



**LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA**
Lunds universitet

Rapport 9239

Brandteknisk riskvärdering av

Nattklubben Cleo

HT 2004

Handledare:
Nilsson, Daniel
Lindberg, Ronnie

Av:
Johanson, Martin
Kenneby, Christian
Nilsson, Peter
Sköld, Jarl

Titel

Brandteknisk Riskvärdering av Nattklubben Cleo, Luleå

Title

Fire Safety Evaluation of the nightclub Cleo, Luleå, Sweden

Rapport/Report

9239

Av/By

Martin Johanson
Christian Kenneby
Peter Nilsson
Jarl Sköld

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund 2004.

Abstract

This report has been made as a part of the fire safety engineering education at Lund University. The report analyses the safety regarding evacuation in case of fire in a nightclub in Luleå, Sweden. The nightclub Cleo is located in the basement of a central hotel in Luleå, a town in the northern part of Sweden. The club is large and can hold maximum 600 persons.

The aim of this report has been to evaluate different fire scenarios and compare ASET (available safe egress time) calculated with the software C-FAST with RSET (required safe egress time), calculated with the software SIMULEX. Cleo, that recently has gone through some major changes, need to be further modified to reach the demands of fire safety. Suggestions for changes are included in the report.

Nyckelord

Brand, utrymning, brand på nattklubb, SIMULEX, C-FAST, Dectact T2

Keywords

Fire, evacuation, fire in nightclub, SIMULEX, C-FAST, Dectact T2

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12

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

Följande personer förtjänar ett stort tack för deras stöd och hjälp under arbetet med denna projektuppgift.

Daniel Nilsson, Doktorand Brandteknik LTH för hans positiva synsätt och ovärderliga hjälp, kunnande och engagemang som handledare.

Ronnie Lindberg, Brandingenjör räddningstjänsten Luleå för vägledning och feedback.

Mats Carlsson, Brandmästare räddningstjänsten Luleå för hans stora praktiska kunnande vid objektsbesöket.

Räddningstjänsten i Luleå för mat och boende.

Jan Kaarle med personal för vänligt och tillmötesgående bemötande.

Andreas Andersson, Vaktchef på Cleo, för sin hjälpsamhet i utrymningsfrågor.

Max Faye-Werle och *Niclas von Essen*, Brandingenjörstudenter LTH, för deras hjälp med laborationsutrustning.

Sven-Ingvar Granemark, Forskningsingenjör Brandteknik LTH för utlåning av mätutrustning.

Daniel Gojkovic, Universitetsadjunkt Brandteknik LTH för hjälp med datorsimuleringar.

Sammanfattning

Denna rapport utvärderar utrymningssäkerheten vid brandtillbud på Cleo. Cleo är en nattklubb som är belägen i källaren under ett hotell i de centrala delarna av Luleå.

Tillvägagångssättet för att undersöka utrymningssäkerheten var att beräkna tiden till när kritiska förhållanden uppstår i lokalen för några utvalda scenarier. Beräkningarna utfördes främst med hjälp av simuleringsprogrammet C-FAST. Därefter användes SIMULEX, ett dataprogram för beräkning av utrymningstider, för att undersöka hur lång tid en utrymning skulle ta vid valda scenarier. När dessa kritiska tider var undersökta analyserades och jämfördes resultaten.

Förutsättningarna för ett bra brandskydd på nattklubben är tyvärr inte de allra bästa. Visserligen finns fyra oberoende utrymningsvägar och personalen på nattklubben verkar ha jobbat där under en längre tid, men låg takhöjd och objektets placering i källaren försämrar förutsättningarna för ett gott brandskydd. Brandsäkerheten som den är idag är inte helt tillfredsställande och förbättringar behöver ske på ett antal punkter. De flesta av dessa åtgärder är enkla och relativt billiga samtidigt som de avsevärt förbättrar säkerheten på nattklubben.

Den första stora åtgärden som måste göras är att ta fram en hållbar lösning för hur en eventuell brand i garderoben ska hanteras. Ett enkelt sätt att begränsa skadorna är att förse garderoben med dörr och luckor så att den kan stängas till vid en eventuell brand. En annan stor riskkälla på Cleo som bör åtgärdas är DJ-båset som enligt våra beräkningar skulle kunna ge förödande konsekvenser vid brand. Ett enkelt sätt att förebygga en större brand i DJ-båset är att byta ut träspånskivorna runt DJ-båset till gipsskivor. I övrigt gäller att utrymningssäkerheten på Cleo är starkt beroende av personalens insatser vid brand. Utbildning av all personal med avseende på brandskyddet är därför absolut nödvändig.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING	13
1.1 Mål	13
1.2 Syfte	13
1.3 Metod	13
1.4 Avgränsningar	13
1.5 Begränsningar	13
2 OBJEKTSBESKRIVNING	14
2.1 Allmänt	14
2.1.1 Dansgolv och barer	14
2.1.2 Entré och garderob	14
2.2 Ventilation	15
2.3 Personal	16
2.4 Interiör/Ytskikt	16
3 BEFINTLIGT BRANDSKYDD	17
3.1 Brandcellsgränser	17
3.2 Brandlarm/utrymningslarm	17
3.2.1 Larmcentral och larmknappar	17
3.2.2 Detektorer	17
3.2.3 Vad händer vid larm?	17
3.3 Släckutrustning	17
3.4 Nödutgångar/utrymningsvägar	18
3.5 Personalrutiner vid brand	19
3.5.1 Vaktpersonal	19
3.5.2 Barpersonal	19
3.5.3 Diskussion	19
3.6 Räddningstjänsten	20
4 BRANDSCENARIER	21
4.1 Undersökta brandscenarier	21
4.1.1 Brand i garderob	21
4.1.2 Brand i DJ-bås	21
4.1.3 Brand i fätölj	21
4.2 Ej undersökta brandscenarier	21
4.2.1 Brand i heltäckningsmatta	21
4.2.2 Brand i gardin vid scenbaren	22

4.2.3 Brand i soprum	22
4.2.4 Gasoltanksolycka	22
4.2.5 Brand i kontor bakom stora baren	22
4.2.6 Brand på toalett	22
4.2.7 Brand i innertak (20cm tjockt)	22
4.2.8 Anlagd brand	22
4.3 Effektutvecklingskurvor	22
4.3.1 Scenario 1. Brand i garderob	22
4.3.2 Scenario 2. Brand i fåtölj	23
4.3.3 Scenario 3. Brand i DJ-bås	24
5. ANALYS	25
5.1 Metod	25
5.2 Definition av kritiska förhållanden	25
5.3 Simulering av brandförlopp – C-FAST	26
5.4 Detact T2	27
5.5 Utrymning	28
5.5.1 Allmänt om utrymning	28
5.5.2 Simulering av utrymningsförlopp – SIMULEX	28
5.5.2.1 Grunduppställning	29
5.5.2.2 Indelning av objektet	29
5.5.2.3 Scenario 1. Brand i garderob	29
5.5.2.3 Scenario 1. Brand i garderob	30
5.5.2.4 Känslighetsanalys garderob	30
5.5.2.5 Scenario 2. Brand i fåtölj	30
5.5.2.6 Scenario 3. Brand i DJ-bås	31
5.5.2.7 Känslighetsanalys DJ-bås	31
6 RESULTAT	33
6.1 Scenario 1. Brand i garderob	33
6.1.1 Tid till kritiska förhållanden	33
6.1.1.1 Ventilation	33
6.1.2 Utrymningsanalys	34
6.1.3 Jämförelse mellan utrymningstider och tid till kritiska förhållanden	34
6.1.3.1 Känslighetsanalys	34
6.2 Scenario 2. Brand i fåtölj	35
6.2.1 Tid till kritiska förhållanden	35
6.2.2 Utrymningsanalys	35
6.2.3 Jämförelse mellan utrymningstider och kritiska förhållanden	36
6.3 Scenario 3. Brand i DJ-bås	37
6.3.1 Tid till kritiska förhållanden	37
6.3.2 Utrymningsanalys	37
6.3.3 Jämförelse mellan utrymningstider och kritiska förhållanden	37
6.4 Begränsningar	38
7. ÅTGÄRDSFÖRSLAG	39
7.1 Garderob	39

7.1.1 Förslag	39
7.1.2 Ventilation	39
7.1.3 Kontrollsimulering	39
7.2 Toaletter	39
7.3 Nödutgång till garage	40
7.4 Avskiljningsvägg utanför toaletterna	40
7.5 DJ-bås	40
7.5.1 Resonemang	40
7.5.2 Kontrollsimulering	40
7.5.3 Jämförelse mellan utrymningstider och tid till kritiska förhållanden	41
7.6 Personal	42
7.7 Brandcells begränsning	42
7.8 Papperskorgar	42
7.9 Utrymningsplan	42
7.10 Nödbelysning	42
7.11 Installation av sprinklersystem	43
8. REFERENSER	44
BILAGA A. HANDBERÄKNINGAR	45
Maxeffekt vid ventilationen som begränsande faktor	45
Strålningsberäkningar	45
Strålning från garderob vid brand i 105 jackor	45
Strålning från flammorna	45
Strålning från brandgaslagret	46
Risk för brandspridning mellan rack i garderoben	46
Strålning vid brand i fåtölj	47
Beräkning av flamhöjd	47
Brandgaslagrets strålning	47
Flammornas strålning	47
Strålning vid brand i DJ-bås	48
Beräkning av flamhöjd	48
Flammornas strålning	48
Brandgaslagrets strålning	49
BILAGA B. SIKTBERÄKNINGAR	50
BILAGA C. CFAST- RESULTAT	51
Brand i garderob 1	51
Brand i garderob 2	53

Brand i garderob 3	53
Brand i garderob 4	55
Brand i garderob 5	55
Brand i garderob 6	57
Brand i garderob 7	57
Brand i fåtölj 1	60
Brand i fåtölj 2	61
Brand i DJ-bås 1	61
Brand i DJ-bås 2	63
Brand i DJ-bås 3	63
BILAGA D. DETEKTIONSTIDER	65
C-FAST	65
Jämförelse detektionstider	65
BILAGA E. EFFEKTKURVA TV	66
BILAGA F. EFFEKTUTVECKLING VID BRAND I 945 JACKOR	67

1. Inledning

1.1 Mål

Målet med denna brandtekniska riskvärdering är primärt att brandingenjörsstudenter ska utveckla sin förmåga i brandskyddsarbete. Sekundärt är målet att finna en brandskyddslösning för nattklubben Cleo som innebär att säker utrymning från lokalen kan ske vid en eventuell brand.

1.2 Syfte

Syftet är att studenterna ska bekanta sig med hur ett verkligt brandtekniskt arbete kan gå till och därigenom lära sig handskas med de problem och utmaningar som verkligheten innebär.

1.3 Metod

Det som i stort sett allt i denna projektuppgift kretsar kring är att utvärdera och jämföra tider till kritiska förhållanden uppstår och tider för utrymning. Dessutom har en hel del energi lagts på att komma fram till åtgärder för att förbättra det befintliga brandskyddet på Cleo. Den tillämpade arbetsgång var till att börja med en inläsning av objektet, därefter gjordes ett heldagsbesök som sedan följdes upp med ett långvarigt teoretiskt arbete med bland annat datorsimuleringar och resultat- och åtgärdsbearbetningar.

1.4 Avgränsningar

Projektuppgiften är avgränsad till att enbart gälla utrymningen. Skydd av egendom har inte tagits i beaktande. Inte heller har säkerheten för räddningstjänsten vid brand behandlats.

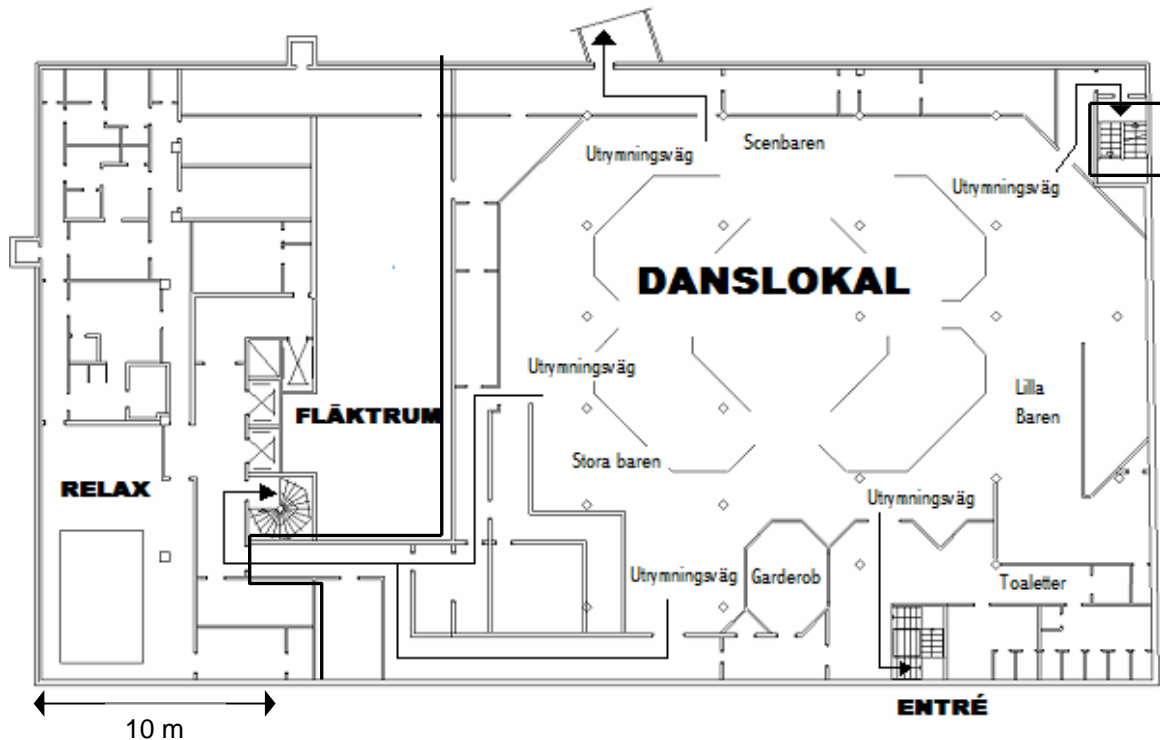
1.5 Begränsningar

En viktig begränsning är att möjlighet aldrig gavs att göra ett objektsbesök vid pågående aktivitet. Bilden av brandsäkerheten kan inte anses fullständig utan ett sådant besök.

2 Objektsbeskrivning

2.1 Allmänt

Cleo är en populär nattklubb i centrala Luleå. Nattklubben tillhör Quality Hotell och ligger i dess källarplan. Detta gör nattklubben till ett speciellt objekt med tanke på utrymning. Nattklubben tar inte upp hela källarplanet utan här finns även en relaxavdelning till hotellet. Klubben har vanligtvis öppet torsdagar, fredagar och lördagar och har ofta hundratals gäster. På dagtid sker ingen speciell verksamhet.



Figur 2.1 Översikt nattklubb Cleo. Utrymningsvägarna är markerade med pilar. Brandcellsavgränsning mot fläktrum och relaxavdelning utmärkt. Trapphuset uppe till höger är också en egen brandcell.

2.1.1 Dansgolv och barer

Cleo består i huvudsak av en stor lokal med tre barer samt ett centralt beläget dansgolv. Detta dansgolv är en aning nedsänkt och omgivet av ett lägre staket. Ett nybyggt mindre dansgolv finns också i anslutning till lilla baren. I anslutning till stora baren finns ett spritförråd samt diskrum och kontor. Med ingång för scenbaren finns förråd med sex stycken enkubiks ölbehållare samt kolsyrebehållare. DJ-båsdelan ligger precis bredvid dansgolvet mellan scenbaren och lilla baren (figur 2.1).

