ut. Utrymningstiden kan ha förlängts något av att det nu blev fler i den ena nödutgångens öppning och en flaskhals bildades.

För att få varseblivningstiden antogs att publiken reagerade då 60°C varma brandgaser nådde deras fötter. Personer känner smärta efter 1 sekund när de håller i något som är 60°C (SFPE, 1995). En människa tål högre temperatur då värmen istället transporteras i luften men är känslig för temperaturändringar och eventuellt kan publiken komma att reagera innan 60°C uppnås.

13.3.2 Garderob

I verkligheten kan det tänkas att publik och personal försöker att utrymma via foajén, något som medför viss förvirring och som försvårar utrymningen, både vid dörrarna till Scen 1 och i trapphuset. Detta tas ingen hänsyn till i simuleringen.

I restaurangdelen finns egentligen bord som kan komma att försvåra utrymning, något som inte korrigeras med tider eller liknande då osäkerheten då skulle bli större.

Varseblivningstiden hos personerna i restaurangdelen beror av när någon ser branden. Detta kan ske tidigt eller först när branden börjat ta sig ordentligt. För personerna i Scen 1 sattes värmedetektorernas aktiveringstid som varseblivningstid, de ser inte branden och behöver höra utrymningslarmet. Då ingen exakt information angående detektorerna fanns att tillgå uppskattades deras aktiveringstid med hjälp av flera simuleringar i Detact-T2, varför detta blir en osäkerhetskälla. Vid simuleringen hann personerna i restaurangen utrymma byggnaden innan de i Scen 1 ens påbörjat evakueringen. I det verkliga fallet kan det antas att någon från restaurangen väljer att varna dem i Scen 1 vars besluts- och reaktionstid då troligtvis minskas drastiskt.

13.3.3 Scen 2

Vid simuleringen antogs att medelflamhöjden hunnit bli ½ meter innan publik och scenpersonal reagerade. Det kan mycket väl tänkas att det går snabbare än så att upptäcka branden.

Sittplatserna har, i simuleringarna, antagits vara horisontella. De kan dock byggas upp i ett lutande plan liksom vid Scen 1.

13.4 Handberäkningar

Antaganden som kan ha haft signifikant betydelse vid beräkningarna och som gör utdatans likhet med ett verkligt förhållande något osäker är följande:

Härledningen av ekvationerna utgår från en svag plymmodell, en stark modell hade dock varit att föredra med avseende på scenariernas kombination av rumsgeometri och brandeffekt.

Ingen hänsyn tas till värmeförluster, således kommer inte gaserna kylas mot väggar och tak.

14 Diskussion och verifiering av åtgärdsförslag

I detta stycke diskuteras olika förslag till åtgärder utifrån de rådande förhållandena och resultaten av gjorda beräkningar på aktuella brandscenarier. Först diskuteras de åtgärder som gruppen anser som omedelbart nödvändiga och därefter hur Norrbottensteatern bör arbeta med sitt brandskyddsarbete. Luleå räddningstjänsts brandsynsprotokoll visar tydligt på bristen av det sistnämnda.

14.1 Scen 1

I rapporten har det konstaterats att en brand i bråten under läktaren med sittplatser medför stora konsekvenser. Inget brännbart material får därför förvaras under stolarna.

Lokalen rökfylls snabbt, något som kan avhjälpas med hjälp av de brandgasluckor som finns. Det kräver dock att de aktiveras snabbt, när räddningstjänsten öppnar dem manuellt är lokalen redan rökfylld. Brandgasluckorna ska därför kopplas till de detektorer som finns i taket.

Sprinkler finns installerat i Scen 1 men i dagsläget är dess funktion obefintligt. Detta på grund av att plywoodskivor har monterats under sprinklerhuvudena. Skivorna måste tas bort om sprinkler ska kunna släcka eller dämpa en brand.

Samtliga lås på nödutgångarna är i dåligt skick. Detta medför att dörrarna är mycket svåra att öppna. För stressade personer eller personer med nedsatt rörelseförmåga eller styrka kan de te sig nästan omöjliga att öppna. I kapitel 10.1.1 *Scen 1* redovisades att det tog närmare 1 och ½ minut längre att utrymma endast genom entrén än då alla utgångar kunde utnyttjas. Låsen bör därför smörjas eller än hellre bytas och då kan det vara lämpligt att även ha i åtanke att dörrarna ska vara lätta att öppna i en nödsituation oavsett om de är låsta eller inte. Ett alternativ kan vara att installera så kallade panikreglar eller nödöppningsbeslag på dörrarna. Nackdelen med panikreglar är att de kräver ett kontinuerligt underhåll för att fungera och att de slits om de används i onödan. Då dörrarna till scenerna ofta används vid scenändringar och för införsel av rekvisita kan nödöppningsbeslag vara ett föredrag vid de dörrar som används för nämnt ändamål. Bild 14.1 visar en panikregel.



Bild 14.1. Panikregel.

Vid besöket på teatern stod de brandcellsavskiljande dörrarna vid scenen öppna (se 3.1 *Passiva system*) trots att de inte har självstängande dörröppnare. Därmed uppfylldes inte den brandcellsavskiljande funktionen, något som medför att möjligheterna att begränsa branden avsevärt försämras. Skadorna på byggnaden i händelse av brand kan således bli betydligt större än om brandcellsgränsen upprätthålls. En annan aspekt är att brandgaserna kan sprida sig i byggnaden, inte minst till de övre planen. Magnetuppställda dörrar som stänger vid brandlarm kan därför vara ett alternativ eftersom dörrarna måste stå öppna under det dagliga arbetet med scener och uppsättningar. Om detta anses för dyrt bör någon form av kontroll av att brandcellsgränserna upprätthålls ingå i de vardagliga rutinerna. Men detta alternativ ses

som mycket olämpligt eftersom det antagligen endast kommer att upplevas som besvärligt av personalen och därför anses risken överhängande att rutinerna för kontroll avskaffas informellt av personalen. Den sistnämnda åtgärden kräver att personalen utbildas i brandfrågor och därigenom öka deras medvetenhet för hur bränder sprids och vad som kan göras för att begränsa skadorna. Räddningstjänsten anses beröra detta i den brandsyn som gjorts där det påpekas att utbildningsnivån för samtlig personal anses för låg.

14.2 Scen 2

Resultatet av de handberäkningar som gjordes för brandgasventilationen (se kap 9.3 *Brandgasventilation, 10.3.2 Scen 2* samt bilaga E) visade att det behövdes öppningar i taket på ca 5m² för att brandgaslagret inte skulle sjunka lägre än till 3,1 meters höjd. Detta gäller om luckorna är i taket. För scen 2 är en lösning att istället sätta luckor i väggen. En sådan lösning kräver ungefär lika stora öppningar om luckorna kan öppnas helt. Nackdelen med luckor i väggen är att de är mer vindkänsliga än luckor i taket. Att låta installera mekanisk ventilation vore en annan lösning. Det är möjligt då lokalen redan idag har ett eget ventilationssystem. Fläkten skulle då behöva ta ut 16m³/s, det vill säga mer än 57 000m³/h, för scenariobranden. Det är troligt att det inte räcker med endast en fläkt utan att ett flertal fläktar kommer att behöva installeras. Att införa någon av dessa lösningar är en förutsättning för att tillfredsställande utrymning ska kunna ske.

Samtliga lås på nödutgångarna är i dåligt skick. Detta medför att dörrarna är mycket svåra att öppna. I kapitel 10.1.2 *Scen 2* redovisas resultat som ger att det skiljer en minut på om en eller två nödutgångar kan användas. I beräkningarna som ligger till grund för resultaten antogs att dörrarna gick att öppna momentant, om så inte är fallet tar det givetvis betydligt längre tid att utrymma. Om utrymning påbörjas enligt en väg för att sedan behövas bytas mot en annan väg går mycket tid till spillo. De resonemang som fördes om att nödutgångarna kan vara svåra att öppna för en del personer för Scen 1 gäller även för Scen 2. Precis som vid Scen 1 bör låsen smörjas eller bytas som en första åtgärd. Det kan vara lämpligt att ha i åtanke att dörrarna ska vara lätta att öppna i en nödsituation oavsett om de är låsta eller inte om låsen väljs att bytas ut. Precis som för Scen 1 anses panikreglar eller framför allt nödöppningsbeslag vara att föredra till utrymningsdörrarna. Bild 14.2 visar ett nödöppningsbeslag.

En brand kan ta sig snabbt men ändå gå att släcka de första minuterna med en handbrandsläckare Detta förutsätter att det finns handbrandsläckare tillhands och att personalen vet exakt var de står och hur de används.



Bild 14.2 Nödöppningsbeslag.

14.3 Garderoben

En brand i garderoben kan försvåra utrymning kraftigt och åtgärder måste vidtas.

14.3.1 Jalusi för garderoben

Ett sätt att lösa problemet med brand i garderoben kan vara att installera ett jalusi som dras för vid brand. Beräkningar utfördes för att bedöma om åtgärden är rimlig eller ej.

I foajén finns ett frånluftssystem som maximalt kan ta ut 6750m^3 luft per timme, vilket är detsamma som $1,88\text{m}^3$ per sekund. Luftuttaget sker med hjälp av åtta frånluftsdon, varav sex är monterade i garderoben (se kapitel om ventilation, 6.3 Foajén).

Enligt Jensen (2002) ger en brand på 1MW en volymökning av cirka $2,9\text{m}^3/\text{s}$. Detta beror på att luft expanderar när den värms, dessutom bildas brandgaser. Ventilationssystemet kan enligt Jensens tumregel maximalt klara ett flöde på $1,88\text{m}^3/\text{s}$, vilket motsvarar en brand på 0,65MW.