2.1.2 Entré och garderob

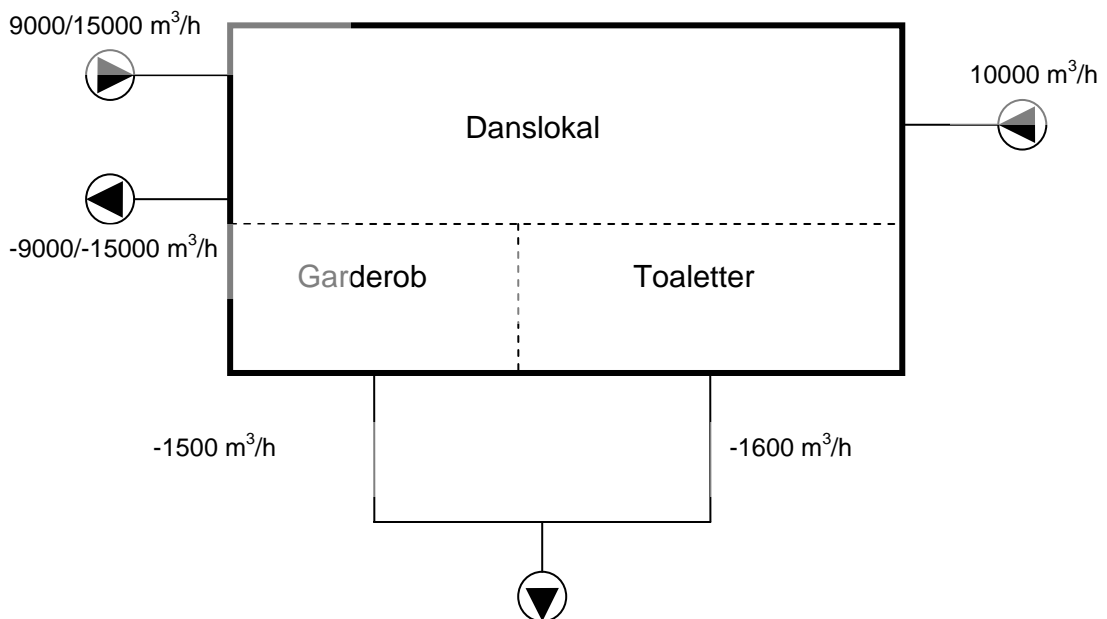
Entré sker för gäster från Storgatan via ett tvåvåningstrapphus. Kassen är placerad högst upp i trapphuset. Garderoben är belägen strax intill trapphuset. Här finns även larmtablån. I garderoben finns en elcentral och mitt emot jackinlämningen ligger toaletterna.



Bild 2.1 Inlämningen till garderoben

2.2 Ventilation

Till Cleo finns två frånluftfläktar och två tilluftfläktar (figur 2.2). Ett aggregat med kombinerad till- och frånluftfläkt sitter i ventilationsrummet i mitten av bottenplanet och förser danslokalen med luft samtidigt som luft tas från diskrummen och stora baren. En tilluftfläkt belägen i garaget på våningen ovanför Cleo förser danslokals högra delar med uteluft, medan en frånluftfläkt i garaget tar luft från garderoben och toaletterna. Alla fläktar är *endast* kopplade till nattklubbens lokaler vilket gör att det inte förekommer någon risk för spridning till övriga delar av hotellet. Emellertid finns det vid eventuell brand i garderoben en risk för brandgasspridning till toaletterna. Detta behandlas i avsnitt 6.1.1.1.



Figur 2.2 Principskiss över till- och frånflöden i Cleo. På grund av brister i ventilationsritningarna stämmer inte till- och frånluftflöden överens. Ur brandsynpunkt är det i detta fall ovesäntligt.

2.3 Personal

När nattklubben är öppen arbetar vanligtvis totalt runt tjugo personer i lokalen varav 8 personer som jobbar i barena, 3 personer disken, 3 personer i garderoben och 5-6 vakter.

2.4 Interiör/Ytskikt

Nattklubben är i danslokalen inredd med ett ansevärt antal fåtöljer och även några soffgrupper. Samtliga möbler är klädda i flamskyddat material. Alla utom två väggsektioner är målade med brandklassad färg. Dessa två sektioner är gjorda i oskyddade MDF-skivor.

3 Befintligt brandskydd

3.1 Brandcellsgränser

Hela nattklubben är en enda brandcell med undantag för trapphuset som nås via utrymningsvägen mellan scenbaren och lilla baren. Detta innebär att det finns en väldigt stor brandcell där både brand och brandgaser kan spridas. Magnetuppställda dörrar finns dock mellan garderoben och själva danslokalen. Information om klassning på dessa dörrar saknas, men under rapporten har det antagits att dessa är av minst klass E30. Det finns även en dörr av klassning som skiljer av nattklubben från hotellets relaxavdelning. Även på denna dörr saknas information om klassning och den har antagits vara av minst klass E30. Klassningen av dessa dörrar måste kontrolleras och om de inte är brandklassade måste de bytas ut. Ovanför dörren till relaxavdelningen har ventilation dragits och det är delvis helt öppet in till denna andra brandcell. Detta bidrar till att brandgaser obehindrat kan spridas denna väg från nattklubben till relaxavdelningen eller vice versa.

3.2 Brandlarm/utrymningslarm

3.2.1 Larmcentral och larmknappar

Cleo har ett adresserbart larmsystem. Larmcentralen sitter bakom kassan i hotellets reception. Vid larm har personalen i receptionen en minut på sig att ta sig till larmcentralen och få information om vilken detektor som aktiverats. Kvitteras inte larmet inom denna minut larmas SOS. Efter kvittering är det en fördröjning på tre minuter innan larmet går till SOS. Under denna tid kan personalen avbryta larmet om de visade sig vara ett falsklarm. Visar det sig vara en brand finns också larmknappar i lokalen som är direkt kopplade till SOS.

3.2.2 Detektorer

Då rökning är tillåten i danslokalerna och på toaletterna finns här endast värmedetektorer. Effektivare rökdetektorer skulle här ha medfört många falsklarm. Även i diskrummet finns endast värmedetektorer på grund av ångorna från diskmaskinen. I utrymmen där risken för falsklarm är liten finns rökdetektorer. Även garderoben är försedd med rökdetektorer.

3.2.3 Vad händer vid larm?

När larmet går stängs musiken av, lamporna tänds och de magnetuppställda dörrarna mot entréhallen stängs. En siren går även igång för att påkalla uppmärksamhet. Detta sker direkt då en detektor aktiveras och oavsett om SOS larmas. Idag stängs även ljudanläggningen i DJ-båset av vid larm, vilket innebär att denne inte kan ge information via högtalarsystemet. Ventilationen påverkas inte vid larm.

3.3 Släckutrustning

I varje bar samt i garderoben finns en skumsläckare. I DJ-båset finns en kolsyresläckare. Det var två år sedan personalen senast fick utbildning på släckutrustningen.



Figur 3.1 Skumsläckare i scenbaren

3.4 Nödutgångar/utrymningsvägar

I lokalen finns fyra av varandra oberoende utrymningsvägar. Från lokalen finns det fem stycken utrymningsvägar men de två vid stora baren sammanfaller innan det att man kommer in i hotellets relaxavdelning. Den ena går via diskrummet och den andra via korridoren bakom garderoben. De sammanfaller precis innan man passerar soprummet. Samtliga nödutgångar är väl utmärkta.

Utrymningsvägen som är till vänster om scenbaren går antingen ut till garaget eller upp via en spiraltrappa till övre plan. Utrymningsvägen till garaget är idag handikappanpassad. Istället för trappsteg finns det här en ramp så att man kan ta sig ut på egen hand med rullstol. Det finns emellertid kvar ett trappsteg precis vid dörren ut mot garaget.



Bild 3.1 Utrymningsväg till garaget

Utrymningsvägen till höger om scenbaren leder till trapphuset som är en egen brandcell. Trappan leder upp till en dörr med glasruta som leder ut till det fria.

Den fjärde utrymningsvägen är via trapphuset till huvudentrén. Detta trapphus är inte en egen brandcell.

3.5 Personalrutiner vid brand

3.5.1 Vaktpersonal

Vaktstyrkan består av 5 eller 6 personer som under kvällen har kommunikation via radio.

Ordningstvakt 1 är den ansvarige passchefen. Innan nattklubben öppnas har han till uppgift att kontrollera att ingen av nödutgångarna är blockerade samt att alla dörrar går att öppna. Han kontrollerar även att de dörrar som leder ut till det fria inte är blockerade av till exempel snö eller felparkerade bilar. Dessutom kontrollerar passchefen att släckutrustningen finns på plats. När nattklubben väl har öppnats är passchefen ansvarig för entrén och garderoben.

Ordningstvakt 2 är ansvarig för att hjälpa och leda rörelsehindrade mot nödutgången till garaget. Vid larm öppnar ordningstvakten först dörren, så att den står öppen, och hjälper sedan de rörelsehindrade gästerna ut denna väg.

Ordningstvakt 3 är ansvarig för utrymningsvägen som går via trapphuset.

Ordningstvakt 4 är ansvarig för utrymningsvägen som leder till hotellets relaxavdelning.

Ordningstvakt 5 är ansvarig för att få ut de gäster som befinner sig på toaletterna. Efter det bistår han ordningstvakt 1 (passchefen).

Om det finns en ordningstvakt 6 bistår han främst ordningstvakt 1 (passchefen).

Anledningen till att det finns en vakt som har ansvar för varje utrymningsväg är att få gästerna att använda alla de utrymningsvägar som finns och undvika köbildning i utrymningsvägen till entrén. Eftersom denna utrymningsväg är väl känd av gästerna är den det naturliga valet vid utrymning.

3.5.2 Barpersonal

Vid larm har barpersonalen ett liknande förfarande som vaktstyrkan. I huvudsak går det ut på att få gästerna att använda de utrymningsvägar som finns och undvika köbildning vid entrén. Det är uppgjort så att personalen i stora baren försöker få gäster att använda de två utrymningsvägarna som sammanfaller och leder till hotellets relaxavdelning. Personalen i scenbaren försöker få gäster att använda utrymningsvägen som leder till garaget, och personalen i lilla baren för gäster till utrymningsvägen via trapphuset mot bakgården.

3.5.3 Diskussion

Efter intervjuer med barpersonal och vaktchefen kom följande upp:

- Enligt vaktchefen finns det inte idag någon gemensam taktik vid utrymning för barpersonalen och vaktstyrkan. De har två olika system som i stort sett bygger på samma tanke, det vill säga att använda alla tillgängliga utrymningsvägar. En diskussion mellan dessa två kan förbättra säkerheten i objektet. Detta var även en önskan från både vaktchef och barchef.
- En del barpersonal ansåg sig ha en viktig uppgift i utrymning medan andra endast tänkte på sin egen säkerhet. Personalens viktiga roll vid brand bör därför belysas ytterligare.

3.6 Räddningstjänsten

Luleå Räddningstjänst bedriver sin verksamhet i en huvudbrandstation i Luleå, i en bibrandstation i Gammelstads kyrkby samt i en brandstation i Råneå. Brandstationen i Luleå är belägen i centrum och i anslutning till denna är både SOS Alarm och landstingets ambulansverksamhet placerad. Räddningskåren uppgår i Luleå till ett brandbefäl och sex brandmän i tjänst dygnet runt. Räddningskåren i bibrandstationen uppgår till ett brandbefäl och tre brandmän i tjänst dygnet runt. I Råneå består räddningskåren av en deltidsstyrka baserad på ett befäl och fyra brandmän.

Brandstationen i centrala Luleå ligger mycket nära Cleo och kan vara på plats inom fyra minuter från det att SOS larmats. Som främsta angreppsväg används trapphuset mot bakgården (figur 2.1, uppe till höger). Detta eftersom den är den kortaste trappan. Beroende på brandens placering kan dock samtliga utrymningsvägar användas som angreppsväg.

4 Brandscenarier

4.1 Undersökta brandscenarier

4.1.1 Brand i garderob

Effektutvecklingskurvan för brand i jackor motsvarar en ultrafast α - t^2 kurva¹. Detta bidrar till att man får ett väldigt snabbt brandförlopp. Eftersom lokalen idag tillåter 600 personer finns det de kvällar klubben är öppen väldigt mycket brännbart material i garderoben. Det maximala antalet plagg som garderoben är dimensionerat för idag är 875. Att det skulle ske en antändning av någon jacka är inte otänkbara. Exempelvis stod ett askfat för personalen inne i garderoben. Att det är tillåtet att personalen röker inne i garderoben är högst olämpligt. Rökförbud i garderoben skulle minska antändningsrisken betydligt. En glödande cigarettfimp som någon av gästerna av misstag lagt i sin jackficka är också en trolig antändningskälla.

På grund av det snabba brandförloppet och den höga effektutvecklingen är detta ett viktigt scenario att undersöka vidare. Det viktigaste är att utrymning av lokalen kan ske på tillfredställande vis. Efter byggnaden av det nya dansgolvet är den enda utrymningsvägen för gästerna som är på toaletten eller i dess anslutande korridor vägen förbi garderoben. Det är även känt att personer med dålig lokalkännedom oftast vill använda samma väg ut som de kom in genom². Vid utrymning kommer emellertid de flesta att gå mot huvudingången och alltså förbi garderoben.

4.1.2 Brand i DJ-bås

Enligt statistik så är en av de vanligaste antändningskällorna på diskotek elapparatur³. I DJ-båset finns mycket kablar och apparatur som vid gnistbildning kan ge upphov till brand. I båset finns också gott om plast som ger upphov till snabb effektutveckling och giftiga brandgaser. Båset är även inhöjt i spånskivor som är relativt lättantändliga.

4.1.3 Brand i fåtölj

I lokalen står ett antal kombinerade papperskorgar och askfat. Dessa är relativt instabila och kan lätt välta omkull. Aska eller glödande fimpar kan antända papperskorgens innehåll och i sin tur antända en av de många fåtöljer som finns i lokalen. Fåtöljernas beklädnad är flamskyddad, men motstår knappast en större antändningskälla. Dessutom saknas brandskyddande beklädnad på fåtöljernas undersida. En tänkbar antändningskälla är även gäster med tändare. Enligt statistik är många bränder på nattklubbar anlagda⁴.

4.2 Ej undersökta brandscenarier

4.2.1 Brand i heltäckningsmatta

En heltäckningsmatta täcker större delen av Cleos danslokal. För att uppskatta faran med denna testades mattan i LTH's brandlaboratorium. Testerna visade att vid 20 kW strålningspåverkan tog mattan eld efter ca 30 sekunder. Vidare gjordes ett försök med strålningsintensiteten 15 kW. Detta ledde endast till en sticklåga och inte någon fortgående brand. Mattans ytskikt smälte och låg som ett isolerande lager mellan strålning och den obrända mattan. Vid ytterligare försök antändes mattan varken av cigaretter eller av brinnande servetter. Inte ens blåslampa förmådde antända den.

Kommande avsnitt (6.2.1 och 6.3.1) visar att strålning från brandgaslagret mot golvet inte förmår tända mattan vid tänkta scenarier. Emellertid skulle mattan närmast omkring ett brinnande objekt

¹ Johansson, (2004)

² Frantzich (2001)

³ U.S. Fire Administration/National Fire Data Center (2000)

⁴ Ibid.

kunna antändas och bidra till ökande effekt. Detta har inte tagits med i simuleringarna men det skulle kunna leda till värre brandscenarier. Röken från mattan kan dessutom förmodas vara väldigt toxisk. Vid laborationen kände samtliga medverkande lätta symptom av huvudvärk och yrsel vid liten brandvolym och stort fläktpådrag.

4.2.2 Brand i gardin vid scenbaren

I anslutning till gardinerna saknas brännbart material som kan sprida branden. Golvet är tillräckligt flamskyddat för att inte sprida brand i gardinerna vidare, och både papperskorgar och möbler står för långt borta från gardinerna för att kunna antändas. Baren är dessutom bemannad och brand i gardinerna upptäcks förmodligen ganska snabbt.

4.2.3 Brand i soprum

Soprummet är inte beläget direkt i anslutning till Cleo utan soporna tas med hiss upp till hotellets gemensamma soprum. Sopsäckar finns utplacerade i barerna och i diskrummet. Allt överflödigt skräp skickas till soprummet innan nattklubben öppnas och enligt personalen fylls sopsäckarna i barerna aldrig helt under kvällen. Sophantering verkar skötas bra och det förekommer ingen ansamling av sopor i klubben.

4.2.4 Gasoltanksolycka

En gasoltank finns placerad på våningen ovanför Cleo. Rummet där gasoltanken är placerad är väl skyddat och sannolikheten att en brand skulle uppstå där inne är liten. Brand i Cleo skulle inte påverka gasoltanken förrän i ett långt gånget skede, då klubben redan är utrymd och räddningspersonal finns på plats.

4.2.5 Brand i kontor bakom stora baren

Kontoren används inte flitigt när klubben har gäster. Att en brand då skulle uppstå är liten. Dessa rum är dessutom avskilda från danslokalen och en brand här skulle vara mindre farlig för gästerna än de scenarier som kommer att undersökas närmare i rapporten.

4.2.6 Brand på toalett

Brand på toalett kan till exempel uppstå om någon slänger en cigarettfimp i soptunnan. Då det finns lite brännbart material på toaletterna bedöms risken att en brand skulle utvecklas och spridas som liten. Utrymningsproblemen från toaletterna behandlas i scenariot brand i garderoben.

4.2.7 Brand i innertak (20cm tjockt)

Det finns inte många tändkällor i innertaket. Den mesta el-utrustningen finns över själva dansgolvet och där saknas innertak. Risken för brand i innertak bedöms därför som liten.

4.2.8 Anlagd brand

Vakterna ska hindra folk från att komma in ifall de har på sig tändvätska, bensin eller annat som kan användas för att anlägga en brand. De scenarier som undersöks närmare i rapporten kan mycket väl vara anlagda. Emellertid undersöks detta inte närmare i rapporten.

4.3 Effektutvecklingskurvor

4.3.1 Scenario 1. Brand i garderob

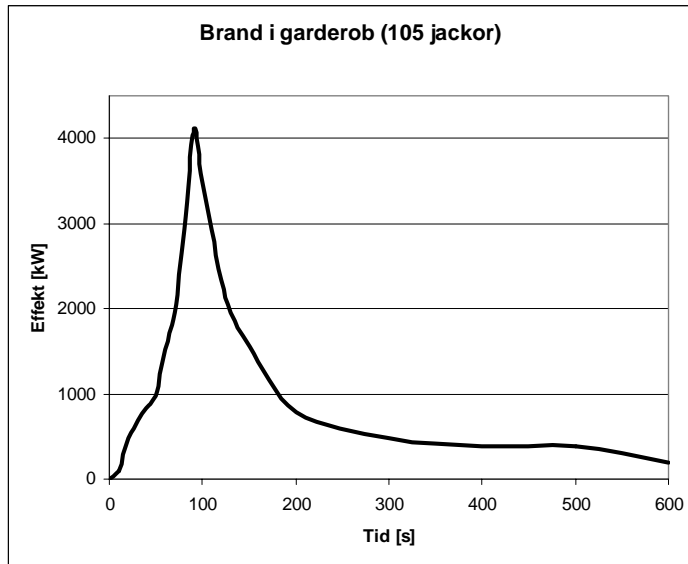
Effektutvecklingskurvan för brand i garderob bygger helt på fullskaliga försök från Björn Johanssons rapport⁵. Vid försöket användes 105 jackor. Konsekvenserna av brand i garderoben av 105 jackor undersöks och därefter förs en diskussion kring hur förhållandena skulle tänkas bli om man haft upp mot 600 jackor.

⁵ Johansson (2004)

Antändningskälla: Trolig antändningskälla är cigarettfimp i jackficka eller att någon av garderobens personal råkar antända en jacka med cigarett.

Brandtillväxt: En mycket snabb brandtillväxt. Kan liknas vid en ultra fast αt^2 -kurva.

Maxeffekt: 4 MW utifrån Johanssons försök.



Figur 4.1 Effektutvecklingskurva för brand i rack bestående av 105 jackor

4.3.2 Scenario 2. Brand i fåtölj

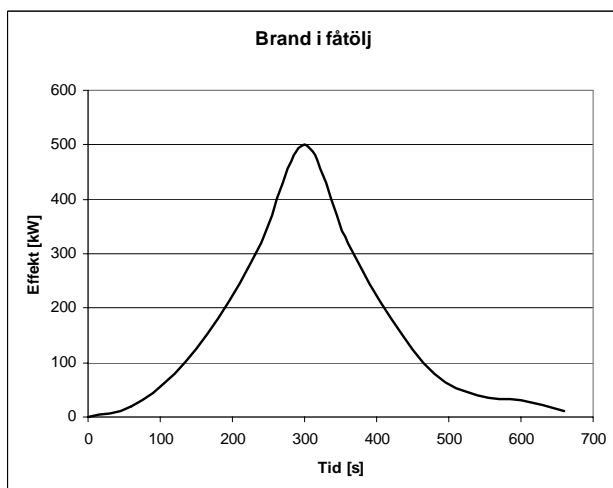
Denna effektutvecklingskurva bygger på diskussion kring försök på möbler⁶ för att få en effektutvecklingskurva som kan användas på den typen av fåtölj scenariot syftar till. Utifrån dessa försök ansågs det rimligt att anta en maxeffekt på cirka 500 kW.

Antändningskälla: Att en av de kombinerade papperskorgarna/askfat välter och antänder material i papperskorgen som i sin tur antänder fåtöljen.

Brandtillväxt: Bygger på de försök som gjorts med möbler.

Maxeffekt: 500kW bygger på diskussion kring data från försöken.

⁶ Särndqvist (1993)



Figur 4.2 Effektutvecklingskurva för brand i fätölj

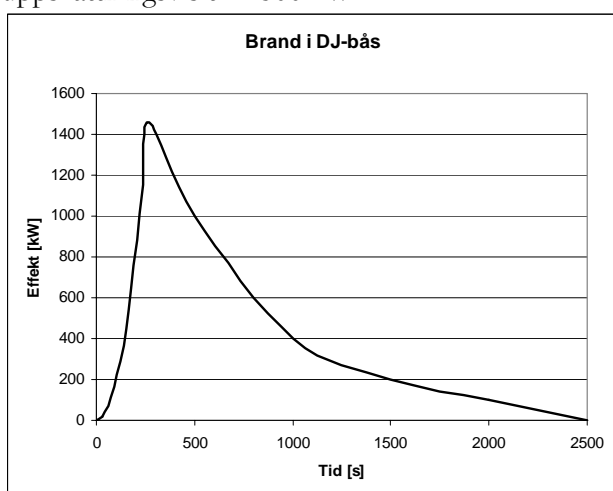
4.3.3 Scenario 3. Brand i DJ-bås

En brand i DJ-båset är väldigt komplex och är svår att uppskatta via beräkningar. BFRL⁷ har dock gjort storskaliga försök på arbetsstationer⁸. Det anses rimligt att använda dessa försök för att få fram en effektutvecklingskurva för brand i DJ-båset. I försöken från BFRL ingick elektronisk utrustning som även finns i DJ-båset. Dessutom stämmer den inneslutning som försökens uppställning gav överens med DJ-båsets inneslutning.

Antändningskälla: Enligt statistik är en av de vanligaste antändningskällorna på en nattklubb elektronisk utrustning⁹. Därför antas att den utrustning DJ:n använder sig av utgöra en potentiell antändningskälla.

Brandtillväxt: Bygger på försöken från BFRL

Maxeffekt: Enligt försöken gick effekten upp till cirka 1800 kW. Vid försöksuppställningen var panelen cirka en halv meter högre än DJ-båset. För att kompensera detta minskades effekten något, uppskattningsvis till 1500 kW.



Figur 4.3 Effektutvecklingskurva för brand i DJ-bås

⁷ Building and fire research laboratory

⁸ BFRL (1991)

⁹ U.S. Fire Administration/National Fire Data Center (2000)

5. Analys

5.1 Metod

Syftet med denna analys är att utvärdera säkerhetsnivån på Cleo och om möjligt finna lösningar för att förbättra brandskyddet. De krav som ställs på ett fullgott brandskydd är att tiden för utrymning är mindre än tiden från det att branden startar till det att kritiska förhållanden råder i lokalen. Metoden för att fastställa de olika tiderna vid tänkbara scenarier har främst varit att använda olika simuleringsmodeller (C-FAST och SIMULEX) men vissa handberäkningar har även utförts.

5.2 Definition av kritiska förhållanden

Vid brandskyddsarbete är det ofta personsäkerheten som är den avgörande faktorn hur brandskyddet ska utformas. Kritiska förhållanden är ett begrepp som lanseras som råd i olika skrifter och regelverk. Tanken med råden är att byggnader/lokaler skall vara utformade på sådant sätt att ingen i lokalen vid en eventuell brand utsätts för sådana förhållanden att det kan äventyra deras framtida hälsa. De kritiska förhållandena definieras enligt följande:

Brandgaslagrets höjd¹⁰

- Brandgaslagret får inte sjunka längre ned än $1,6 + (0,1 \cdot \text{takhöjden})$ meter.

Då detta råd kom till innan man hade medel att beräkna sikten i brandgaslagret, har en annan definition valts med avseende brandgaslagrets höjd. I rapporten har denna satts till 1,7 m om kritiska förhållanden gällande temperatur, sikt eller toxicitet uppnås i brandgaserna. Anledningen till ett valt just 1,7 m är att brandgaslagret under denna höjd kan tänkas nå ner över utrymmande upprättstående personers munnar och näsor.

Värmestrålning

- Personer under utrymning får max utsättas för en värmestrålning på 10 kW/m^2 under en kort tid.¹¹ Med kort tid avses upp till 6 s^{12} .
- Personer under utrymning får max utsättas för en värmestrålning på $2,5 \text{ kW/m}^2$ under en längre tid.¹³

Temperatur¹⁴

- Personer bör under utrymning max utsättas för en temperatur på 80°C .

Sikt¹⁵

- I utrymningsvägarna får sikten ej understiga 10 m innan utrymningen är genomförd.
- I brandrummet får sikten ej understiga 5 m innan utrymningen är genomförd.

Toxicitet¹⁶

- De utrymmande får inte utsättas för en CO-halt högre än 2000 ppm.
- De utrymmande får inte utsättas för en CO₂-halt högre än 5 vol-%.

¹⁰ BBR (1994)

¹¹ Ibid.

¹² NKB Utskotts- och arbetsrapporter (1994)

¹³ Jönsson et al (2002)

¹⁴ BBR (1994)

¹⁵ Jönsson et al (2002)

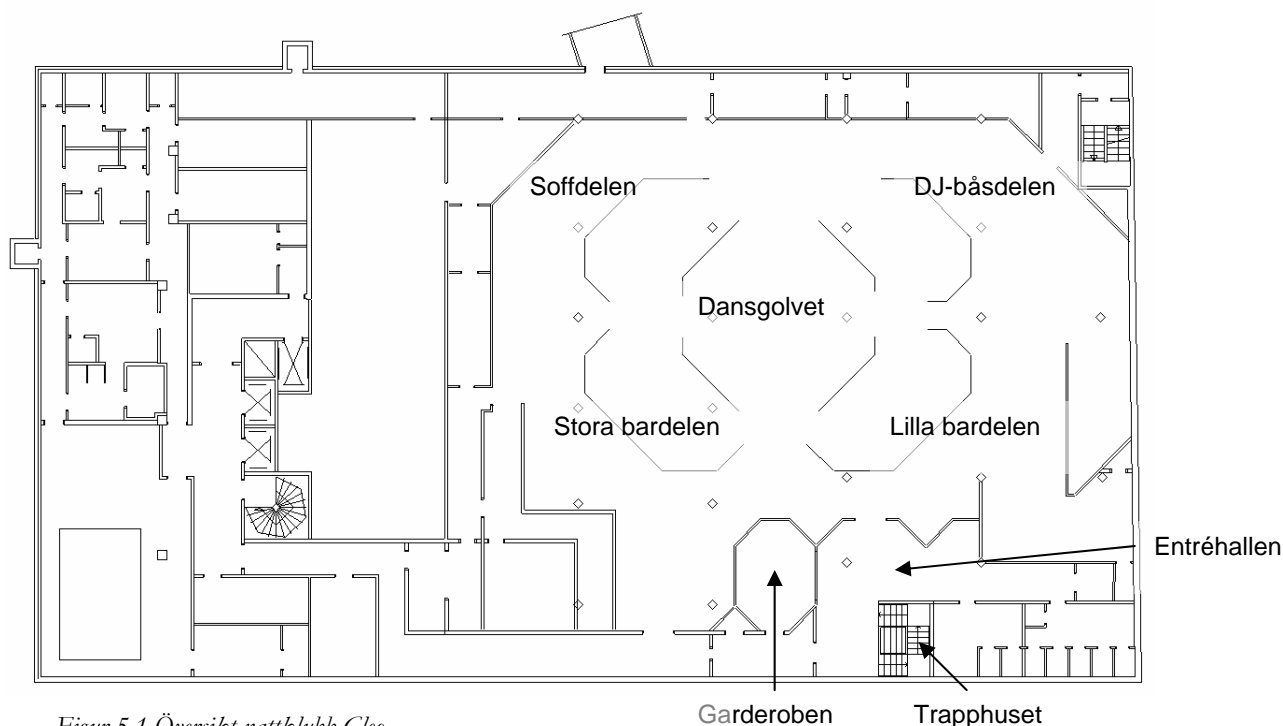
¹⁶ Ibid.

5.3 Simulering av brandförlopp – C-FAST

C-FAST är ett program som använts i denna rapport för att simulera brandgasspridning i ett eller flera rum. Programmet använder sig av en så kallad tvåzonsmodell, som innebär att brandgaserna antas lägga sig i ett homogent skikt ovanför den kallare rumsluften. C-FAST använder sig av de grundläggande ekvationerna för bevarande av massa och energi. Samtliga ekvationer löses kontinuerligt för varje skikt (ett undre och ett övre skikt för varje rum) under brandförloppet. Följande information om brandgaserna för respektive rum sparas i en utdatafil:

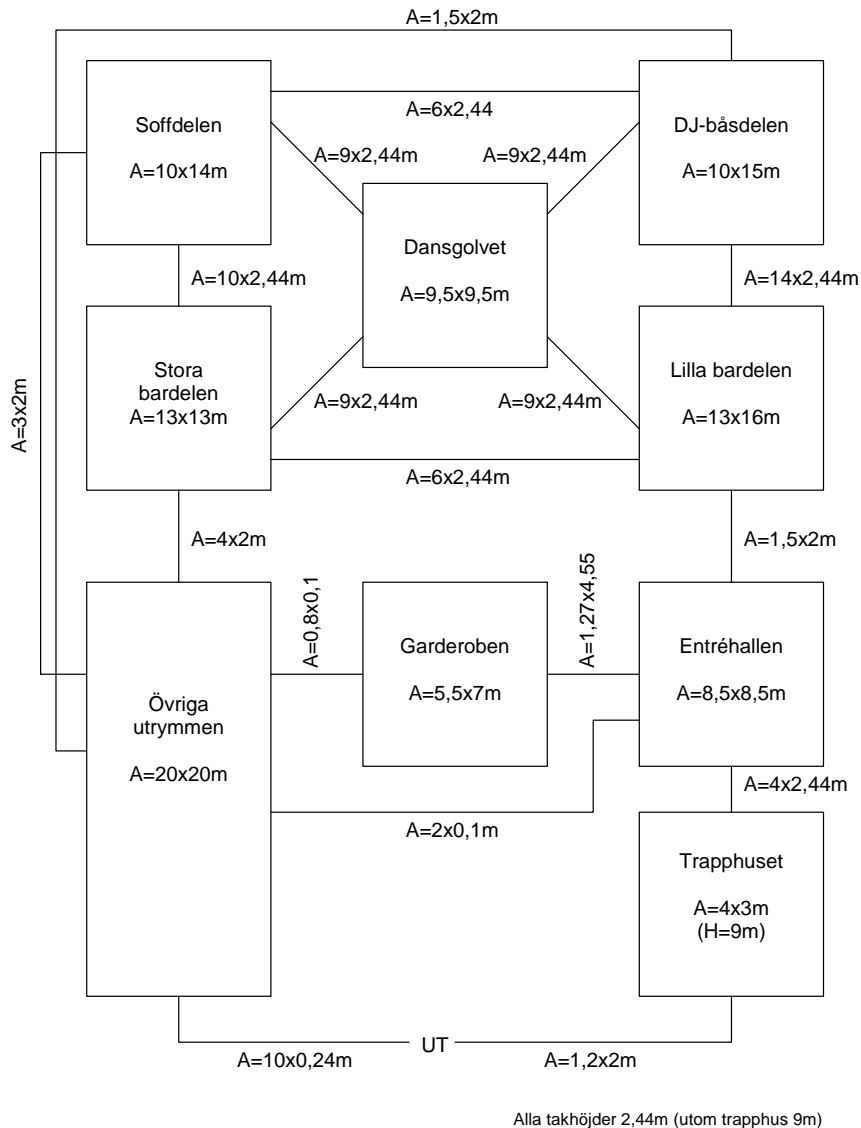
- Temperatur
- Kolmonoxidhalt
- Koldioxidhalt
- Strålning från brandgaslagret
- Brandgaslagrets höjd över golvet
- Den optiska densiteten i brandgaslagret (för siktberäkningar)

Eftersom C-FAST antar att alla rum är rektangulära och inte tar hänsyn till öppningars placering i horisontalled måste komplicerade byggnadsgeometrier förenklas. Beräkningar blir också allt mindre tillförlitliga ju fler rum som är med i beräkningarna och det är därför klokt att försöka begränsa antalet rum i simuleringen.