Oavsett om det rör sig om en 100 jackors brand eller en full garderobsbrand nås effekten 0,65 MW efter $\frac{1}{2}$ minut (se kapitel om scenariot, 6.1.3 Brand i garderob). Detektorerna i garderoben aktiverar i bästa fall efter $\frac{1}{2}$ minut (se bilaga F), alltså då branden redan nått den gräns då brandgasspridning börjar ske i ventilationssystemet. Det medför att så fort garderoben stängs kommer brandgaser att strömma ut genom de två övriga frånluftsdonen i foajén, se bild 14.3. Om ventilationssystemets effekt är lägre än $6750\text{m}^3/\text{h}$ kommer brandgaserna att spridas ännu fortare.

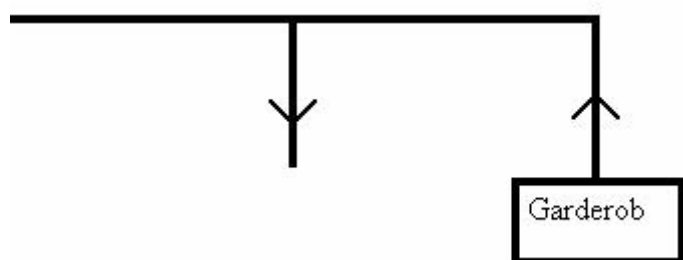


Bild 14.3 Brandgasspridning i ventilationssystemet då garderoben stängts till.

På grund av att det fortsätter komma brandgaser till foajén, är det troligt att kritiska förhållanden uppstår inom de två och en halv minut som det enligt kapitel 11.2.3 Garderoben krävs för en säker utrymning.

Möjligheten att installera brandspjäll i de två aktuella frånluftsdonen finns. Brandspjällens tillförlitlighet är osäker, liksom jalusiernas täthet både vid brandens start och i ett senare skede. Detta gör att gruppen inte tror att installering av brandspjäll nödvändigtvis medför att säker utrymning går att trygga.

Att installera ett jalusi som dras för, automatiskt eller manuellt, i händelse av brand kommer troligen inte ge några signifikanta förbättringar med avseende på utrymningssäkerheten. Dock kan det mycket väl innebära en förbättring av brandskyddet för byggnaden i stort då brandens effekt kan tänkas gå ner, men detta ligger utanför rapportens omfattning.

14.3.2 Sprinkler för garderob och personal med handbrandsläckare

Ett annat alternativ till ett jalusi är att installera sprinkler i garderoben. Sprinklersystemet kommer att behöva aktiveras tidigt och släcka branden relativt snabbt. Detta kan uppnås med ett sprinklersystem med lågt RTI-värde och låg utlösningstemperatur eller som detekterar branden med hjälp av någon detektor. Andra fördelar som installation av sprinkler skulle kunna innebära, exempelvis begränsning av brand, tas inte upp här. Personal som i ett tidigt skede upptäcker branden kommer att kunna, om de har adekvat utbildning och rätt utrustning tillhands, släcka branden. Här är tiden den mest känsliga parametern. Branden måste så gott som vara släckt inom en minut, således är det viktigt med brandsläckare nära tillhands.

Om sprinkler installeras med 1,5 meters mellanrum, $RTI\ 30(ms)^{1/2}$ och utlösningstemperatur $68^{\circ}C$ tar det enligt beräkningar i bilaga G 50 sekunder för en sprinkler att utlösa.

Enligt kapitel 11.2.3 *Garderoben* uppnås kritiska förhållanden utanför garderoben efter en minut alltså ungefär samtidigt som sprinklern utlöser. Därför går inte säker utrymning att trygga utanför garderoben med hjälp av en sådan sprinkler. En CFAST simulering visar att det är ett gränsfall. Om en brand får ta sig så som effektkurvan för 105 jackor visar (se kapitel 6.1.3 *Brand i garderob*), men avslutas vid 50 sekunder för att gå mot noll de kommande 20 sekunderna, det vill säga släcks, erhålls diagram 14.1 från CFAST. Detta kan vara exempel på en släckinsats med handbrandsläckare som satts igång sent. Resultaten visar på att en tidig släckning är viktig. CFAST simuleringarna utgår från samma uppställning som redovisas i kapitel 8.3 *Garderob* (se bild 14.4) fast med de nya effektkurvorna. Kritisk brandgaslagerhöjd enligt BBR är för foajén 1,8 meter.

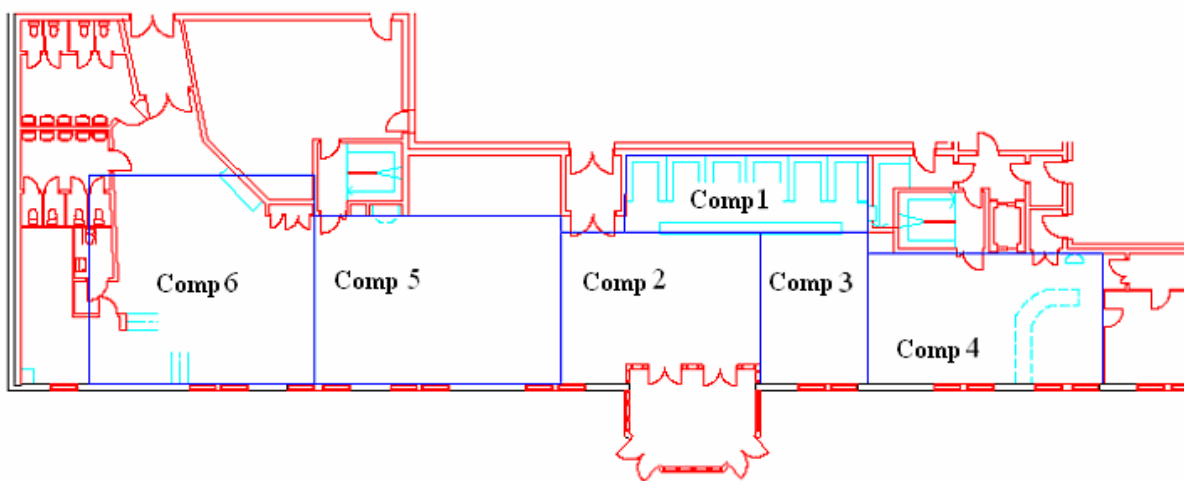


Bild 14.4 Uppdelning av compartments i foajén.

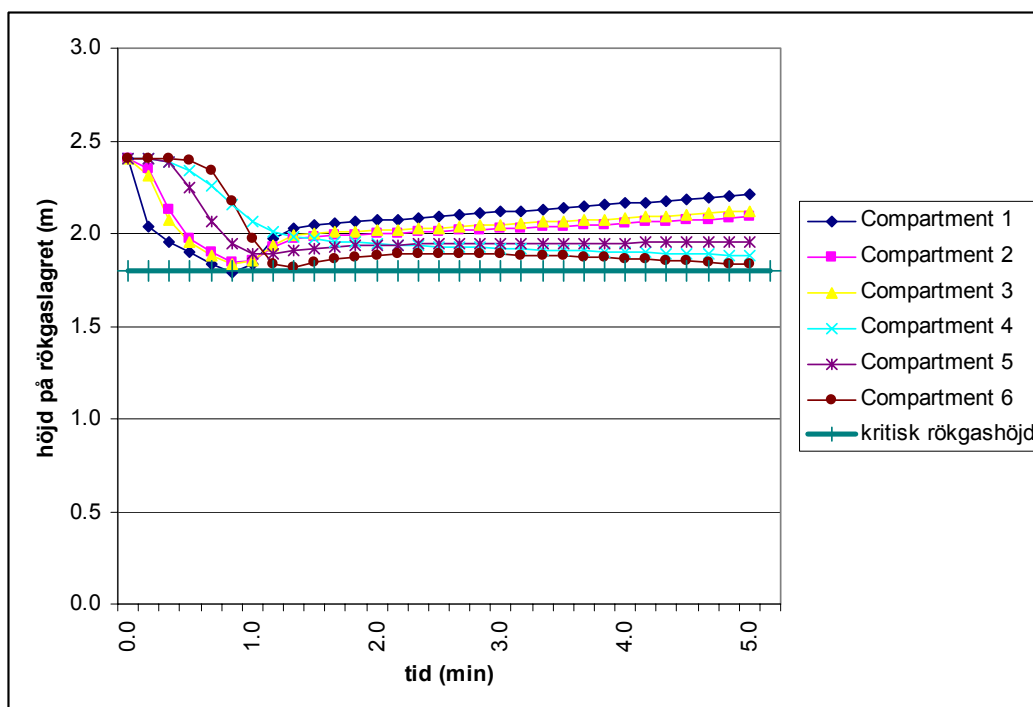


Diagram 14.1 Brandgaslagrets höjd då släckinsats påbörjas efter 50 sekunder och branden släcks efter 70 sekunder.

Det krävs en djupare undersökning för att kunna verifiera att ett sprinklersystem verkligen släcker branden. Utifrån resonemangen och beräkningarna i denna rapport kan sprinkler inte rekommenderas som en lösning av utrymningsproblematiken för foajén vid en garderobsbrand. Det kan dock tänkas att ett sprinklersystem vore en bra lösning, men då måste det verifieras att sprinklern verkligen släcker branden.

14.3.3 Garderobssektionering

Sektionering kan vara en lösning men det kräver att det är små sektioner, kanske till och med orealistiskt små. Små sektioner tillsammans med utbildad personal och med rätt släckutrustning tillhanda kan vara tillräckligt för att branden ska kunna släckas i ett tidigt skede. Sektionerna skulle kunna utgöras av gipsväggar monterade från golv till tak.