Figur 5.1 Översikt nattklubb Cleo

Vid simulering av bränder i Cleo förenklades dess geometri från figur 5.1 till figur 5.2. Danslokalen delades upp i fem olika delar för att få en tillförlitligare bild av brandgasspridningen i lokalen. I övrigt var garderoben, entréhallen och entrétrapphuset mest intressant. Övriga utrymmen har slagits ihop till ett rum. Detta rum finns endast med för att simuleringen i de övriga rummen ska bli mer tillförlitliga med avseende på rökfyllnad och ingen information från detta rum tas med i vidare beräkningar. I samtliga rum har väggar och golv antagits bestå av betong. Taket har antagits bestå av isolerande glasfiberplattor.



Figur 5.2 Schematisk skiss över Cleo vilken har använts som indata till C-FAST

5.4 Detact T2

Dataprogrammet Detact T2 används för att beräkna tiden tills en viss temperatur har uppnåtts i en detektor. Programmet förutsätter att detektorn är placerad under ett tak inom en relativt stor area. Detta medför att ingen hänsyn tas till varma stillastående brandgaser och endast värmeflödet under taket påverkar detektorn. Som indata i programmet används takhöjd, omgivningstemperatur, RTI-värdet för detektorn, maximalt detektoravstånd samt tillväxtfaktorn för den dimensionerade branden. De utdata som ges är tid och brandeffekt vid aktivering. En felkälla som kan antas finnas i programmet är att förhållandena ses som adiabatiska, vilket medför att detektionstiden i simuleringen blir kortare än i verkligheten.

Brandeffekten antas följa sambandet $Q = \alpha \cdot t^2$

där	Q	Effektutveckling [kW]
	α	Tillväxtfaktor [kW/s ²]
	t	Tid [s]

Värdet på tillväxtfaktorn beror av brandförloppets hastighet som beräknas genom analys av vad som antas brinna.

5.5 Utrymning

5.5.1 Allmänt om utrymning

Utrymning ska ske innan kritiska förhållanden uppstår. Tiden det tar att nå kritiska förhållanden måste vara längre än tiden det tar att utrymma. Utrymningstiden delas upp i tiden det tar att upptäcka branden, tiden det tar att reagera samt ta beslut och slutligen tiden det tar för förflyttning från lokalen till en nödutgång. Detta kan skrivas på följande sätt:

$$t_{\text{krit}} > t_{\text{utrymning}}$$

$$\text{Marginal} = t_{\text{kritiska förhållanden}} - t_{\text{detektion}} - t_{\text{reaktion}} - t_{\text{förflyttning}}$$

Detektionstiden varierar beroende på om det finns larm eller inte, vilken typ av larm det är och givetvis brandförloppet. På Cleo finns automatiskt brandlarm.

Tiden för reaktion, beslut och förflyttning beror på bland annat omgivande faktorer, personegenskaper och sociala faktorer. De omgivande faktorerna inkluderar byggnadens utformning, typen av verksamhet i lokalen, ljus, ljud o.s.v. Personegenskaper har att göra med vana, motivation och framför allt roll. Det är stora skillnader i reaktionstid mellan personal och gäster. Personal är som regel mer mentalt förbered att varna andra och försöka bekämpa branden.

Det visar sig att den mest genomgående egenskapen hos människor som utrymmer är att de oftast söker sig till den utgången som de kom in genom. Att folk drabbas av panik är ovanligt. Tvärtom så är normen att man hjälper varandra och agerar rationellt, åtminstone fram till dess att det verkligen känner livsfara. Däremot känner folk ofta inte till hur brandens tillväxt förändras varför deras beslut baserar sig på tron att de har mer tid på sig än de i verkligheten har.

Beslut under utrymning påverkas i hög grad av vilken information som står till buds. Till exempel ett talat meddelande kan hjälpa folk att snabbare ta rätt beslut. Tydliga skyltar är viktigt eftersom de flesta oftast inte söker alternativa nödutgångar förrän de absolut måste. Då kan sikten ha förändrats och stressnivån höjts vilket gör det svårare att hitta rätt. Att få stå och vänta vid en utgång kan höja stressnivån och man bör se till att väntetiden blir så kort som möjligt eftersom de som väntar upplever tiden som längre om de är stressade och kanske väljer att försöka ta en alternativ väg vilket inte säkert är ett optimalt beslut.

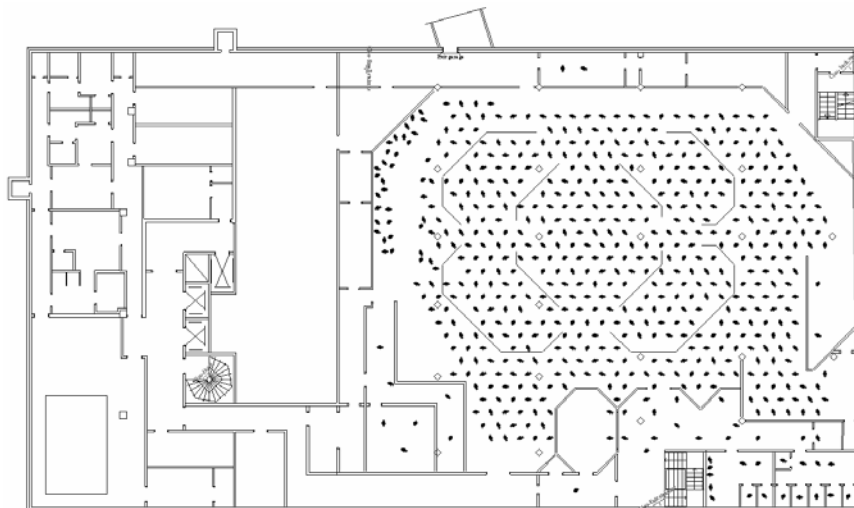
Personalen har alltså en viktig roll när det gäller att ge information. De har kännedom om lokalen, de är sannolikt bättre mentalt förberedda och de kan ta snabbare beslut. De kan hjälpa folk att hitta den närmaste eller för situationen bästa utgången. De kan även assistera handikappade, framförallt ifall alla utgångar inte är handikappanpassade.

5.5.2 Simulering av utrymningsförlopp – SIMULEX

SIMULEX är ett program som används för att simulera personers beteende vid utrymning. Programmet utgår från en ritning över önskat objekt och beräknar därefter närmaste vägen till valda utgångar. Önskat antal personer placeras ut i ritningen, varefter man bestämmer deras gånghastighet, val av utrymningsväg, reaktionstid m.m innan simuleringen startas.

5.5.2.1 Grunduppställning

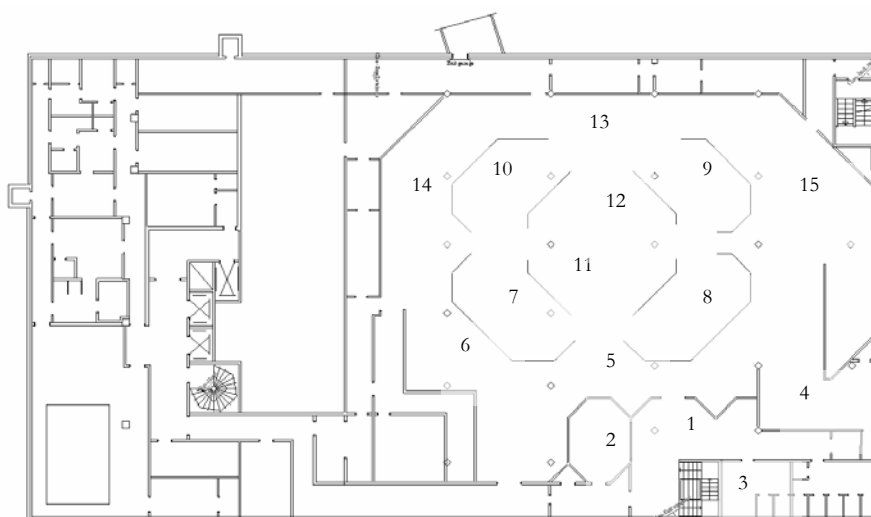
Grunduppställningen för SIMULEX innefattar 609 personer. Dessa personer är gäster och personal, därför är antalet något högre än de 600 gäster som nattklubben har tillåtelse till. Denna uppställning används i samtliga simuleringar och varieras med reaktionstider, beslutstider och val av utrymningsvägar¹⁷. Syftet med dessa simuleringar är att kunna jämföra tiden för utrymningen med den tid det tar innan kritiska förhållanden råder.



Figur 5.3 Grunduppställning för simulex

5.5.2.2 Indelning av objektet

För att kunna ställa in olika reaktionstider på personer i olika delar av objektet krävdes en uppdelning av lokalen. Uppdelningen är den samma för samtliga simuleringar (figur 5.4). Reaktionstider och vägval framgår i beskrivningen av de olika scenarierna.



Figur 5.4 uppdelning av objektet

1: Området vid garderoben och korridoren till toaletterna, 2: Garderoben, 3: Herr- och damtoaletterna samt handikapptoaletten, 4: Nya dansgolvet, 5: Området i direktanslutning till de magnetuppställda dörrarna, 6: Området vid stora baren, 7-10: Områdena med sittmöjligheter i anslutning till dansgolvet, 11: Nedre delen av dansgolvet, 12: Övre delen av dansgolvet, 13: Området vid scenbaren, 14: Soffgrupperna och området i direkt anslutning till dessa, 15: Området med sittmöjlighet mellan scenbaren och lilla baren

¹⁷ Frantzich (2001)

5.5.2.3 Scenario 1. Brand i garderob

Område	Reaktiontid+beslutstid [min]	Utrymningväg
1	0,5	Entrén
2	*	Entrén
3	5	Entrén
4	4**	Trapphuset
5	4**	Hotellet
6	4**	Hotellet
7	4**	Hotellet
8	4**	Trapphuset
9	4**	Trapphuset
10	4**	Garaget
11	4**	Garaget
12	4**	Garaget
13	4**	Garaget
14	4**	Garaget
15	4**	Trapphuset

Tabell 5.1 Inställningar av reaktionstid och vägval, brand i garderob

Entrén: Utrymningsvägen via huvudentrén

Hotellet: De två sammanfallande utrymningsvägarna som leder till hotellets relaxavdelning

Trapphuset: Utrymningsvägen till höger om scenbaren som går via ett trapphus ut till det fria

Garaget: Utrymningsvägen till vänster om scenbaren som leder ut till garaget

* 10 sekunder

** En variation på plus/minus en minut

Resultat från simulering:

Alla personer har lämnat objektet efter 8: 25 min.

5.5.2.4 Känslighetsanalys garderob

Nattklubben har tillstånd för 600 personer. Det är dock troligt att det kan förekomma fler personer i lokalen. Med detta som bakgrund utfördes en simulering med samma uppställning som för brand i garderob (se Tabell 5.1) men med 908 personer i lokalen. Anledningen till att samma uppställning användes var att få en tydlig bild av hur personantalet påverkar utrymningstiden. Resultatet från simuleringen gav en utrymningstid på 10:15 min. Detta är en ökning på 1:50 min från tidigare simulering.

5.5.2.5 Scenario 2. Brand i fåtölj

Område	Reaktiontid+beslutstid [min]	Utrymningväg
1	5	Entrén
2	2,5	Entrén
3	5	Entrén
4	5	Entrén
5	2	Entrén
6	3	Hotellet
7	1,5	Hotellet
8	3	Trapphuset
9	4	Trapphuset
10	3	Garaget
11	2	Garaget
12	3	Trapphuset
13	4	Garaget

14	4	Garaget
15	4	Trapphuset

Tabell 5.2 Inställningar av reaktionstid och vägval, brand i fätölj

Entrén: Utrymningsvägen via huvudentrén

Hotellet: De två sammanfallande utrymningsvägarna som leder till hotellets relaxavdelning

Trapphuset: Utrymningsvägen till höger om scenbaren som går via ett trapphus ut till det fria

Garaget: Utrymningsvägen till vänster om scenbaren som leder ut till garaget

Resultat från simulering:

Alla personer har lämnat objektet efter 7:47 min.

5.5.2.6 Scenario 3. Brand i DJ-bås

Område	Reaktionstid+beslutstid [min]	Utrymningväg
1	5	Entrén
2	2,5	Entrén
3	5	Entrén
4	4	Entrén
5	3	Entrén
6	4	Hotellet
7	3	Entrén
8	3	Entrén
9	1,5	Garaget
10	3	Garaget
11	3	Entrén
12	2	Entrén
13	2	Garaget
14	4	Garaget
15	3	Trapphuset

Tabell 5.3 Inställningar av reaktionstid och vägval, brand i DJ-bås

Entrén: Utrymningsvägen via huvudentrén

Hotellet: De två sammanfallande utrymningsvägarna som leder till hotellets relaxavdelning

Trapphuset: Utrymningsvägen till höger om scenbaren som går via ett trapphus ut till det fria

Garaget: Utrymningsvägen till vänster om scenbaren som leder ut till garaget

Resultat från simulering:

Alla personer har lämnat objektet efter 9:39 min.

5.5.2.7 Känslighetsanalys DJ-bås

Scenariot med brand i DJ-bås gav via simulering en lång utrymningstid, trots att ingen av nödutgångarna var blockerade. Anledningen till detta var den kraftiga köbildning som bildades vid passagen från danslokalen till garderoben och vid trappan upp till entrén. En känslighetsanalys med en mer optimal inställning av utrymningväg utfördes, vilket kan jämföras med att personalen påkallar sig uppmärksamhet och leder gäster till de utrymningsvägar som finns i objektet. Samma reaktions- och beslutstider användes som i scenario 3 för att se hur mycket vägvalet ändrar resultatet.

Område	Reaktiontid+beslutstid [min]	Utrymningväg
1	5	Entren
2	2,5	Entren
3	5	Entren
4	4	Trapphuset
5	3	Entren
6	4	Hotellet
7	3	Hotellet
8	3	Entren
9	1,5	Trapphuset
10	3	Garaget
11	3	Entren
12	2	Garaget
13	2	Garaget
14	4	Hotellet
15	3	Trapphuset

Tabell 5.4 Inställningar av reaktionstid och vägval, brand i DJ-båset

Entrén: Utrymningvägen via huvudentrén

Hotellet: De två sammanfallande utrymningvägarna som leder till hotellets relaxavdelning

Trapphuset: Utrymningvägen till höger om scenbaren som går via ett trapphus ut till det fria

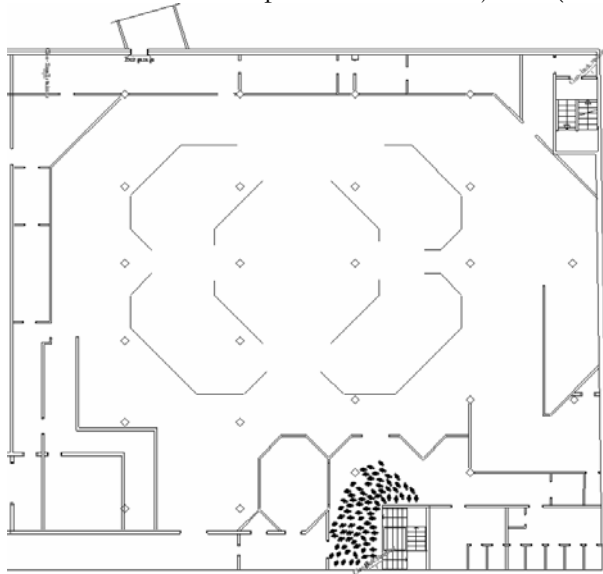
Garaget: Utrymningvägen till vänster om scenbaren som leder ut till garaget

Resultat från simulering:

Alla personer har lämnat objektet efter 7:20 min.

Simuleringen visade att tiden för utrymning minskade betydligt. Grunduppställningen för DJ-båset gav en utrymningstid på 9:39 min medan en mer optimal fördelning av vägval gav en utrymningstid på 7:20 min. Detta belyser personalens viktiga roll vid utrymning då utrymningstiden i detta scenario minskar med 2:19 min vid mer optimal insats av personalen.

Vid tiden 7:20 min in i simuleringen där grunduppställningen för DJ-båset användes fanns det fortfarande cirka 140 personer kvar i objektet (40 av dessa i trappan). Se figur 5.5.



Figur 5.5 7:20 min in i simuleringen vid brand i DJ-båset.

6 Resultat

I föregående avsnitt redogjordes för metoder som använts och faktorer som rör utrymnings-säkerheten. Följande avsnitt är ett försök att redovisa och knyta samman de faktorer som avgör utrymnings-säkerheten på Cleo.

6.1 Scenario 1. Brand i garderob

6.1.1 Tid till kritiska förhållanden

I bilaga C visas resultaten från simuleringar gjorda i C-FAST med avseende på alla de faktorer som kan tänkas ge kritiska förhållanden. Samtliga faktorer har tagits i beaktande för att ge en tydligare bild av den situation som enligt beräkningarna kommer att råda än om endast den faktor som först ger kritiska förhållanden skulle ha redovisats. I diagrammet över brandgaslagrets höjd i entréhallen utläses att en kritisk höjd på 1,7 m (avsnitt 5.2) nås efter ungefär 1:00 min. Brandgaslagrets höjd fortsätter dessutom att sjunka relativt fort. Efter 1:40 min når brandgaslagret enligt beräkningarna sitt minimum på ungefär 0,8 m.

För att undersöka detta utlästes sikten, temperaturen och toxiciteten i brandgaslagret efter 1:00. Sikten var 2 m, temperaturen 120°C medan toxiciteten inte nådde kritiska förhållanden förrän senare.

Värmestrålningen mot utrymmande personer i entréhallen är från brandgaslagret enligt C-FAST ungefär 0,4 kW/m² efter 1:00 min och 1,5 kW/m² efter 1:40 min vilket också är det maxvärde som uppnås. Därtill adderas strålningen från flammorna. Någon sådan går inte att beräkna i programmet och istället har handberäkningar utförts (bilaga A). Dessa visar på en strålning från flammorna på omkring 6 kW/m² på ett fyra meters avstånd från flammorna vid tiden 1:40 min från antändning. Den sammantagna strålningen efter både 1:00 min och 1:40 min är då en bit under det kritiska värdet på 10 kW/m² enligt BBR:94 som gäller för kortvarig strålning.

Scenario 1 brand i garderob	Tid till kritiskt förhållande [min]
Temperatur	1:00
Strålning	-*
Sikt	1:00
Koldioxidhalt	-
Kolmonoxidhalt	2:40

Tabell 6.1 Tid till kritiska förhållanden vid brand i garderob

*Gäller vid beaktande av strålningen som kortvarig

6.1.1.1 Ventilation

Vid brand i garderoben finns det en viss risk att brandgaser sprids via ventilationen till toaletterna. För att brandgaserna ska kunna spridas via detta frånluftssystem krävs ett övertryck i brandrummet så att brandflödet i ventilationen överstiger summan av frånluftsflödena¹⁸ i garderoben och i toaletterna (1500 + 1600 = 3100 m³/h). En brand på 1 MW ger upphov till ett brandflöde på ungefär 1 m³/s = 3600 m³/h ut ur brandrummet¹⁹. Dessa brandgaser kommer främst att spridas ut ur jackinlämningen och brandflödet i ventilationen kommer inte överstiga det normala utflödet från garderoben då tryckupbyggnaden där är försumbar.

¹⁸ Jensen (2002)

¹⁹ Jensen (2002)

6.1.2 Utrymningsanalys

Vid brand i garderob stängs dörren till danslokalen enligt beräkningar efter cirka 17 s (bilaga D). Dörren ska vara brandklassad för att stå emot brand i minst 30 min. Detta innebär att människorna inne i danslokalen har väldigt god tid på sig att utrymma. Simuleringar i SIMULEX visar att utrymning genom övriga utrymningsvägar inte är några problem. Även om i stort sett alla väljer samma utrymningsväg kommer de hinna vara ute ur byggnaden innan eventuell brandspridning till danslokalen inträffat. Snarare är det viktigt med detta scenario utrymning av de personer som kan tänkas befinna sig på toaletten.

Enligt vaktchefen har en av vakterna till uppgift att vid larm få ut folk från toaletterna. Vid entréhallen finns tre olika toaletter, en för herrar, en för damer och en handikapptoalett. Hur lång tid det tar att få ut alla människor är svårt att veta och varierar antagligen från fall till fall. Uppskattningsvis borde det ta åtminstone en minut eller (troligen) mer om vakten ska springa runt till alla tre toaletterna och få med sig alla ut. Berusade personer kan antas vara långsamma och kanske ovilliga att utrymma, dessutom kommer det ta viss tid för vakten att själv reagera på larmet.

En rörelsehindrad person som besöker toaletten kan också uppsaktningsvis ta längre tid på sig att utrymma. Den sammanlagda utrymningstiden uppskattas till absolut som minst 1:30 min.²⁰

6.1.3 Jämförelse mellan utrymningstider och tid till kritiska förhållanden

Analysen av resultaten visade att temperaturen och sikten i det sjunkande brandgaslagret mycket snabbt kommer att passera gränsen för vad som anses vara kritiska förhållanden. Gällande tiden för utrymning så var denna svår att ange exakt. Det finns en chans att människorna inne på toaletterna genast reagerar på utrymningslarmet. Gör de det har de en rimlig chans att hinna ut innan kritiska förhållanden nås i entréhallen. Det troliga är dock inte att alla som är på toaletterna påbörjar utrymning så snabbt. Snarare kommer de flesta inte att hinna ut innan kritiska förhållanden nås. I syfte att undersöka hur resultaten skulle blivit om förhållanden varit annorlunda har det gjorts en känslighetsanalys. Bland annat varierades i C-FAST mellan öppna och stängda dörrar vid entrén och in till danslokalen (bilaga C). Resultaten blev att kritiska förhållanden uppnåddes efter ungefär samma tid. Är entrédörren öppen kommer en stor del av röken att ventileras ut den vägen och brandgaslagret inte sjunka lika lågt som om dörren vore stängd. Klart är dock att det sjunker en bit under den kritiska höjden på ungefär samma tid som om entrédörren vore stängd, vilket den enligt vaktchefen oftast är.

Scenario 1 brand i garderob	Tid [min]
Tid till kritiska förhållanden	1:00
Beräknad utrymningstid	> 1:30
Säkerhetsmarginal	<-0:30

Tabell 6.2 Jämförelse mellan utrymningstider och tid till kritiska förhållanden vid brand i garderob

6.1.3.1 Känslighetsanalys

En sak som skulle kunna påverka utrymningssäkerheten är hur många jackor som antas antända. Emellertid kan resultaten angående tid till kritiska förhållanden inte bli mycket värre än vad resultaten blev då brand i 105 jackor antogs, detta beroende på att inte alla jackor kan antas antända samtidigt i kombination med att brandförloppet är så pass snabbt som det är. Om man bortser från kritiska förhållanden som begränsning gäller att den maximala effekt som kan uppnås vid brand i garderob är nästan 6 MW enligt handberäkningar, oavsett antalet jackor i garderoben (bilaga A).

²⁰ Observera att ovanstående antaganden inte grundar sig på någon undersökning av utrymning från toaletter utan endast ett resonemang från författarnas sida.

För att visa vilka konsekvenser en brand i en full garderob skulle ge utfördes en simulering i C-FAST (bilaga C). En simulering på en brand i 945 jackor utfördes, vilket gav en maxeffekt på 7 MW, trots att den beräknade effektutvecklingen (bilaga F) vid bränslekontrollerad brand gav en maxeffekt på 24 MW. Utrymningsförhållandena i entréhallen blev ungefär desamma som vid brand i 105 jackor. I simuleringen var dörren till danslokalen öppen och förhållandena i danslokalen blev sämre än vid brand i 105 jackor.

Antal jackor	Brandgaslagrets höjd i danslokalen [m]		
	1 min	5 min	10 min
105	2,3	1,8	1,5
945	2,3	1,6	1,2

Tabell 6.3 Brandgaslagrets höjd i danslokalen vid olika tidpunkter och olika antal brinnande jackor i garderoben.

6.2 Scenario 2. Brand i fåtölj

6.2.1 Tid till kritiska förhållanden

I bilaga C visas resultaten från simuleringar gjorda i C-FAST med avseende på de faktorer som kan tänkas ge kritiska förhållanden vid brand i fåtölj. En jämförelse mellan kriterierna för kritiska förhållanden och simuleringensresultaten för detta scenario visar att några kritiska förhållanden inte uppnås. Brandgaslagrets höjd sjunker visserligen till ungefär 1,7 m men sikten når aldrig lägre än 6 m, vilket är högre än de 5 meter vilket angavs som minsta sikt vid utrymning i brandrummet (avsnitt 5.2). Kravet på vilken minsta sikt som bör gälla anses emellertid bero på hur stor lokalen är. Eftersom Cleo är en relativt stor lokal är 5 meters sikt eventuellt i minsta laget för att enkelt kunna utrymma. Vad gäller strålning och toxicitetshalterna så kommer de aldrig upp i värden som är i närheten av kritiska förhållanden.

Krav finns på att utrymmade personer maximalt får utsättas för en temperatur på 80°C. Brandgaslagret når emellertid som högst 70°C med undantag för brandgaslagret i brandens direkta närhet där temperaturen stiger till som högst runt 90°C.

Eftersom kritiska förhållanden angående både sikt och temperatur är mycket nära att passeras kan en känslighetsanalys vara på sin plats. Variabeln öppna/stängda dörrar antas påverka brandförloppet. En jämförelse mellan att låta alla dörrar vara öppna och att stänga dörren till dansgolvet efter 1:00 min, då larmet beräknas utlösa, resulterade inte i några större skillnader. Däremot känns det rimligt att anta att kritiska förhållanden skulle uppstå om effektutvecklingen vore något högre än de 500kW som räknats på. I lokalen finns många typer av möblemang. Tänkbara scenarier med större effektutveckling vore exempelvis att ytterligare någon möbel antänder eller ännu värre att en av soffgrupperna antänder. Stor osäkerhet ligger även i den uppskattade effektutvecklingskurvan utseende. Risken finns att effektutvecklingen är högre än den antagna vilket troligen skulle resultera i att kritiska förhållanden skulle uppnås. Redan en brand på 500kW ligger precis på gränsen för vad som är acceptabelt.

6.2.2 Utrymningsanalys

Utifrån utdata i C-FAST (bilaga C) utlöser larmet efter cirka en minut (bilaga D) vid brand i fåtölj. Detta innebär att dörrarna då stängs mellan danslokalen och garderoben. Detta har inte någon större inverkan på utrymningen då de fortfarande kan öppnas och entrén kan användas som utrymningsväg. Med tanke på fåtöljens placering kan alla utrymningsvägar användas, dock kan det tänkas att personer inte använder närmaste utrymningsväg då de i sådant fall måste passera den brinnande fåtöljen. Man kan anta att personerna har en instinkt att röra sig bort från branden.

Vid brand inne i danslokalen som behandlas i detta scenario innebär att gästerna kan se branden. Detta innebär att tiden för beslut och reaktion minskar jämfört om gästerna endast hör utrymningslarmet. Dock skall det kommenteras att inte alla personer i lokalen kommer att se branden samtidigt. I lokalen finns pelare, draperier och mycket personer som skymmer sikten. Det blir därför en uppdelning där gästerna i direkt anslutning till branden börjar utrymma fortast och sedan successivt ju längre bort från branden gästerna befinner sig. De reaktions- och beslutstider som används i simuleringen redovisades i avsnitt 5.5.2.5.

Det är i detta fall viktigt att personalen agerar på ett korrekt vis och dirigerar gäster till alternativa utrymningsvägar då branden är placerad i närheten till ingången mellan garderob och danslokal. En köbildning vid dörrarna mellan danslokalen och garderoben är inte att rekommendera då gästerna i detta fall kommer att stå i närheten av branden. Att branden är placerad i anslutningen till utrymningsvägen via entrén kan i detta fall vara positivt eftersom gästerna då instinktivt använder alternativa utrymningsvägar. Fortfarande kommer dock en del gäster att vilja använda entrén som utrymningsväg.

6.2.3 Jämförelse mellan utrymningstider och kritiska förhållanden

I avsnitt 6.2.1 ovan konstaterades att några kritiska förhållanden till följd av brand i fåtölj aldrig kommer att uppstå, även om förhållandena verkar bli mycket nära för vad som kan betraktas vara kritiska. Med det som bakgrund känns det relevant att ändå jämföra tiden för utrymning med tiden till kritiska förhållanden *nästan* inträffar. Tiden för utrymning var enligt simuleringarna 7:47 min jämfört med ungefär 5:00 min tills temperaturen och sikten når sina sämsta värden. Detta är oroväckande då endast en liten ökning i effektutvecklingskurvan skulle innebära att många människor fortfarande skulle befinna sig inne i lokalen då kritiska förhållanden inträder. Det är dessutom relativt mycket tid som skiljer från att alla människor hunnit utrymma innan kritiska förhållanden råder, $7:47 - 5:00 = 2:47$ min. Möjligen blir denna tid lite mindre om en ökning i effektutvecklingen antas men denna ökning antas i sammanhanget inte vara särskilt stor då effektutvecklingen endast behöver ökas marginellt för att överstiga gränsen för kritiska förhållanden.

Om man antar att det övriga möblemanget på Cleo brinner med ungefär samma egenskaper som uppskattats för fåtöljbranden är den slutsats man kan dra från exemplet att en brand i en fåtölj är ungefär vad Cleo klarar av innan människor riskeras att komma till skada.

Scenario 2 brand i fåtölj	Tid [min]
Tid till kritiska förhållanden	-
Beräknad utrymningstid	7:47
Säkerhetsmarginal	oändlig

Tabell 6.4 Jämförelse mellan utrymningstider och tid till kritiska förhållanden vid brand i fåtölj

6.3 Scenario 3. Brand i DJ-bås

6.3.1 Tid till kritiska förhållanden

Analys av resultaten angående brand i DJ-båset visade att kritiska förhållanden nås efter ungefär 3:20 min då brandgaslagret sjunkit till ca 1,7 m oavsett om dörrar hålls öppna eller stängda. Vidare visade det sig att sikten i brandgaslagret redan efter 1:40 min understeg 5 m. Efter 3:20 min då brandgaslagret nått kritiska nivåer är sikten endast någon enstaka meter.

Temperaturen i lokalen når efter ungefär 6:40 min den kritiska gränsen på 80°C. Övriga faktorer gällande kritiska förhållanden når aldrig kritiska värden.