Utifrån hypotesen att branden i initialskedet utvecklas enligt samma αt^2 -kurva oavsett hur många jackor som hänger i garderoben och att det är antalet jackor som styr maximal effekt, dras slutsatsen att det måste vara väldigt små sektioneringar om detta ska fungera. Utan att diskutera alla osäkerheter kan det konstateras att en brand i hundra jackor når sitt maximum vid 4MW. En garderobsbrand orsakar kritiska förhållanden redan efter en minut då branden har kommit upp i en effekt på 1MW, vilket motsvarar 25 jackors tänkta maximum. Således måste jackorna delas upp på sektioner om färre än 25 jackor styck för att det ska göra någon skillnad. Hur små sektionerna bör vara verifieras bäst med experiment. En sektionerad garderob kan göra en släckinsats med handbrandsläckare enklare då spridning till en början förhindras.

14.4 Foajén

I foajén finns en vägledande markering som hänvisar till utrymning via köket. Köket är dock både smalt och trångt, vid besöket var dessutom nödutgången blockerad, och därför rekommenderas att denna utrymningsväg inte används. Istället bör andra alternativa vägar

utmärkas tydligare. Exempelvis kan utrymning ske via de tre scenerna, eller, om möjlighet finns, genom de glaspartier som vätter ut mot hamnen. Se även förslag om dörrbredder i kapitel 14.10 *Allmänt i teatern*.

14.5 Scen 3

I 5.2.9 diskuterades brand i baren, orsakad av en anordning för uppvärmning av mat. Det viktigaste att tänka på för att förhindra brand är naturligtvis att stänga av plattorna och att se till att inget lättantändligt finns direkt intill anordningen. En brandsläckare bör alltid finnas till hands om något skulle inträffa. Vid besöket stod dock en brandsläckare tillhörande Scen 3 vid sprinklercentralen. Detta försämrar kraftigt personalens möjligheter att släcka en initial brand innan den hunnit tillta. Hindras inte branden kan den äventyra den personella säkerheten och även orsaka stora skador på byggnaden.

14.6 Elektronikrummet

I kapitel 5.2.2 beskrivs att en av dörrarna som leder ut från biblioteket och som är markerad som nödutgång vid besöket var låst vilket medför att det kan antas att så oftast är fallet. En nödutgång får inte vara låst på ett sådant sätt att det förhindrar utrymning. I detta fall innebär den låsta dörren en återvändsgränd. Skulle en brand uppkomma i elektronikrummet vid Scen 1 när ovan nämnda nödutgång är låst blir den enda användbara nödutgången mycket tveksam. Den skulle då helt bero på hur väl en BD 60 dörr, som kanske inte är stängd, håller undan branden och brandgaserna. Med anledning av ovanstående bör rutiner för kontroll av att utrymningsdörren inte är låst införas. Om detta inte betraktas som genomförbart anses ett nödöppningsbeslag vara att föredra eftersom denna ser till att dörren alltid går att öppna även om den är låst.

14.7 Dekorförråd

En eller två branddetektorer ska installeras i dekorförrådet. På så sätt kan en kraftig brand, med obehagliga spridningsscenarioer i centrum av byggnaden, undvikas. Larmknapp samt detektor i angränsande passage anses inte vara tillräckligt. Branden valdes att inte undersökas vidare (se 5.2.4 i kapitel 5 *Fördjupad grovanalys*) då det under dagtid är mycket folk i rörelse i utrymmet. Det finns trots det en risk att en brand inte upptäcks och kan ta sig, något som kan medföra en snabb spridning till Scen 1 eller 3. För att undersöka detektionstider genomfördes beräkningar med hjälp av Detact-T2. En detektionstid på 3 minuter erhöles då det inte finns en detektor i förrådet utan endast i passagen utanför (aktuell situation vid rapportens tillkomst). Vidare gavs en tid på 2 minuter om en detektor installeras i förrådet och 1 minut om två detektorer installerats i förrådet (se bilaga G). Då beräkningar gjordes för fallet med ingen deckare i förrådet antogs att dörren stod öppen mellan förrådet och passagen. I förrådet är takhöjden stor och brandgaserna kommer att kylas, både av luften och av taket. Värmen kommer att minska och sotet kommer att koagulera till större partiklar. Utifrån detta kan en optisk ljusspridningsdetektor vara att rekommendera.

14.8 Mixerbord

I grovanalysen diskuteras brand i mixerbord i Scen 1, 2 och 3 (se 5.2.1 och 5.2.8). Dessa scenarier sållades bort av olika anledningar i grovanalysen och den fördjupade grovanalysen. Även om scenarierna inte analyserades mer ingående anses åtgärden för att förhindra

spridningen av en sådan brand vara så pass elementär att någon analys inte behövs för att föreslå den.

Brandsläckare för placering vid samtliga mixerbord bör införskaffas. På så sätt kan en brand i mixerbord hindras att spridas, dessutom anses åtgärden medföra att brandsäkerheten generellt förbättras för scenerna eftersom personen vid mixerbordet snabbt kan angripa en initial brand på många ställen i Scen 1, 2 och 3.

14.9 Förråd vid Scen 2

I avsnitt 5.2.6 i den fördjupade grovanalysen diskuteras brand i det förråd som finns i anslutning till Scen 1 och 2. Tändkällan sades kunna vara brand i kylskåp. En enkel åtgärd är att se till att brännbart material inte står bredvid kylskåpet, finns det inget bränsle begränsas branden.

14.10 Allmänt i teatern

Vid objektsbesöket (se 3 *Befintligt brandskydd*) uppmärksammades att skyltningen av släckutrustning och nödutgångar var rörig. Utrymningen får inte hindras av orienteringssvårigheter. Vissa av skyltarna var dessutom av äldre modell dessa måste bytas ut (BBR 5:351, 2002). För en lyckad utrymning måste personerna få klara besked om vart de ska gå, otydliga markeringar leder till längre utrymningstider. För exempel på hur det såg ut vid besöket se bild 3.6, 3.7 och 3.10.

Det är viktigt att nödutgångarna hålls fria från löst material då framkomligheten annars försämras. Vissa av utrymningsvägarna var vid besöket i stort sett oframkomliga, se till exempel bild 3.8, något som inte är acceptabelt.

Släckutrustning ska finnas tillgänglig överallt, enligt BBR 12.5.1 (2002) ska avståndet vara högst 25 meter till närmaste släckredskap. Det bör fastställas platser för placering av släckutrustning och investeras i för ändamålet lämpliga upphängningsanordningar. Platsen var släckarna finns ska tydligt kunna ses med hjälp av skyltning. Kedjor eller annat möblemang får inte skymma släckutrustningen. Se bild 3.5 och 3.9.

Vid besöket fanns som nämnt i 3.3 *Systematiskt brandskyddsarbete* ingen utrymningsplan. Det är viktigt att en sådan görs, där kommer bland annat släckutrustningen att finnas utsatta och orienteringen underlättas för personer utan lokalkännedom av teatern.

Som visats i kapitel 7.1 *Råd enligt BBR* bör dörrbredder i Scen 3 och foajé ökas. Entrédörrarna kan göras större genom att ta bort mittenpelaren och bredda på sidorna.

14.11 Ledning och personal

Förslagen som diskuterats i ovanstående stycken bygger på de analyser som utförts i denna rapport. I kommande stycke diskuteras hur dessa kan sammankopplas till en helhet och vad som bör göras för att åstadkomma detta. Detta stycke skall försöka ge förslag på hur en lärande organisation inom brandfrågor kan initialiseras. Detta för att författarna anser att det verkliga problemet är att det saknas en kunskap om hur man skall arbeta generellt med brandskyddsarbete (se kap 3 *Befintligt brandskydd*) och att de tekniska bristerna till stor del är

ett resultat av detta. Genom systematiskt brandskyddsarbete går det att uppnå en avsevärt bättre brandsäkerhet, även med enkla medel.

Inom riskhanteringsområdet pratas det ofta om lärande organisationer och dess fördelar. Argyris (<http://www.infed.org/thinkers/argyris.htm>) visar på en bra och vedertagen modell för lärande inom organisationer. Modellen bygger på att fel inte skall rättas till endast då de uppträder utan att en förståelse för varför felen uppstår skall erhållas för att på så sätt angripa orsaken till att felen uppkommer. Bild 14.5 visar hur en lärande organisation bör jobba med double-loop lärande istället för single-loop lärande som Norrbottensteatern idag tillämpar vid brandskyddsarbetet. Double-loop lärandet innebär det som beskrivits ovan, att orsakerna till felens uppkomster angrips istället för att enskilda fel åtgärdas.

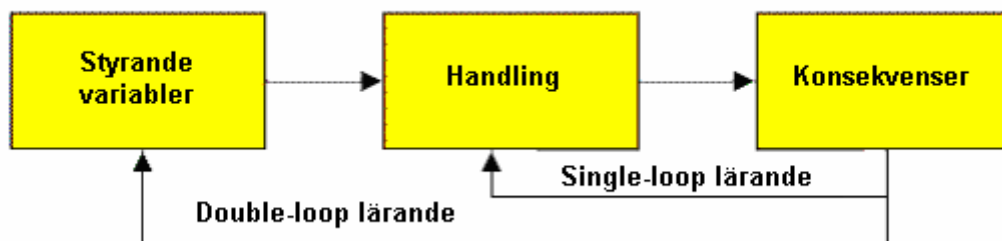


Bild 14.5 Modell över lärandet inom organisationer, single-loop respektive double-loop lärande.

Bild 14.5 visar hur de styrande variablerna skall ifrågasättas, i Norrbottenteaterns fall dess generella arbetsgång vid det systematiska brandskyddet. Det anses nämligen inte finnas något fungerande system för denna och det är därför som de tekniska brister som både Luleå räddningstjänst tar upp i sin brandsyn och denna rapport belyser existerar. Om teatern själv aktivt arbetade med brandskyddsfrågor är det författarnas uppfattning att frekvensen av de återkommande bristerna som Luleå räddningstjänst har påpekat skulle minska.