Scenario 3 brand DJ-bås	Tid till kritiskt förhållande [min]
Temperatur	6:40
Strålning	-
Sikt	3:20
Koldioxidhalt	-
Kolmonoxidhalt	-

Tabell 6.5 Tid till kritiska förhållanden vid brand i DJ-bås

6.3.2 Utrymningsanalys

Även i detta scenario ger data från C-FAST (bilaga C) en utlösningstid för larmet på cirka en minut (bilaga D). En brand i DJ-båset kommer inte direkt att blockera någon av de utrymningsvägar som finns i objektet. Emellertid kan man anta att personerna i lokalen kommer att röra sig bort från branden. I detta scenario riskerar man enligt SIMULEX att få kraftig köbildning vid dörrarna mellan danslokalen och garderoben. Detta beror dels på att det är den kända utrymningsvägen och dels på brandens placering.

Vid brand i DJ-båset kommer personerna att se branden, som för scenariot med brand i en fåtölj innebär detta att personer i direkt anslutning till branden kommer att börja utrymma fortast och sedan successivt ju längre bort från branden personen befinner sig. Även här är det ett problem med skymd sikt.

Det är ytterst viktigt att vid brand i DJ-båset belysa personalens roll. För att undvika eller reducera köbildning vid passagen mellan danslokalen och garderoben måste personalen agera enligt de föreskrifter som finns.

Känslighetsanalysen på detta scenario visar en markant förbättring gällande utrymningshastigheten om gästerna i objektet delas upp mer optimalt på de utrymningsvägar som finns till förfogande.

6.3.3 Jämförelse mellan utrymningstider och kritiska förhållanden

Som tabell 6.6 visar uppstår kritiska förhållanden efter cirka 3:20 min. Vid denna tid orsakar det sjunkande brandgaslagret en sådan försämrad sikt och en sådan temperaturhöjning att det råder kritiska förhållanden. Genom simuleringar i SIMULEX var tiden för utrymning betydligt längre än tiden för att nå kritiska förhållanden. Det skall även här påpekas att simuleringar i SIMULEX inte ger en exakt bild av själva utrymningen, men ger en uppskattning som är användbar. Då en mer optimal uppställning valdes vid simulering blev utrymningstiden 7:20 min. Det visar klart att det blir stora problem att utrymma vid detta scenario.

Scenario 3 brand i DJ-bås	Tid [min]
Tid till kritiska förhållanden	3:20
Beräknad utrymningstid	7:20
Säkerhetsmarginal	-4:00

Tabell 6.6 Jämförelse mellan utrymningstider och tid till kritiska förhållanden vid brand i DJ-bås

6.4 Begränsningar

Simuleringarna med C-FAST och SIMULEX ger ingen exakt bild av det verkliga brandförloppet respektive utrymningsförloppet. Osäkerheterna är många och resultaten från dessa bör ses som en fingervisning om vad som skulle kunna ske vid händelse av brand. Att resultaten inte är *exakta* gör dem inte mindre viktiga ur säkerhetssynpunkt.

Siktberäkningarna vid brand i fätölj kan vara missvisande. Vid beräkningarna antogs stolen bestå av enbart trä (bilaga B). Fätöljerna har en del stoppning som ger mer rökutveckling än trä. Sikten kan alltså tänkas vara ännu sämre i brandgaslagret. Detta påverkar dock inte brandgaslagrets höjd över golvet, varpå kritiska förhållanden ändå inte uppstår (avsnitt 6.2.1).

7. Åtgärdsförslag

7.1 Garderob

7.1.1 Förslag

En av de mest sannolika antändningskällorna vid brand i garderob är en malplacerad cigarett²¹. Ett förslag är därför att helt förbjuda rökning i och i anslutning till garderoben.

Enligt tidigare resonemang (avsnitt 6.1.3) angående brand i garderob blir förhållandena snabbt sådana att utrymning förbi garderoben omöjliggörs. Dessutom riskerar de människor som är på toaletten vid uppkomst av en eventuell brand att bli fast där om inga åtgärder utförs (avsnitt 6.1.3).

En enkel och kostnadseffektiv lösning som skärmar av och stänger in branden skulle vara att förse jackinlämningen med ett jalusi eller luckor. Konstruktionen bör vara automatiserad och kopplad till brandlarmet för att säkerställa att branden stängs in så snabbt som möjligt. En lösning skulle kunna vara ett motordrivet jalusi för jackinlämningen som går igen då brandlarmet utlöser. Detta bidrar till att brandgaser kyls av recirkulerande brandgaser, begränsar brandens syretillgång samt reducera brandgasernas spridningsmöjlighet och strålningens intensitet mot passerande personer. För att lösningen ska fungera tillfredställande krävs dessutom att dörrarna in till garderoben hålls stängda eller åtminstone stängs vid larm. Förslagsvis installeras självstängande dörrar.

7.1.2 Ventilation

Är garderoben helt tät kommer alla brandgaser spridas via ventilationen. En inestängning av garderoben kommer dock inte vara fullständigt tät då ett visst läckage kan förutsättas.

Enligt C-FAST har garderobsbranden en maxeffekt på ungefär 3 MW (efter 1:30 min) om garderoben börjar stängas då larmet går (bilaga D). Detta skulle kunna ge ett brandflöde på 10800 m³/h. Även om en del av brandgaserna kommer spridas via naturligt läckage till de intilliggande rummen finns det stor risk att brandflödet i ventilationen är högre än de 3100 m³ som krävs för spridning till toaletterna (avsnitt 6.1.1.1)

Med anledning av detta kan det vara motiverat att installera ett brandgasspjäll i ventilationen mot toaletterna i samband med inneslutning av garderoben. Man bör dock inte strypa flödet från garderoben vid larm, eftersom frånflödet kan transportera bort en del av brandgaserna vid brand.

7.1.3 Kontrollsimulering

Beräkningar i C-FAST visar att då en garderobsbrand på 105 jackor stängs in blir effektutvecklingen mindre (3 MW) än om den inte gör det (4 MW). Detta beror på att branden blir ventilationskontrollerad. En brand i fler jackor skulle därmed inte medföra en större effektutveckling.

Som tidigare nämnts är det svårt att täta garderoben helt och i simuleringarna har det räknats med ett visst läckage ut genom jalusiet. Detta leder till att det ändå kan vara svårt att utrymma via trapphuset eftersom det är där de brandgaser som läcker ut från garderoben hamnar. Brandgaslagrets höjd i entréhallen når dock aldrig kritiska förhållanden och utrymning kan därför ske via alternativa nödutgångar. Utdata från simuleringen visas i bilaga C.

7.2 Toaletter

De personer som befinner sig på någon av toaletterna riskerar att bli kvar där då det inte finns någon annan väg ut än den förbi garderoben. En brand i garderoben försvårar utrymning denna väg (avsnitt

²¹ U.S. Fire Administration/National Fire Data Center (2000)

6.1.1). Ett alternativ för att komma undan problemet vore att installera en dörr ut mot lilla bardelen. Åtgärdas garderoben enligt avsnitt 7.1.1 är detta dock inte lika nödvändigt.

7.3 Nödutgång till garage

Denna nödutgång är anpassad för att underlätta för rörelsehindrade. Det finns en ramp till dörren från nattklubben in till utrymningsvägen. Däremot finns ingen ramp vid trappsteget vid dörren som leder ut till garaget. Här bör man vara konsekvent och anpassa hela utrymningsvägen för rörelsehindrade. Detta är viktigt för att undvika köbildning vid utrymning. En enkel och billig åtgärd är helt enkelt att ersätta trappsteget med en ramp.



Bild 7.1 Ramp i utrymningsväg till garage

7.4 Avskiljningsvägg utanför toaletterna

Avskiljningsväggarna är gjorda av MDF-skivor. Det uppfyller inte kraven i BBR för en BR 1 byggnad. Dessa väggar skall täckas med gips eller ytbehandlas på annat sätt enligt regelverket. De kan annars fungera som tändkällor eller bidra till ökad brandbelastning och brandspridning.

7.5 DJ-bås

7.5.1 Resonemang

Likt avskiljningsväggen är även DJ båset gjort av MDF-skivor. Det som bidrar mest till den effektutveckling som Dj-båset ger är just träet. Ur brandsäkerhetssynpunkt vore den absolut bästa åtgärden att bygga ett nytt DJ-bås bestående av brandskyddat material, förslagsvis gipsskivor med metallregelverk eller i andra hand inbyggda regler bestående av trä. Ett annat alternativ är att klä in det befintliga DJ-båset med gipsskivor. Brandskyddet kan emellertid aldrig bli lika bra som om båset enbart bestod av obrännbart material. Ett tredje och ytterligare mindre bra alternativ vore att brandskyddsmåla båset. Risken är dock att färgen med tiden kommer att skavas bort och brandskyddet därmed försvinna om man inte kontinuerligt underhåller och målar båset.

7.5.2 Kontrollsimulering

För att säkerställa att de åtgärder som föreslogs i 7.5.1 verkligen ger en säkrare miljö på Cleo har simuleringar utförts med utgångspunkt att DJ-båset blivit ombyggt och består av brandskyddat

material. Däremot antas den elektroniska utrusningen brinna på samma sätt som tidigare även om det var träet i båset som tidigare antogs bidra med den största effektutvecklingen då massan relativt sätt var betydligt större.

För att beräkna en effektutvecklingskurva för den elektroniska utrustning som kan väntas finnas i ett DJ-bås har resultat från fullskaleförsök på tv-apparater använts²². Den utrusning som kan tänkas finnas i båset antas motsvara ungefär två tv-apparater med mått på 0,36x0,33x0,25 m³. I konservativt syfte antas utrustningen inte vara flamskyddad (bilaga E).

Effektutvecklingskurvan används sedan till simuleringar i C-FAST enligt samma metod (avsnitt 4.3) som använts vid de övriga scenarierna. Resultaten visade att förhållandena blir kritiska efter 7:00 minuter då brandgaslagret enligt simuleringarna når en ungefärlig höjd av 1,7 m. Sikten vid denna tidpunkt är i stort sett obefintlig. Övriga faktorer når aldrig kritiska förhållanden (bilaga C).

Brand i DJ-utrustning	Tid till kritiskt förhållande [min]
Temperatur	-
Strålning	-
Sikt	7:00
Koldioxidhalt	-
Kolmonoxidhalt	-

Tabell E.1 Tid till kritiska förhållanden vid brand i DJ-bås

7.5.3 Jämförelse mellan utrymningstider och tid till kritiska förhållanden

Enligt resonemang i avsnitt 6.3.3 är den beräknade utrymningstiden som minst 7:20 minuter. Detta innebär att trots de föreslagna åtgärderna kommer förhållandena hinna bli kritiska innan alla människor hunnit utrymma. Åtgärden innebär ändå en markant förbättring av utrymningsförhållandena.

Brand i DJ-utrustning	Tid [min]
Tid till kritiska förhållanden	07:00
Beräknad utrymningstid	07:20
Säkerhetsmarginal	-0:20
Förbättring efter åtgärdsförslag	03:40

Tabell E.2 Förbättring efter åtgärdsförslag vid brand i DJ-bås

Ovanstående resultat visar att ytterligare åtgärder krävs för att utrymning ska kunna ske på ett tillfredsställande vis. Utbildning av DJ:n på befintlig släckutrustning och eventuellt placera en pulversläckare i båset vore en godtagbar åtgärd. Då en vådautlösning med en pulversläckare kan orsaka stora skador på utrusningen vore ett alternativ att försöka bygga in så stora delar av utrusningen som möjlig för att förhindra en större brand.

²² Särndqvist (1993)

7.11 Installation av sprinklersystem

Resultaten från de utvalda scenarierna (avsnitt 6) visar på stora brister gällande utrymningssäkerheten på Cleo. En åtgärd som avsevärt skulle förbättra säkerheten gällande de flesta tänkbara scenarier vore att installera ett sprinklersystem. En stor fördel med ett sprinklersystem är att det alltid kommer att finnas på plats och att det inte försämras med tiden (förutsatt att systemet underhålls). Därför är det även en bra åtgärd på längre sikt då det skyddar mot många tänkbara framtida scenarier. Inga beräkningar angående hur bra skydd ett eventuellt sprinklersystem ger har dock utförts då det ej ligger inom ramen för denna rapport.

En installation av ett sprinklersystem i garderoben skulle kunna ge ett visst skydd mot en större brand. Emellertid kan det antas vara relativt problematiskt att sprinkla garderoben på ett sådant sätt att brandskyddet blir tillräckligt tillfredställande med endast taksprinkler. Ett jalousi vid jackinlämningen enligt avsnitt 7.1.1 bör därför installeras oavsett.

8. Referenser

BBR (1994), *Boverkets Byggregler*, Boverket, Sverige

BFRL (1991), *Building and fire research laboratory, two panel workstation*.
<http://www.fire.nist.gov/fire/fires/work2/work2.html>, (2004-11-15), USA

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

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

Hultqvist, H (2000), *Simulating visibility in HAZARD I / CFAST*, rapport7008. Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Jensen, L (2002), *Brandgas-spridning via ventilationssystem*. Rapport TABK—98/7050. Avdelningen för installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund

Jönsson, R et al. (2002) *Brandskydds-handboken*. Rapport 3117. Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund

Johansson, B (2004), *Analys av utrymnings-säkerheten vid brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå*. rapport 5137. Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund

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

NIST (National Institute of Standard Techonology)

NKB Utskotts- och arbetsrapporter (1994), *Funktionsbestemte Brandkrav og Teknisk Vejledning for beregningsmeassig eftervisning*, Helsinki

SFPE (1995), *Handbook of fire protection engineering 2nd edition*. National Fire Protection Agency, USA

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

U.S. Fire Administration/National Fire Data Center (2000), *Nightclub Fires in 2000*, Topical Fire Research Series, Volume3 – Issue 7, U.S.

Bilaga A. Handberäkningar

Samtliga formler och värden är hämtade från *Enclosure Fire Dynamics*²³ och *An Introduction to Fire Dynamics*²⁴.

Maxeffekt vid ventilationen som begränsande faktor

Nedanstående beräkningar baseras på att dörren vid ingången är öppen. Detta antagande är mycket osäkert då vaktchefen menar att dörren oftast står stängd. Stämmer detta utgås det ifrån att en större brand i garderoben blir ventilationskontrollerad. Dörren in till Cleo antas stängas då larmet utlöses.

$$H_{\text{öppning}} = 2,36 \text{ m}$$

$$A_{\text{öppning}} = 1,08 \times 2,36 \text{ m}^2 = 2,55 \text{ m}^2$$

$$m_a = 0,5 \cdot A_{\text{öppning}} \sqrt{H_{\text{öppning}}} \approx 1,96 \text{ kg/s}$$

$$\Delta H_{c,ox} = 13,1 \text{ MJ/kg}$$

Massfraktionen i luften är ca 23%. Antar att allt syre förbrukas.

Maxeffekten beräknas genom

$$\dot{Q}_{\text{max}} = \Delta H_{c,ox} \cdot (0,23 - 0) \cdot m_a \approx 5,9 \text{ MW}$$

Strålningsberäkningar

Strålning från garderob vid brand i 105 jackor

Strålningen från flammorna beräknas för att undersöka om utrymning genom entréhallen till danslokalen från toaletterna är möjlig utifrån de kritiska gränsvärden som finns. Utrymning via huvudentrén kan bortses ifrån då trapphuset rökfylls på under 1:40 min enligt beräkningar i C-FAST. Brandgaslagret i huvudentrén sjunker som lägst enligt samma beräkningar till ungefär 1,6m, vilket är strax under gränsen för vad som kan tolereras. Hade brandgaslagrets höjd varit väsentligt lägre hade strålningsberäkningar varit överflödiga då utrymning ändå inte skulle kunna ske.

Strålning från flammorna

Strålningen från flammorna beräknas genom att dela upp branden i fem olika punktkällor med vardera en femtedel av den totala effekten. Strålningen, som vanligen är ungefär trettio procent av den totala effekten, antas sedan spridas sfäriskt utifrån dessa punkter²⁵. Omslutningsarean av denna sfär är $A = 4\pi r^2$, där r är avståndet från punkterna på flamman till de utrymmande personerna. Avståndet r varierar alltså med vilken höjd de antagna punkterna placeras och beräknas med hjälp av pytagoras sats. Garderobsdiskens öppning börjar ungefär på höjden 1m. För enkelhets skull sätts den punkt på de utrymmande personerna som träffas av strålningen vara densamma. Höjden på garderobsdiskens öppning mättes vid objektsbesöket till ungefär 1,3 m. Den angivna höjden är alltså höjden på de flammor som syns.

Strålningen från en av de fem punkterna, vid en maxeffekt på 4100 kW och tiden 1:30 min efter antändning, beräknas bli $4100 \text{ kW} \cdot 0,3/5 = 246 \text{ kW}$. När strålningen från varje punkt är framtagen

²³ Karlsson & Quintiere (1999)

²⁴ Drysdale (1998)

²⁵ SFPE (1995)

och omslutningsarean går att beräkna kan strålningen tas fram per areaenhet, E, genom sambandet: $246 \text{ kW}/\text{A} = E$. I tabellform blir resultatet:

Punkt	Radie [m]	Area [m ²]	Strålning/punkt (kW)	Strålning per areaenhet [kW/ m ²]
1	4	201	246	1,22
2	4,01	202	246	1,22
3	4,05	206	246	1,19
4	4,11	212	246	1,16
5	4,22	222	246	1,11
S:a				5,90

Tabell A.1 Strålning från flammorna vid brand i garderob, entrédörren stängd, dörren mot dansgolvet öppen.

Den totala strålning från flammorna som en utrymmande person utsätts för är alltså ungefär 5,9 kW/m²

Strålning från brandgaslagret

Strålningsintensiteten från flammorna blir då efter insättning i ovanstående formel 5,9 kW/m². Denna intensitet beskriver alltså enbart strålningen från flammorna. Även brandgaslagret kommer bidra med viss strålning. Om brandgaslagrets temperatur vid samma tidpunkt hämtas från C-FAST så är denna temperatur, $T_g = 460 \text{ K}$.

Synfaktorn, Φ för detta fall kan antas vara relativt nära 1²⁶ då brandgaslagret just blir ett lager som täcker in hela taket i entréhallen.

$$\Phi = 0,9$$

Strålning från brandgaslagret blir:

$$E = \epsilon \sigma T_g^4 \Phi = 2,3 \text{ kW}/\text{m}^2$$

där ϵ är ett mått på genomsnittsemissiviteten för brandgaslagret och liknar en svart kropp där $\epsilon=1$.

Enligt beräkningar var strålningen från flammorna 5,9 kW/m²(tabell A.1). Den sammanlagda strålningen från både brandgaslager och flammor är alltså över 8 kW/m². Kritiska förhållanden antas enligt BBR:94 vara 10 kW/ m² vid kortvarig strålning.

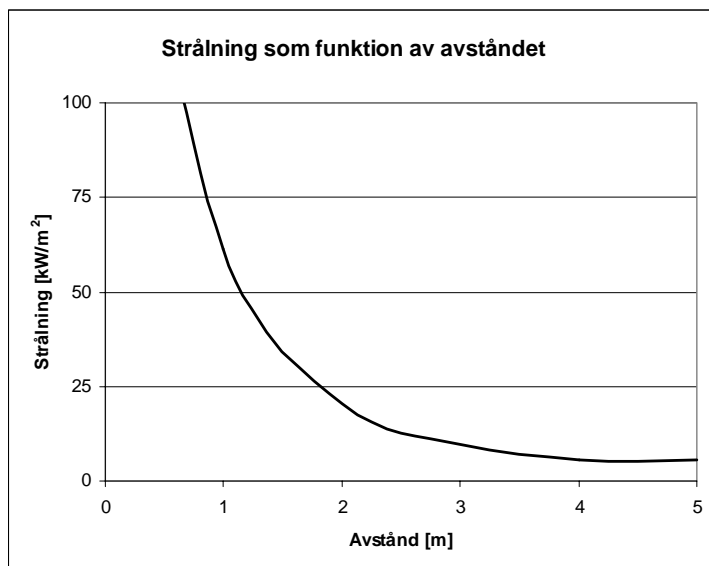
Risk för brandspridning mellan rack i garderoben

Som tidigare påpekats är racken med jackor placerade med två rack i höjdlid. Ett sådant dubbelrack innehåller uppskattningsvis 105 jackor. Om ett rack antänder vad finns det då för risk att branden sprider sig till övriga rack? En icke ventilationskontrollerad brand med 105 jackor gav som tidigare konstaterats en effekt på ungefär 4 MW. Arean av brand i 105 jackor antas uppskattningsvis vara ungefär 3 m². Beräknas arean om till en cirkel blir diametern $(4A/\pi)^{1/2} = 2 \text{ m}$. Med samma effekt som i avsnitt 4.3.1 kan flamhöjden L beräknas.

$$L = 0,235 Q^{2/5} - 1,02 \quad D = 4,5 \text{ m}$$

²⁶ Drysdale (1998)

Flammorna blir enligt beräkningarna alltså tillräckligt höga för att nå upp till taket vilket ger en verklig flamhöjd på 2,5 m. Används samma metod som för uppskattning av strålning mot människor ser diagrammet för strålning mot övriga jackrack ut enligt följande:



Figur A.1 Strålning från flammen som funktion av avståndet från flammen vid brand i garderob

Dessutom kommer det finnas strålning från det brandgaslager som bildas i garderoben. Temperaturen på brandgaslaget hämtas från simuleringar gjorda i C-FAST visar att T_g stiger till som mest 460 K. Med samma resonemang som för brandgaslagrets strålning mot utrymmande personer blir strålningen per areaenhet $E = 2,3 \text{ kW/m}^2$. Denna strålning är förhållandevis liten och bidrar endast marginellt till ökad strålning mot övriga klädrack.

Strålning vid brand i fåtölj

Beräkning av flamhöjd

Fåtöljeblandens diameter uppskattas vara den samma som för fåtöljen före branden. $D = 0,76 \text{ m}$. Maxeffekten för fåtöljbrand har i rapporten uppskattats till 500kW

Flamhöjden, L , beräknas genom

$$L = 0,235 Q^{2/5} - 1,02 D = 2 \text{ m}$$

Brandgaslagrets strålning

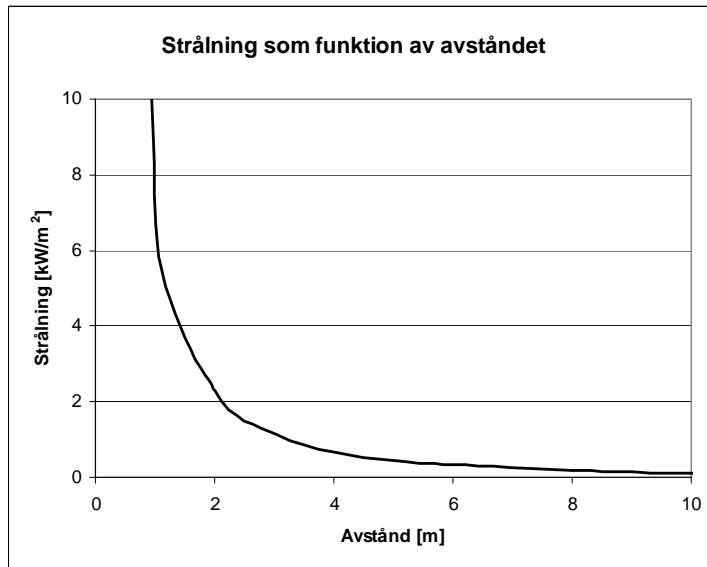
Simuleringar gjorda i C-FAST visar att temperaturen på det brandgaslager som bildas växer till som mest $T_g = 340 \text{ K}$. Strålningen per areaenhet blir då som mest:

$$E = \epsilon \sigma T_g^4 \Phi = 0,7 \text{ kW/m}^2$$

Värden på synfaktorn och emissiviteten antas vara de samma som vid ovanstående resonemang, d.v.s $\Phi = 0,9$ och $\epsilon=1$.

Flammornas strålning

Strålningen från flammorna beräknas enligt den modell som användes för strålning mot utrymmande personer vid brand i garderob. Dessutom varierades avståndet. I diagramform blev resultatet:



Figur A.2 Strålning från flamman som funktion av avståndet från flamman vid brand i fätölj

Som synes i diagrammet blir strålningsintensiteten endast skadlig på mycket nära avstånd från flamman. Brandgaslagrets strålning är försumbart i närheten av flamman.

Strålning vid brand i DJ-bås

Beräkning av flamhöjd

Maxeffekten för brand i DJ-båset har i rapporten uppskattats till 1500 kW

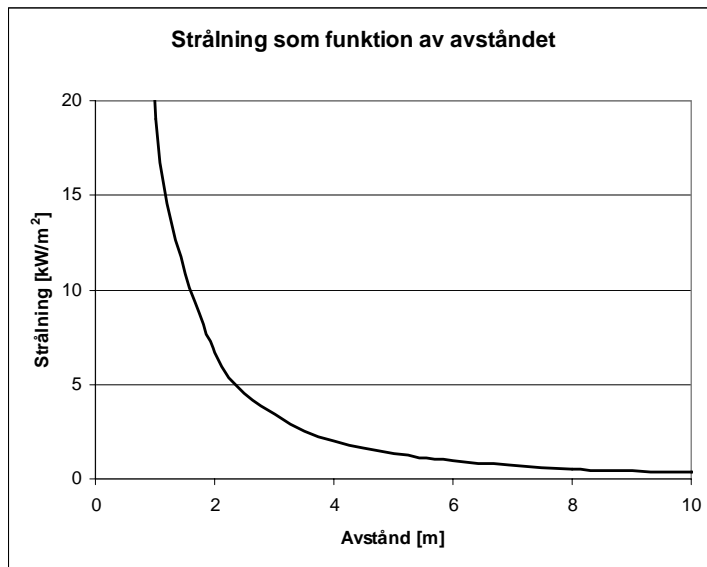
DJ-båset hade en ungefärlig area på $A = 4\text{m}^2$ och därmed $D = \sqrt{(4 \cdot 4 / \pi)} = 2,2\text{m}$

Flamhöjden, L , beräknas genom

$$L = 0,235 Q^{2/5} - 1,02 D = 2,2\text{m}$$

Flammornas strålning

Strålningen från flammorna beräknas enligt samma metod som tidigare.



Figur A.3 Strålning från flammen som funktion av avståndet från flammen vid brand i DJ-bås

Brandgaslagrets strålning

Simuleringar gjorda i C-FAST visar att temperaturen på det brandgaslager som bildas växer till som mest $T_g = 460$ K efter ca 300 sekunder. Strålningen per areaenhet från brandgaslagret blir då som mest:

$$E_{\text{brandgaslager}} = \epsilon \sigma T_g^4 \cdot \Phi = 2,3 \text{ kW/m}^2$$

Där värden på synfaktorn och emisiviteten antas vara de samma som vid ovanstående resonemang. $\Phi = 0,9$ och $\epsilon=1$

Den totala strålning en utrymmande person då utsätts för vid brand i DJ-båset blir alltså $2,3 \text{ kW/m}^2$ plus strålningen från flammorna som alltså beror av avståndet.

Bilaga B. Siktberäkningar

Sikten i brandgaslagret går att räkna fram utifrån den optiska densiteten per meter. Denna beräknas i simuleringarna med C-FAST. För dessa beräkningar krävs förutom effektutvecklingen²⁷ :

H / C massan väte i förhållande till massan kol i bränslet [g/g]

C / CO_2 massan kol i förhållandet till massan koldioxid i förbränningsprodukterna [g/g]

Dessa värden räknades för varje bränsle ut i våra beräkningar från Tabell 3-4.14 i SFPE Handbook, enligt följande:

$$H / C = \frac{\text{antal vätemolekyler} \times \text{vätets molekylvikt}}{\text{antal kolmolekyler} \times \text{kolets molekylvikt}}$$

$$C / CO_2 = \frac{\text{yield } C}{\text{yield } CO_2}$$

För de olika brandscenerierna antogs bränslet bestå av:

Garderob (kläder)	100 % polyester	
DJ-bås(1)	10% PVC, 90% trä	(ej flamskyddad inhängnad)
DJ-bås(2)	100% PVC	(flamskyddad inhängnad)
Fåtölj	100 % trä	

Detta gav följande värden för H / C respektive C / CO_2 som sedan matades in i C-FAST:

	Garderob	DJ-bås(1)	Dj-bås(2)	Fåtölj
H / C	0,12	0,14	0,13	0,14
C / CO₂	0,08	0,048	0,37	0,012

Tabell B.1 indata till C-FAST för siktberäkningar

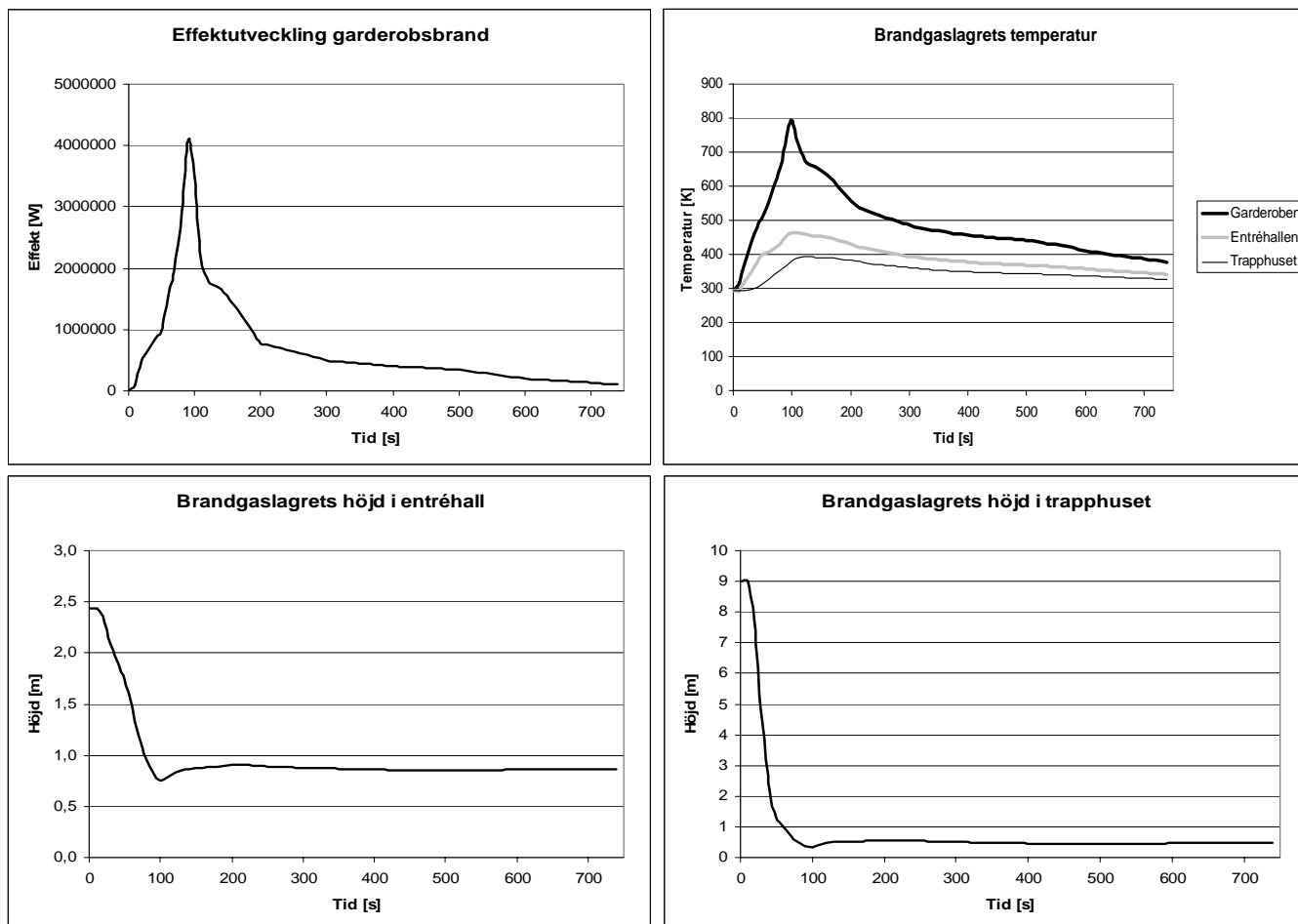
²⁷ Hultqvist (2000)