Norrbottensteaterns ledning bör fråga sig varför bristerna existerar och framför allt varför dessa ej åtgärdas. Ett tydligt exempel på detta är att en del av de brister som påpekades av Räddningstjänsten i Luleå fortfarande var uppenbara vid det objektsbesök som gjordes för den här rapporten. Att vitala brister som påpekats inte åtgärdats trots att nästan ett år fortlöpt anses som oacceptabelt av författarna. Vidare anser författarna att det är ledningens ansvar att ett fungerande brandskyddsarbete implementeras i företaget. Det är visat att ledningens engagemang i säkerhetsfrågor är avgörande för hur väl säkerhetsarbetet fungerar (Axelsson, 2005). Dessutom anses en ökad förståelse och medvetenhet om brandfrågor hos personalen öka genomslagskraften för att arbeta med brandförebyggande arbete och därigenom skulle säkerhetsnivån höjas avsevärt. En ökad förståelse erhålles i och med utbildning. Därför anses utbildning av samtlig personal på alla nivåer från ledning till lägre nivåer nödvändig. Utbildningen för ledningen bör mer inriktas på förståelse för hur bränder uppkommer och sprids samt hur man organisatoriskt organiserar ett fungerande arbete med brand- och säkerhetsfrågor medan personalens utbildning mer bör inriktas på hur olika släckutrustning fungerar, hur man i det dagliga arbetet undviker beteenden som ökar brandrisken och hur personal skall agera vid händelse av brand. Naturligtvis bör en del av ledningens utbildning om hur bränder uppkommer och sprids även genomföras för personalen och vice versa. Men en fördelning av något slag av utbildningsinriktning för ledning och personal bör göras. Det bör inrättas rutiner för hur underhållet av teatern i stort skall skötas och vilka som är ansvariga för att de passiva och aktiva brandskyddssystemen underhålls. En brandskyddsansvarig bör utses och tilldelas resurser för att klara av sina åtaganden. Det som har diskuterats i 14.11 *Ledning och personal* syftar till att ge Norrbottensteatern en ansats till hur de kan höja

utrymningssäkerheten, som är det väsentliga i den här rapporten, samt förbättra brandskyddsarbetet generellt. Att långsiktigt höja den allmänna brandsäkerheten bör vara det övergripande målet för Norrbottensteatern.

15 Åtgärdsförslag

Saker som ska åtgärdas:

- Allt löst brännbart material ska tas bort från utrymmet under sittläktaren i Scen 1.
- Brandgasluckorna ska kopplas till detektorerna för snabb aktivering.
- Plywoodskivor under sprinkler ska tas bort.
- Lås på dörrar vid Scen 1 och 2 ska smörjas eller helst bytas. En rekommendation är att byta till nödöppningsbeslag.
- Brandgasventilation i form av mekanisk ventilation ska installeras i Scen 2.
- Brandcells dörrar ska vara stängda då de inte används. Självstängande dörrar ska därför installeras på brandcells dörrar alternativt ska dagliga rutiner på att upprätthålla brandcellerna införas.
- En brandansvarig med utbildning på handbrandsläckare ska alltid finnas vid garderoben. En rekommendation är att garderoben sektioneras för att underlätta släckning.
- Brandskyddsutrustning, till exempel brandsläckare, ska finnas på rätt plats och vara rätt uppmonterad för smidig och snabb hantering.
- En eller två optiska ljusspridningsdetektorer ska installeras i dekorförrådet.
- Nödutgång vid konferensrummet (nära elektronikrummet) får inte vara låst. En rekommendation är att byta till nödöppningsbeslag.
- Skylten för utrymning via köket ska tas bort, andra vägar ska tydligt markeras ut.
- Gamla skyltar ska bytas mot nya. Förvirrande skyltning ska justeras.
- Utrymningsvägar ska göras framkomliga.
- En utrymningsplan ska upprättas

Saker som bör åtgärdas:

- Lås på dörrar vid Scen 3 bör smörjas eller helst bytas. En rekommendation är att byta till nödöppningsbeslag.
- Brandsläckare bör införskaffas till mixerborden vid de tre scenerna.
- Dörr mellan Scen 3 och foajé bör ökas från 0,9 meter till 1,2 meter.
- Entrédörrarna bör ökas från totalt 3 meter till minst 5,3 meter.

För ett fortsatt bra brandskydd bör ledningen:

- Utbildas på att förstå hur bränder uppkommer och sprids.
- Införa rutiner för underhållet av teatern.
- Utse en brandskyddsansvarig.
- Utbilda personal om användning av släckutrustning och ett säkert tänkande vid arbete.
- Implementera en lärande organisation i enlighet med det som sagts i *14.11 Ledning och personal*.

Källförteckning

Böcker

Drysdale, D. (2003) *An Introduction to Fire Dynamics*. John Wiley & Sons, andra upplagan. Chichester

Karlsson, B. & Quintiere, J. (2000) *Enclosure Fire Dynamics*. CRC Press LLC. Boca Ranton.

The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (1995). Avsnitt av Purser, D. National Fire Protection Association. Andra upplagan. Quincy

Föreskrifter

Boverkets Byggregler, BBR (2002) Boverket. Elanders Gotab. Vällingby.

Rapporter

Abrahamsson, M. (1998) *Scenariotänkande vid brandsyn – utrymning av samlingslokaler*. Räddningsverket. Karlstad

Bengtsson, S., Blomqvist, J. mfl (2002) *Brandskyddshandboken*. Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Frantzich, H. (2001) *Tid för utrymning vid brand*. Räddningsverket. Karlstad

Jensen, L. (2002) *Brandgasspridning via ventilationssystem*. Avdelningen för installationsteknik, Institutionen för byggande och arkitektur, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Särdqvist, S. (1993) *Initial fires*. Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Utrymningsdimensionering (2004). Boverket. Lenanders Tryckeri AB. Kalmar

Examensarbeten

Axelsson, O. Dupont Chemosweds arbetsgång vid en konsekvensanalys. Examensarbete. Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund

Johansson, B. (2004) *Analys av utrymningssäkerheten vid brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå*. Examensarbete. Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Kompendium

Holmstedt, G. & Nilsson, D. (2005) *Kompendium i kursen Aktiva System (VBR 082)*. Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund.

Muntliga källor

Björn Johansson, Räddningsverket. 2005-11-12

Daniel Nilsson. Doktorand. Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund. 2005-11-11

Elektroniska källor

<http://fire.nist.gov/fastdata/>. NIST, National Institute of Standards and Technology, Building and Fire Research Laboratory, Fire on the Web. Description File: PH1. 2005-10-07

<http://www.infed.org/thinkers/argyris.htm>. Infed. Chris Argyris: theories of action, double-loop, learning and organizational learning. 2005-11-16. Se även <http://www.infed.org/thinkers/et-schon.htm>. Infed. Donald Schon (schön): learning, reflection and change. 2005-11-16

Bilaga A Utdata för Simulex-simuleringar

För att visa hur utdatan ser ut från en simulex-simulering följer resultatet från simulering 1 för Scen 2. Vid simuleringen gick alla utgångar att utrymma genom.

Number of Floors = 1
Number of Staircases = 0
Number of Exits = 3
Number of Links = 0
Number of People = 135

Plan1 (DXF file: Gällande ritn...dxf) (Size: 63.619,33.798 metres)

Number of People Initially in This Floor = 135

Entre1 : (28.11,0.83 m), -135.00 degrees, 1.70 m wide

Entre2 : (32.42,0.90 m), -45.00 degrees, 1.70 m wide

Utgång : (16.45,33.64 m), -90.00 degrees, 1.30 m wide

All people reached the exit in 3:54.7.

Number of people through all exits over 5-second periods

Time(s), N (People)

5 0

10 0

Här är klippt eftersom ingen utrymmer.

110 0

115 0

120 0

125 5

130 5

135 5

140 5

145 8

150 9

155 10

160 11

165 10

170 10

175 4

180 4

185 5

190 4

195 4

200 5

205 4

210 5

215 4

220 4

225 5

230 4

235 5

Number of people through Entre1 over 5-second periods

Time(s), N (People)

5 0

10 0

Här är klippt eftersom ingen utrymmer.

135 0

140 0

145 1

150 3

155 4

160 4

165 4

170 5

175 4

180 4

185 5

190 4

195 4

200 5

205 4

210 5

215 4

220 4

225 5

230 4

235 5

Number of people through Entre2 over 5-second periods

Time(s), N (People)

Ingen redovisas här eftersom ingen utrymmer denna vägen

Number of people through Utgång over 5-second periods

Time(s), N (People)

5 0

10 0

Här är klippt eftersom ingen utrymmer.

110 0

115 0

120 0

125 5

130 5

135 5

140 5

145 7

150 6

155 6

160 7

165 6

170	5
175	0
180	0

Bilaga B Simulexberäkningar och uppställningar

Scen 1

För Scen 1 gjordes två olika beräkningar för bestämning av varseblivningstiden. Först beräknades det vid vilken effekt flamhöjden var 0,8m, då en flamma med denna höjd troligtvis syns från scen.

$$\text{Area} = 1\text{m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1}{\pi}} = 1,13$$

$$L = 0,235 \cdot 200^{2/5} - 1,02 \cdot 1,13 = 0,8\text{m}$$

Enligt effektkurvan för Scen1 är effekten 200 kW efter 150s.

Sedan beräknades hur lång tid det tar innan brandgaserna i plymen når en temperatur på 60°C, eftersom detta är en temperatur som publiken troligen reagerar på.

$$\Delta T_0 = 25 \left(\frac{Q_c^{2/5}}{z - z_0} \right)^{5/3}$$

$$z_0 = 0,083 Q^{2/5} - 1,02D$$

$$Q = \left(\frac{\Delta T_0^{3/5} (z + 1,02D)}{25^{3/5} \cdot 0,7^{2/5} + \Delta T_0^{3/5} \cdot 0,083} \right)^{5/2} = 63\text{kW}$$

Enligt effektkurva för Scen 1 är effekten 63 kW efter 40s.

Uppställningen av simulering för utrymning av Scen 1 visas nedan i Bild B1 och B2. Samma uppställning användes för de två utrymningssimuleringarna.

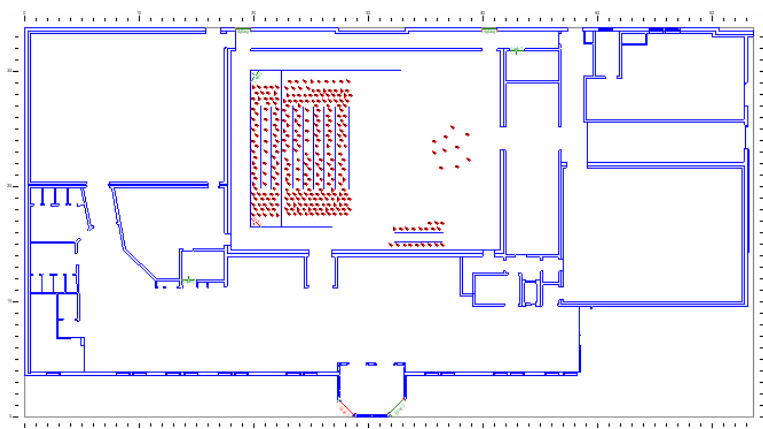


Bild B1 Plan 1, utrymningssimulering för Scen 1

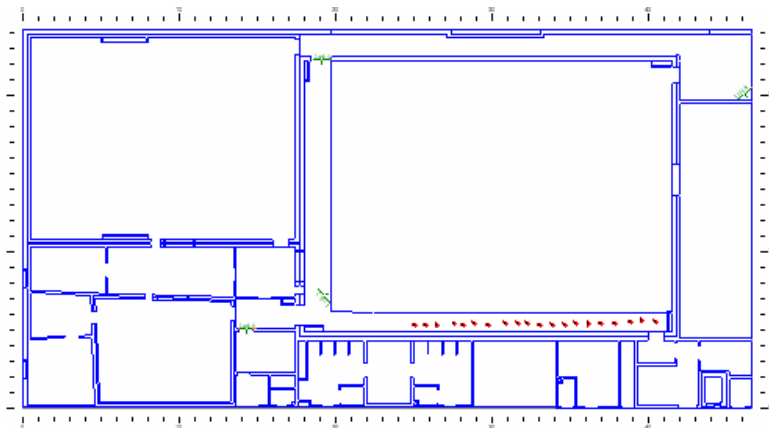


Bild B2 Plan 2, utrymningssimulering för Scen 1

Scen 2

För Scen 2 gjordes en beräkning för bestämning av varseblivningstiden. Effekten beräknades vid en flamhöjd på 0,52m, då en flamma med denna höjd troligtvis är synlig för publiken.

$$\text{Area} = 4\text{m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 4}{\pi}} = 2,26\text{m}$$

$$L = 0,235 \cdot 500^{2/5} - 1,02 \cdot 2,26 = 0,52\text{m}$$

Enligt effektkurvan för Scen 2 är effekten 500 kW efter en knapp minut.

Uppställningen av simulering för utrymning av Scen 2 visas nedan i Bild B3. Samma uppställning användes för de två utrymningssimuleringarna.

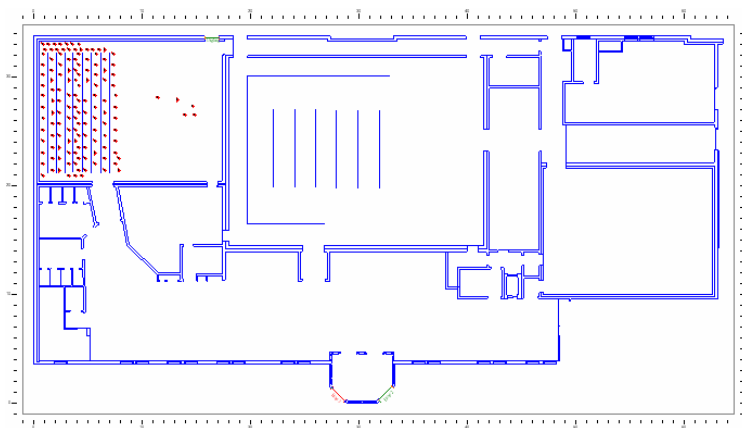


Bild B3 Plan 1, utrymningssimulering för Scen 2

Garderoben

För garderobsbranden bestämdes varseblivningstiden för publiken på Scen 1 till samma tid som garderobsdetektorernas detektionstid. Detektionstiden beräknades med Detact-T2.

För beskrivning av programmet Detact-T2, se bilaga F.

- *Detact för garderob, RTI=1*

ENTER: 1 FOR ENGLISH UNIT INPUT
2 FOR METRIC UNIT INPUT

2

ENTER THE AMBIENT TEMPERATURE IN DEGREES C.

20

ENTER THE DETECTOR RESPONSE TIME INDEX (RTI) IN (M-SEC)^{1/2}.

1

ENTER THE DETECTOR ACTIVATION TEMPERATURE IN DEGREES C.

50

ENTER A DETECTOR RATE OF RISE IN DEGREES C/MINUTE.

4

ENTER THE CEILING HEIGHT IN METERS.

2.4

ENTER THE DETECTOR SPACING IN METERS.

7.2

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

U

RESULTS:

CEILING HEIGHT = 2.40 METERS (7.87 FEET)
DETECTOR SPACING = 7.20 METERS (23.62 FEET)

DETECTOR RTI = 1.0 (M-SEC)^{1/2} (1.8 (FT-SEC)^{1/2})

FIRE GROWTH CONSTANT = 0.1876E+03 JOULES/(SEC³)
(0.1778E+00 BTU/SEC³)

<RETURN> TO CONTINUE

FOR TEMPERATURE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION TEMPERATURE = 50.0 DEGREES C (122.0 DEGREES F)

TIME TO ACTIVATION = 1.18 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.9328E+03 KILOJOULES/SEC
(0.8842E+03 BTU/SEC)

FOR RATE OF RISE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION RATE OF RISE = 4.00 DEGREES C/MIN (7.20 DEGREES F/MIN)

TIME TO ACTIVATION = 0.60 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.2416E+03 KILOJOULES/SEC
(0.2290E+03 BTU/SEC)

- *Detact för garderob, RTI=10*

ENTER: 1 FOR ENGLISH UNIT INPUT
2 FOR METRIC UNIT INPUT

2

ENTER THE AMBIENT TEMPERATURE IN DEGREES C.
20

ENTER THE DETECTOR RESPONSE TIME INDEX (RTI) IN (M-SEC)*1/2.
10

ENTER THE DETECTOR ACTIVATION TEMPERATURE IN DEGREES C.
50

ENTER A DETECTOR RATE OF RISE IN DEGREES C/MINUTE.
4

ENTER THE CEILING HEIGHT IN METERS.
2.4

ENTER THE DETECTOR SPACING IN METERS.
7.2

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

U

RESULTS:

CEILING HEIGHT = 2.40 METERS (7.87 FEET)
DETECTOR SPACING = 7.20 METERS (23.62 FEET)

DETECTOR RTI = 10.0 (M-SEC)**1/2 (18.1 (FT-SEC)**1/2)

FIRE GROWTH CONSTANT = 0.1876E+03 JOULES/(SEC**3)
(0.1778E+00 BTU/SEC**3)

<RETURN> TO CONTINUE

FOR TEMPERATURE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION TEMPERATURE = 50.0 DEGREES C (122.0 DEGREES F)

TIME TO ACTIVATION = 1.35 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.1234E+04 KILOJOULES/SEC
(0.1170E+04 BTU/SEC)

FOR RATE OF RISE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION RATE OF RISE = 4.00 DEGREES C/MIN (7.20 DEGREES F/MIN)

TIME TO ACTIVATION = 0.64 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.2792E+03 KILOJOULES/SEC
(0.2646E+03 BTU/SEC)

- *Detact för garderob 40° resp 6°/min*

ENTER: 1 FOR ENGLISH UNIT INPUT

2 FOR METRIC UNIT INPUT

2

ENTER THE AMBIENT TEMPERATURE IN DEGREES C.

20

ENTER THE DETECTOR RESPONSE TIME INDEX (RTI) IN (M-SEC)**1/2.

1

ENTER THE DETECTOR ACTIVATION TEMPERATURE IN DEGREES C.

40

ENTER A DETECTOR RATE OF RISE IN DEGREES C/MINUTE.

6

ENTER THE CEILING HEIGHT IN METERS.

2.4

ENTER THE DETECTOR SPACING IN METERS.

7.2

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

U

RESULTS:

CEILING HEIGHT = 2.40 METERS (7.87 FEET)

DETECTOR SPACING = 7.20 METERS (23.62 FEET)

DETECTOR RTI = 1.0 (M-SEC)**1/2 (1.8 (FT-SEC)**1/2)

FIRE GROWTH CONSTANT = 0.1876E+03 JOULES/(SEC**3)
(0.1778E+00 BTU/SEC**3)

<RETURN> TO CONTINUE

FOR TEMPERATURE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION TEMPERATURE = 40.0 DEGREES C (104.0 DEGREES F)

TIME TO ACTIVATION = 1.02 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.7089E+03 KILOJOULES/SEC
(0.6720E+03 BTU/SEC)

FOR RATE OF RISE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION RATE OF RISE = 6.00 DEGREES C/MIN (10.80 DEGREES F/MIN)

TIME TO ACTIVATION = 0.61 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.2486E+03 KILOJOULES/SEC
(0.2356E+03 BTU/SEC)

- *Detact för garderob 55° resp 8°/min*

ENTER: 1 FOR ENGLISH UNIT INPUT
2 FOR METRIC UNIT INPUT

2

ENTER THE AMBIENT TEMPERATURE IN DEGREES C.

20

ENTER THE DETECTOR RESPONSE TIME INDEX (RTI) IN (M-SEC)*1/2.

1

ENTER THE DETECTOR ACTIVATION TEMPERATURE IN DEGREES C.

55

ENTER A DETECTOR RATE OF RISE IN DEGREES C/MINUTE.

8

ENTER THE CEILING HEIGHT IN METERS.

2.4

ENTER THE DETECTOR SPACING IN METERS.

7.2

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

U

RESULTS:

CEILING HEIGHT = 2.40 METERS (7.87 FEET)
DETECTOR SPACING = 7.20 METERS (23.62 FEET)

DETECTOR RTI = 1.0 (M-SEC)**1/2 (1.8 (FT-SEC)**1/2)

FIRE GROWTH CONSTANT = 0.1876E+03 JOULES/(SEC**3)
(0.1778E+00 BTU/SEC**3)

<RETURN> TO CONTINUE

FOR TEMPERATURE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION TEMPERATURE = 55.0 DEGREES C (131.0 DEGREES F)

TIME TO ACTIVATION = 1.25 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.1048E+04 KILOJOULES/SEC
(0.9938E+03 BTU/SEC)

FOR RATE OF RISE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION RATE OF RISE = 8.00 DEGREES C/MIN (14.40 DEGREES F/MIN)

TIME TO ACTIVATION = 0.61 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.2551E+03 KILOJOULES/SEC
(0.2418E+03 BTU/SEC)

- *Detact för garderob 60° resp 10°/min. "Värsta fallet".*

ENTER: 1 FOR ENGLISH UNIT INPUT

2 FOR METRIC UNIT INPUT

2

ENTER THE AMBIENT TEMPERATURE IN DEGREES C.

20

ENTER THE DETECTOR RESPONSE TIME INDEX (RTI) IN (M-SEC)**1/2.

1

ENTER THE DETECTOR ACTIVATION TEMPERATURE IN DEGREES C.

60

ENTER A DETECTOR RATE OF RISE IN DEGREES C/MINUTE.

10

ENTER THE CEILING HEIGHT IN METERS.

2.4

ENTER THE DETECTOR SPACING IN METERS.

7.2

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

U

RESULTS:

CEILING HEIGHT = 2.40 METERS (7.87 FEET)

DETECTOR SPACING = 7.20 METERS (23.62 FEET)

DETECTOR RTI = 1.0 (M-SEC)**1/2 (1.8 (FT-SEC)**1/2)

FIRE GROWTH CONSTANT = 0.1876E+03 JOULES/(SEC**3)

(0.1778E+00 BTU/SEC**3)

<RETURN> TO CONTINUE

FOR TEMPERATURE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION TEMPERATURE = 60.0 DEGREES C (140.0 DEGREES F)

TIME TO ACTIVATION = 1.31 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.1167E+04 KILOJOULES/SEC
(0.1106E+04 BTU/SEC)

FOR RATE OF RISE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION RATE OF RISE = 10.00 DEGREES C/MIN (18.00 DEGREES F/MIN)

TIME TO ACTIVATION = 0.62 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.2613E+03 KILOJOULES/SEC
(0.2477E+03 BTU/SEC)

- *Detact för garderob 40° resp 4°/min. "Bästa fallet"*

ENTER: 1 FOR ENGLISH UNIT INPUT
2 FOR METRIC UNIT INPUT

2

ENTER THE AMBIENT TEMPERATURE IN DEGREES C.

20

ENTER THE DETECTOR RESPONSE TIME INDEX (RTI) IN (M-SEC)*1/2.

1

ENTER THE DETECTOR ACTIVATION TEMPERATURE IN DEGREES C.

40

ENTER A DETECTOR RATE OF RISE IN DEGREES C/MINUTE.

4

ENTER THE CEILING HEIGHT IN METERS.

2.4

ENTER THE DETECTOR SPACING IN METERS.

7.2

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

U

RESULTS:

CEILING HEIGHT = 2.40 METERS (7.87 FEET)
DETECTOR SPACING = 7.20 METERS (23.62 FEET)

DETECTOR RTI = 1.0 (M-SEC)**1/2 (1.8 (FT-SEC)**1/2)

FIRE GROWTH CONSTANT = 0.1876E+03 JOULES/(SEC**3)
(0.1778E+00 BTU/SEC**3)

<RETURN> TO CONTINUE

FOR TEMPERATURE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION TEMPERATURE = 40.0 DEGREES C (104.0 DEGREES F)

TIME TO ACTIVATION = 1.02 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.7089E+03 KILOJOULES/SEC
(0.6720E+03 BTU/SEC)

FOR RATE OF RISE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION RATE OF RISE = 4.00 DEGREES C/MIN (7.20 DEGREES F/MIN)

TIME TO ACTIVATION = 0.60 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.2416E+03 KILOJOULES/SEC
(0.2290E+03 BTU/SEC)

Uppställningen av simulering för utrymning av Scen 2 visas nedan i Bild B3. Samma uppställning användes för de två utrymningssimuleringarna.

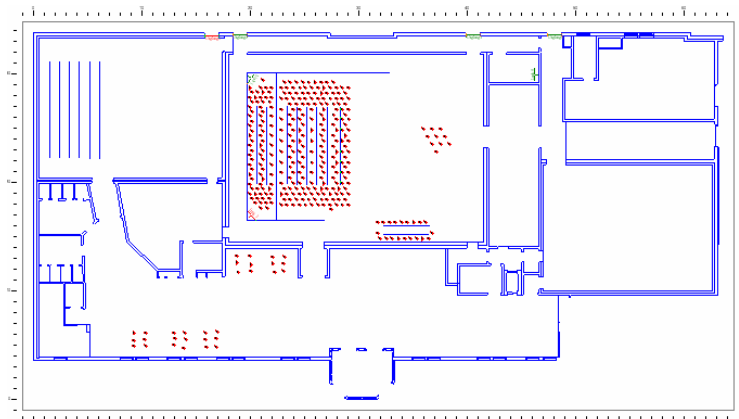


Bild B4 Plan1, utrymningssimulering vid garderobsbrand

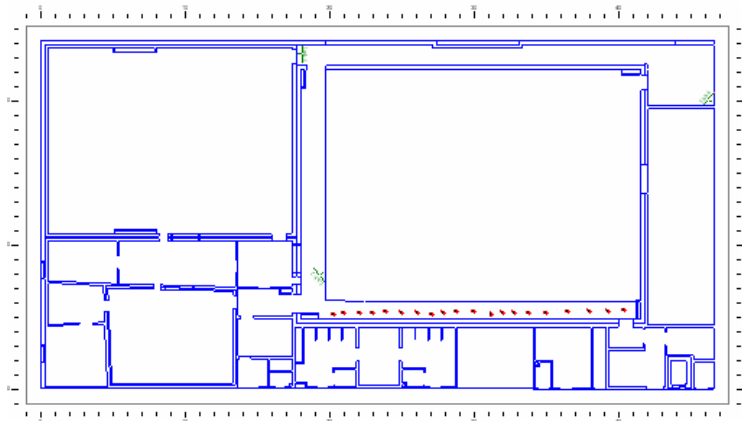


Bild B5 Plan 2, utrymningssimulering vid garderobsbrand

Bilaga C CFAST geometrirekommendationer

CFAST fungerar bäst för rum med normal rumsstorlek. Därför finns det rekommendationer för hur geometri och effektutveckling bör se ut för att så bra resultat som möjligt ska kunna nås. Stämmer det aktuella rummet inte med rekommendationerna kan detta lösas genom att det istället delas upp i mindre sektioner. Osäkerheterna kan dock anses bli större då.

För acceptabla resultat

Längd / bredd ≤ 3

Längd / höjd $\leq 3-4$

Effekt $\geq 5 \cdot \text{längd} \cdot \text{höjd} \cdot \sqrt{\text{höjd}}$

Scen 1

Höjd = 10,5 m

Längd = 23 m

Bredd = 17 m

Längd / bredd = 1,4

Acceptabelt

Längd / höjd = 2,2

Acceptabelt

Effekt = 4 MW

Ej acceptabelt då vår effekt endast är 2MW, rummet måste delas upp i mindre sektioner.

Scen 2

Höjd = 5,2 m

Längd = 16,8 m

Bredd = 13,9 m

Längd / bredd = 1,2

Acceptabelt

Längd / höjd = 3,2

Acceptabelt

Effekt = 1 MW

Acceptabelt då vår effekt är 6MW, Scen 2 kan simuleras som ett rum.

Fojé (Garderob)

Medelvärden

Höjd = 2,4 m

Längd = 33 m

Bredd = 10 m

Längd / bredd = 3,3

Gränsfall

Längd / höjd = 14

Ej acceptabelt, foajén måste delas upp i mindre sektioner.

Bilaga D Indata från CFAST

Här presenteras de indata som ligger till grund för CFASTs resultat för de olika scenarierna.

Indata för Scen 1

```
VERSN,6,CFAST Simulation
!!
!!Environmental Keywords
!!
TIMES,900,-50,0,10,10
EAMB,293,101300,0
TAMB,293,101300,0,50
LIMO2,10
WIND,0,10,0
CJET,WALLS
!!
!!Compartment keywords
!!
COMPA,Compartment 1,11,3.5,10,0,0,0,GYPSUM,OFF,GYPSUM
COMPA,Compartment 2,6,10,3,0,3.5,0,GYPSUM,OFF,GYPSUM
COMPA,Compartment 3,5,10,1.5,6,3.5,0,GYPSUM,OFF,GYPSUM
COMPA,Compartment 4,11,3.5,10,0,13.5,0,GYPSUM,OFF,GYPSUM
COMPA,Compartment 5,12,17,10,11,0,0,GYPSUM,OFF,GYPSUM
COMPA,Compartment 6,6,10,7,0,3.5,3,GYPSUM,OFF,GYPSUM
COMPA,Compartment 7,5,10,8.5,6,3.5,1.5,GYPSUM,OFF,GYPSUM
!!
!!vent keywords
!!
HVENT,1,2,1,5.9,2.9,0.01,1,0,0,1,1
HVENT,1,3,1,4.95,1.45,0.01,1,0,0,1,1
HVENT,1,6,1,5.95,9.95,3.01,1,0,0,1,1
HVENT,1,7,1,4.95,9.95,1.51,1,0,0,1,1
HVENT,1,5,1,3.45,9.95,0.01,1,0,0,1,1
HVENT,4,2,1,5.9,2.9,0.01,1,0,0,1,1
HVENT,4,3,1,4.95,1.45,0.01,1,0,0,1,1
HVENT,4,6,1,5.95,9.95,3.01,1,0,0,1,1
HVENT,4,7,1,4.95,9.95,1.51,1,0,0,1,1
HVENT,4,5,1,3.45,9.95,0.01,1,0,0,1,1
HVENT,2,7,1,9.95,2.95,1.51,1,0,0,1,1
HVENT,3,5,1,9.95,1.45,0.01,1,0,0,1,1
HVENT,5,7,1,9.95,9.95,1.51,1,0,0,1,1
HVENT,6,7,1,9.95,6.95,0.01,1,0,0,1,1
!!
!!fire keywords
!!
OBJECT,TV Set,2,3,5,0,1,1,0,0,0,1
```

Indata för Scen 2

```
VERSN,6,Scen2
!!
!!Environmental Keywords
!!
TIMES,900,-50,0,10,10
EAMB,293.15,101300,0
TAMB,293.15,101300,0,50
LIMO2,10
```

```

WIND,0,10,0.16
CJET,WALLS
!!
!!Compartment keywords
!!
COMPA,Compartment 1,16.8,13.9,5.2,0,0,0,GLASSFB2,OFF,GLASFIBR
!!
!!vent keywords
!!
HVENT,1,2,1,10,0.4,0.1,1,0,0,1,1
!!
!!fire keywords
!!
OBJECT,scen2soffor,1,-1,-1,0,1,1,0,0,0,1

```

Indata för Garderoben

```

VERSN,6,Garderob
!!
!!Environmental Keywords
!!
TIMES,900,-50,0,10,10
EAMB,293.15,101300,0
TAMB,293.15,101300,0,50
LIMO2,10
WIND,0,10,0.16
CJET,WALLS
!!
!!Compartment keywords
!!
COMPA,Compartment 1,10.4,3.2,2.4,0,0,0,GYPSUM,OFF,GYPSUM
COMPA,Compartment 2,8.8,6.4,2.4,0,0,0,GYPSUM,OFF,GYPSUM
COMPA,Compartment 3,4.4,6.4,2.4,0,0,0,GYPSUM,OFF,GYPSUM
COMPA,Compartment 4,10,6,2.4,0,0,0,GYPSUM,OFF,GYPSUM
COMPA,Compartment 5,10.4,8,2.4,0,0,0,GYPSUM,OFF,GYPSUM
COMPA,Compartment 6,8,10,2.4,0,0,0,GYPSUM,OFF,GYPSUM
!!
!!vent keywords
!!
HVENT,4,3,1,1.2,2.3,0.1,1,0,0,1,1
HVENT,3,1,1,1.2,2.3,0.1,1,0,0,1,1
HVENT,3,1,2,3.1,2.3,0.9,1,0,0,1,1
HVENT,3,2,1,5.9,2.3,0.1,1,0,0,1,1
HVENT,2,1,1,3.4,2.3,0.9,1,0,0,1,1
HVENT,2,1,2,1.6,2.3,0.1,1,0,0,1,1
HVENT,2,5,1,7.9,2.3,0.1,1,0,0,1,1
HVENT,5,6,1,7.9,2.3,0.1,1,0,0,1,1

```

Bilaga E handberäkningar

Beräkningsgången och antaganden redovisas ibland annat i Enclosure Fire Dynamics Björn Karlsson kapitel 8.6.

A_D	Öppning för inflöde av luft (m^2)
A_W	Omslutande yta som är i kontakt med brandgaslagret (m^2)
C_d	Flödeskoefficient (-)
c_p	värme kapacitet ($kJ/kg\ K$)
g	tyngdaccelerationen (m/s^2)
H	rumshöjd (m)
h	Effektiva värmeöverföringskoefficient ($W/(m^2K)$)
H_e	Rummets höjd (m)
\dot{m}	Massflöde (kg/s)
ΔP_1	Tryckskillnad över en öppning i nedre delen av ett rum (Pa)
\dot{Q}	Effektutveckling (kW)
RTI	en detektors termiska tröghet ($(ms)^{1/2}$)
S	golvarea (m^2)
t	tid (s)
t_{op}	aktiveringstid (s)
T_a	luftens temperatur (K)
T_{op}	aktiveringstemperatur (K)
T_g	brandgasernas temperatur (K)
T_0	luftens temperatur, omgivningen (K)
v	brandgasernas hastighet (m/s)
\dot{V}_e	Volymflöde (m^3/s)
z	Höjd från golv till brandgaslager (m)
z	höjd över öppning (m)
z	höjd i brandgasplym (m)
z_m	teoretisk utgångspunkt för branden (m)
α	tillväxthastighet (kW/s^2)
ρ_a	luftens densitet (kg/m^3)
ρ_g	rökgasernas densitet (kg/m^3)

Använda formler:

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

$$\rho_g = \rho_a \left(1 - \frac{\alpha t^3}{3(H-z)Sc_p 353} \right)$$

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

$$RTI = \frac{-t_{op} \cdot \sqrt{v}}{\ln\left(1 - \frac{(T_{op} - T_0)}{(T_g - T_0)}\right)}$$

$$h = \sqrt{\frac{k\rho\rho}{\pi \cdot t}}$$

$$\dot{m} = \dot{m}_p = \dot{m}_e$$

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

$$\Delta P_1 = \frac{\dot{m}_e^2}{2\rho_a (C_D \cdot A_d)^2}$$

$$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{m} + hA_w}$$

$$\rho_g = \frac{353}{T_g}$$

$$A_E = \frac{\dot{m}_e}{C_d \sqrt{2\rho_g (-\Delta P_1 + (\rho_a - \rho_g)g(H_E - z))}}$$

$$V_e = \frac{\dot{m}_e}{\rho_g}$$

Beräkningar

Scen 1

Brandgaslagrets höjd och temperatur:

$$H = 11\text{m}$$

$$S = 391\text{m}$$

$$\alpha = 0,006\text{kW/s}^2$$

$$\rho_a = 1,2\text{kg/m}^3$$

$$g = 9,81\text{m/s}^2$$

$$c_p = 1,0\text{kJ/kgK}$$

$$T_a = 295\text{K}$$

t=120s ger z=9,5 brandgastemperatur=23°C

t=300s ger z=4,65 brandgastemperatur=48°C

Brandgasventilation:

$$H_e = 11\text{m}$$

$$z = 1,6 + 0,1 \cdot 7 = 5,45\text{m}$$

$$A_{\text{golv}} = 23,2 \cdot 17,1\text{m}^2$$

$$A_w = (5 - 3,1) \cdot 2 \cdot 23,2 + (5 - 3,1) \cdot 2 \cdot 17,1 + 23,2 \cdot 17,1 = 844,1\text{m}^2$$

$$A_D = 1,8 \cdot 2,1 + 1,2 \cdot 2,1 \cdot 2 = 8,8\text{m}^2$$

$$T_a = 20^\circ\text{C} = 293\text{K}$$

$$c_p = 1,0\text{kJ}/(\text{kgK})$$

$$\rho_a = 1,2\text{kg}/\text{m}^3$$

$$g = 9,81\text{m}/\text{s}^2$$

$$\dot{Q} = 1850\text{kW}$$

$$C_d = 0,6$$

$$h = \sqrt{\frac{5,8 \cdot 10^5}{\pi \cdot 600}} = 17,5\text{W}/(\text{m}^2\text{K}) = 0,0175\text{kW}/(\text{m}^2\text{K})$$

Den kritiska höjden för de på balkongen, det vill säga på våning två motsvarar ett z på 5,5m. För att få fram h har 10 minuter använts, efter den tiden kan konstanta förhållanden anses råda (Karlsson & Quintiere) och liksom i CFAST antogs att väggarna i lokalen utgjordes av gipsskivor. Den nedre öppningen, A_D , erhöles genom att anta att samtliga dörrar (dörren ut till foajén och de två nödutgångarna) stod öppna.

En andra beräkning gjordes där A_E motsvarande brandgasluckorna, ca 11m^2 användes i beräkningarna och det som söktes var då istället A_D .

Resultatet av den första beräkningen visade att det behövdes ventilationsöppningar på ungefär 7m^2 och den andra beräkningen visade att om alla brandgasluckor öppnas så behövs inluftsöppningar på totalt 6m^2 .

Scen 2

Brandgaslagrets höjd och temperatur:

$$H = 7,5\text{m}$$

$$S = 212\text{m}$$

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

$$\rho_a = 1,2\text{kg}/\text{m}^3$$

$$g = 9,81\text{m}/\text{s}^2$$

$$c_p = 1,0\text{kJ}/\text{kgK}$$

$$T_a = 295\text{K}$$

$t=45\text{s}$ ger $z=4,3$ brandgastemperatur= 22°C

$t=90\text{s}$ ger $z=2,8$ brandgastemperatur= 142°C

Brandgasventilation:

$$H_e = 5\text{m}$$

$$z = 1,6 + 0,1 \cdot 5 = 3,1\text{m}$$

$$A_{\text{golv}} = 16,5 \cdot 12,8\text{m}^2$$

$$A_w = (5 - 3,1) \cdot 2 \cdot 16,5 + (5 - 3,1) \cdot 2 \cdot 12,8 + 16,5 \cdot 12,8 = 322,5\text{m}^2$$

$$A_D = 1,8 \cdot 2,1 + 1,2 \cdot 2,1 = 6,3\text{m}^2$$

$$T_a = 20^\circ\text{C} = 293\text{K}$$

$$c_p = 1,0\text{kJ}/(\text{kgK})$$

$$\rho_a = 1,2\text{kg}/\text{m}^3$$

$$g = 9,81\text{m}/\text{s}^2$$

$$\dot{Q} = 6000\text{kW}$$

$$C_d = 0,6$$

$$h = \sqrt{\frac{5,8 \cdot 10^5}{\pi \cdot 600}} = 17,5\text{W}/(\text{m}^2\text{K}) = 0,0175\text{kW}/(\text{m}^2\text{K})$$

Höjden som brandgaslagret inte fick understiga sattes till kritisk höjd med tillägget en meter. Detta gav att $z = 3,1\text{m}$. För att få fram h har 10 minuter använts, efter den tiden kan konstanta förhållanden anses råda (Karlsson & Quintiere) och liksom i CFAST antogs att väggarna i lokalen utgjordes av gipsskivor. Den nedre öppningen, A_D , erhöles genom att anta att både dörren ut till foajén och nödutgången stod öppna.

Resultatet av beräkningarna blev att det krävs öppningar i taket motsvarande $4,7\text{m}^2$ eller ca 5m^2 för att brandgaslagret inte ska sjunka lägre än till 3,1 meters höjd.

RTI

$$t_{\text{op}} = 22\text{s}$$

$$T_{\text{op}} = 341\text{K}$$

$$T_g = 466\text{K}$$

$$T_0 = 296,4\text{K}$$

$$v = 2\text{m}/\text{s}$$

$RTI = 102,6(\text{ms})^{1/2}$ då brandgaser träffar direkt på glasbulben. Inga försök gjordes för en situation då brandgaser träffar oket först. I det senare fallet kommer RTI-värdet att bli större.

Bilaga F Detact-T2 för dekorförråd

Detact-T2

”Detact-T2 (DEtector ACTuation – Time Squared) är ett program för beräkning av aktiveringstider för värmedetektorer och sprinkler som är placerade under tak. Programmet kan användas till beräkning av aktiveringstider för sprinkler, maximalvärmedetektorer och differentialvärmedetektorer.” (Holmstedt & Nilsson, 2005) Detact-T2 beskriver effektutvecklingen med hjälp av α^2 -kurvor och vid beräkning av uppvärmningen utav känselelementet tas ingen hänsyn till ett eventuellt brandgaslager, värmen kommer uteslutande från takstrålen.

Nedan användas Detact-T2 för att undersöka skillnaderna i detektionstid vid detektorplacering i och utanför dekorförrådet.

Test med endast detektorn i korridoren

ENTER: 1 FOR ENGLISH UNIT INPUT
2 FOR METRIC UNIT INPUT

2

ENTER THE AMBIENT TEMPERATURE IN DEGREES C.
20

ENTER THE DETECTOR RESPONSE TIME INDEX (RTI) IN (M-SEC)*1/2.
0.5

ENTER THE DETECTOR ACTIVATION TEMPERATURE IN DEGREES C.
33

ENTER A DETECTOR RATE OF RISE IN DEGREES C/MINUTE.
4

ENTER THE CEILING HEIGHT IN METERS.
5

ENTER THE DETECTOR SPACING IN METERS.
27

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

U

RESULTS:

CEILING HEIGHT = 5.00 METERS (16.40 FEET)
DETECTOR SPACING = 27.00 METERS (88.58 FEET)

DETECTOR RTI = 0.5 (M-SEC)**1/2 (0.9 (FT-SEC)**1/2)

FIRE GROWTH CONSTANT = 0.1876E+03 JOULES/(SEC**3)
(0.1778E+00 BTU/SEC**3)

<RETURN> TO CONTINUE

FOR TEMPERATURE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION TEMPERATURE = 33.0 DEGREES C (91.4 DEGREES F)

TIME TO ACTIVATION = 2.86 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.5533E+04 KILOJOULES/SEC
(0.5245E+04 BTU/SEC)

Test med en detektor i dekorförrådet

ENTER: 1 FOR ENGLISH UNIT INPUT

2 FOR METRIC UNIT INPUT

2

ENTER THE AMBIENT TEMPERATURE IN DEGREES C.

20

ENTER THE DETECTOR RESPONSE TIME INDEX (RTI) IN (M-SEC)**1/2.

0.5

ENTER THE DETECTOR ACTIVATION TEMPERATURE IN DEGREES C.

33

ENTER A DETECTOR RATE OF RISE IN DEGREES C/MINUTE.

4

ENTER THE CEILING HEIGHT IN METERS.

5

ENTER THE DETECTOR SPACING IN METERS.

15

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

U

RESULTS:

CEILING HEIGHT = 5.00 METERS (16.40 FEET)

DETECTOR SPACING = 15.00 METERS (49.21 FEET)

DETECTOR RTI = 0.5 (M-SEC)**1/2 (0.9 (FT-SEC)**1/2)

FIRE GROWTH CONSTANT = 0.1876E+03 JOULES/(SEC**3)
(0.1778E+00 BTU/SEC**3)

<RETURN> TO CONTINUE

FOR TEMPERATURE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION TEMPERATURE = 33.0 DEGREES C (91.4 DEGREES F)

TIME TO ACTIVATION = 1.82 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.2228E+04 KILOJOULES/SEC
(0.2112E+04 BTU/SEC)

Test med två detektorer i dekorförrådet

ENTER: 1 FOR ENGLISH UNIT INPUT
2 FOR METRIC UNIT INPUT

2

ENTER THE AMBIENT TEMPERATURE IN DEGREES C.
20

ENTER THE DETECTOR RESPONSE TIME INDEX (RTI) IN (M-SEC)**1/2.
0.5

ENTER THE DETECTOR ACTIVATION TEMPERATURE IN DEGREES C.
33

ENTER A DETECTOR RATE OF RISE IN DEGREES C/MINUTE.
4

ENTER THE CEILING HEIGHT IN METERS.
5

ENTER THE DETECTOR SPACING IN METERS.
7.5

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

u

RESULTS:

CEILING HEIGHT = 5.00 METERS (16.40 FEET)
DETECTOR SPACING = 7.50 METERS (24.61 FEET)

DETECTOR RTI = 0.5 (M-SEC)**1/2 (0.9 (FT-SEC)**1/2)

FIRE GROWTH CONSTANT = 0.1876E+03 JOULES/(SEC**3)
(0.1778E+00 BTU/SEC**3)

<RETURN> TO CONTINUE

FOR TEMPERATURE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION TEMPERATURE = 33.0 DEGREES C (91.4 DEGREES F)

TIME TO ACTIVATION = 1.16 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.9118E+03 KILOJOULES/SEC
(0.8643E+03 BTU/SEC)

Bilaga G Verifiering av sprinkler i garderob

För en beskrivning av programmet Detact-T2 se bilaga F.

ENTER: 1 FOR ENGLISH UNIT INPUT
2 FOR METRIC UNIT INPUT

2

ENTER THE AMBIENT TEMPERATURE IN DEGREES C.
20

ENTER THE DETECTOR RESPONSE TIME INDEX (RTI) IN (M-SEC)**1/2.
30

ENTER THE DETECTOR ACTIVATION TEMPERATURE IN DEGREES C.
68

ENTER A DETECTOR RATE OF RISE IN DEGREES C/MINUTE.
4

ENTER THE CEILING HEIGHT IN METERS.
2.4

ENTER THE DETECTOR SPACING IN METERS.
1.5

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

u

RESULTS:

CEILING HEIGHT = 2.40 METERS (7.87 FEET)
DETECTOR SPACING = 1.50 METERS (4.92 FEET)

DETECTOR RTI = 30.0 (M-SEC)**1/2 (54.3 (FT-SEC)**1/2)

FIRE GROWTH CONSTANT = 0.1876E+03 JOULES/(SEC**3)
(0.1778E+00 BTU/SEC**3)

<RETURN> TO CONTINUE

FOR TEMPERATURE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION TEMPERATURE = 68.0 DEGREES C (154.4 DEGREES F)

TIME TO ACTIVATION = 0.83 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.4613E+03 KILOJOULES/SEC
(0.4372E+03 BTU/SEC)

FOR RATE OF RISE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION RATE OF RISE = 4.00 DEGREES C/MIN (7.20 DEGREES F/MIN)

TIME TO ACTIVATION = 0.30 MINUTES

HEAT RELEASE RATE = 0.6180E+02 KILOJOULES/SEC
(0.5858E+02 BTU/SEC)