Bilaga C. CFAST- Resultat

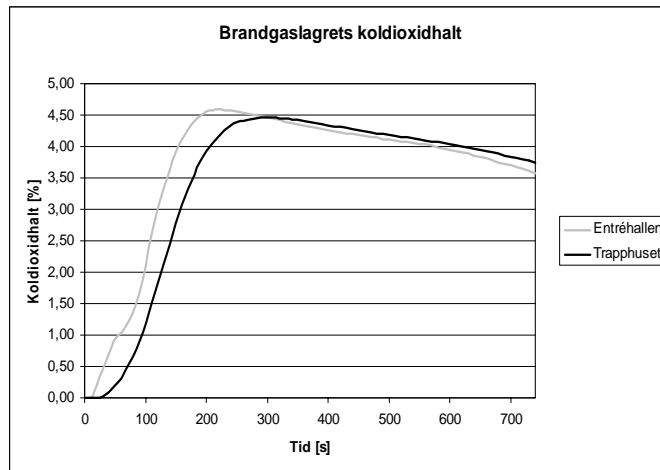
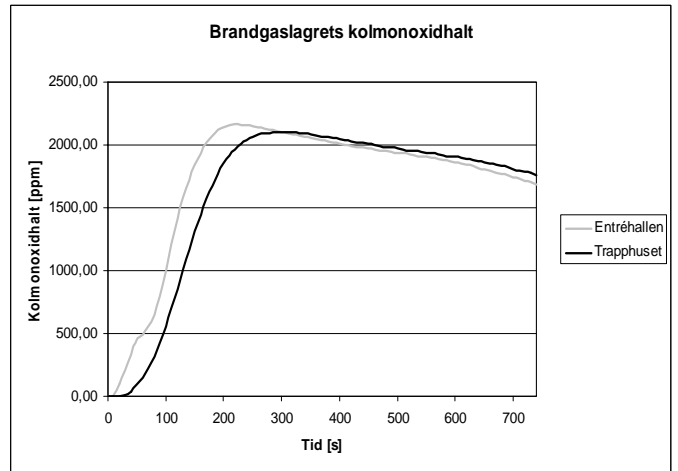
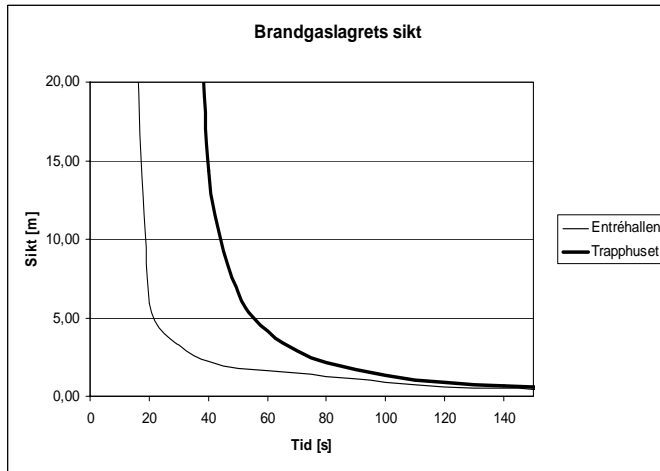
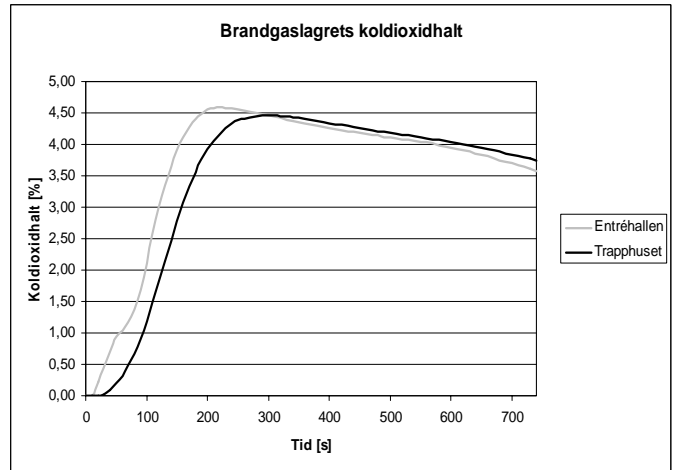
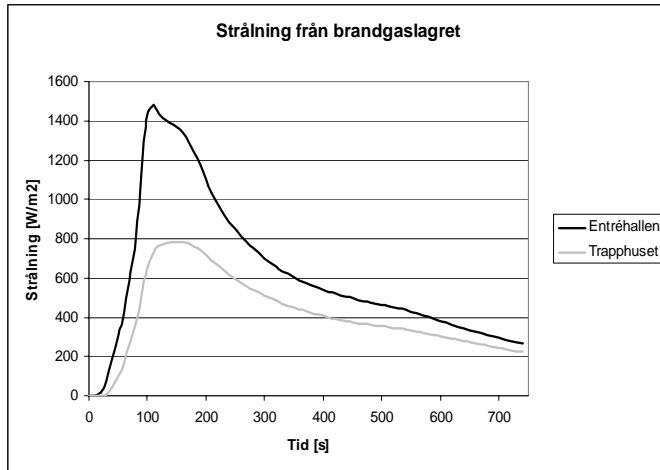
För brand i garderoben visas fullständig data från den simulering som hänvisats till i texten. För övriga kombinationer med öppna/stängda²⁸ dörrar visas endast brandgaslagrets höjd samt effektutvecklingen. Som synes är effektutvecklingen lika för dessa olika simuleringar och därmed antas att förhållandena i brandgasen också är likartade. Samma resonemang gäller för brand i DJ-bås.

Brand i garderob 1

Ett klädrack brinner i garderoben. Dörren till dansgolvet stängs då larmet går efter 17 s. Entrédörren är under hela brandförloppet stängd.

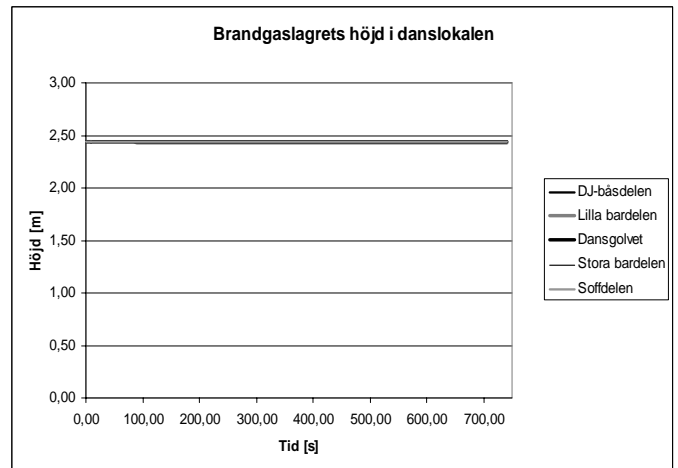
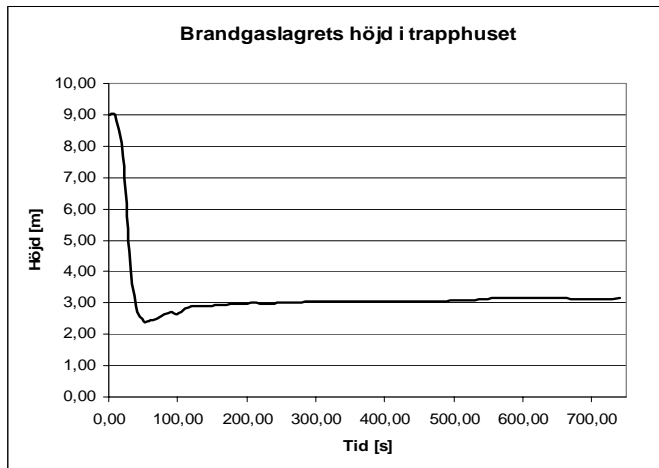
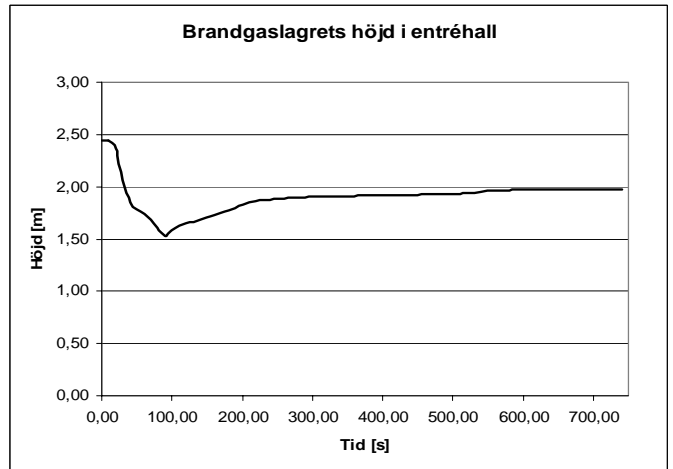
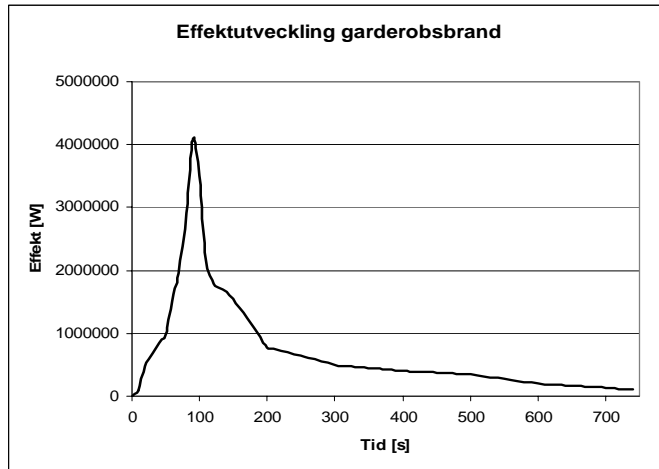


²⁸ Med stängd dörr avses inte en fullständig tillslutning av öppningen. En mindre del av öppningen har låtits vara öppen för att simulera naturligt läckage.



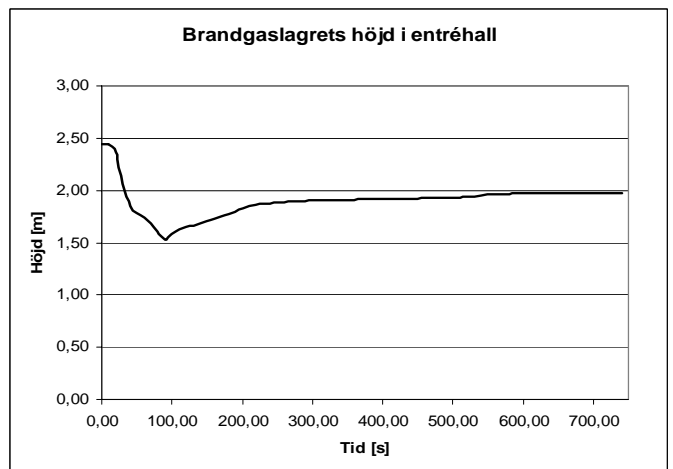
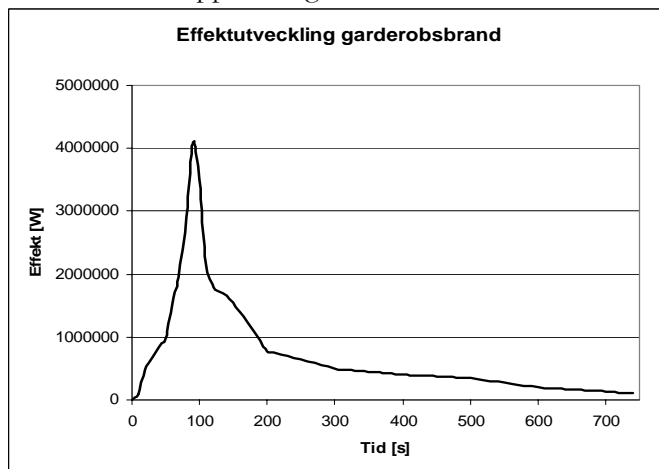
Brand i garderob 2

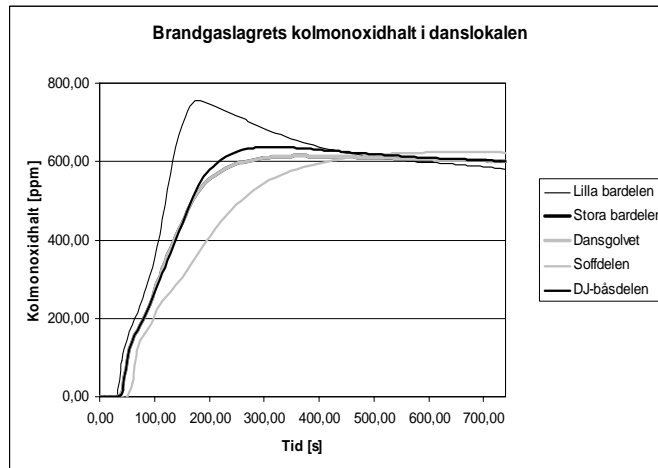
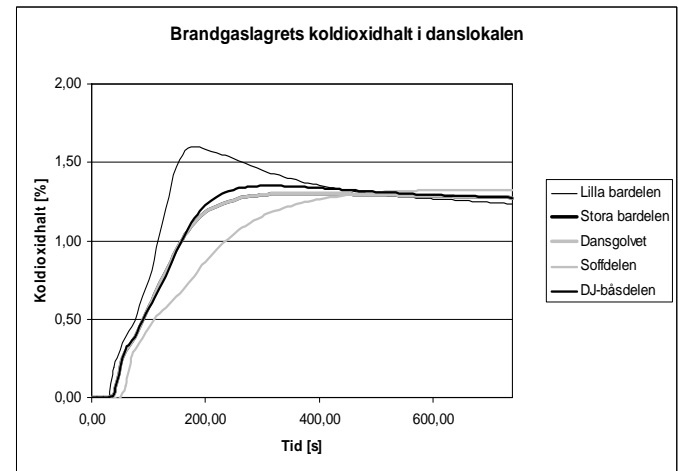
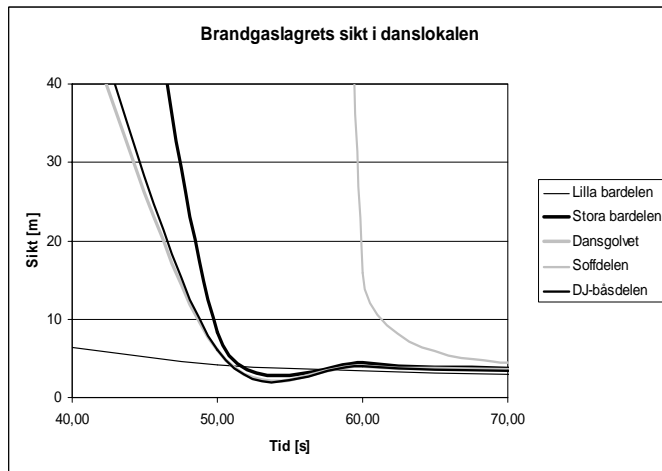
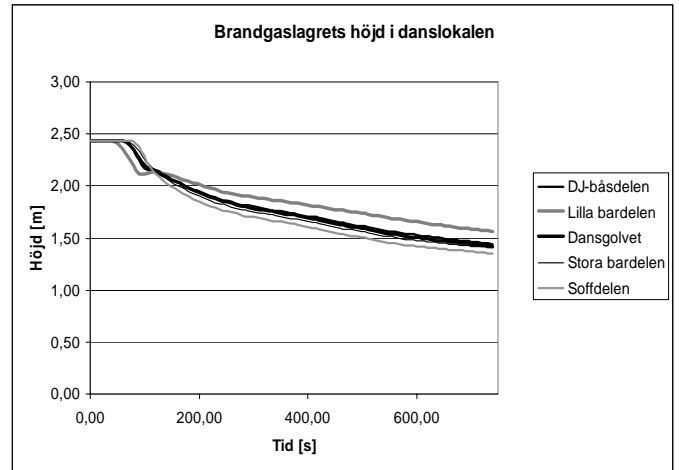
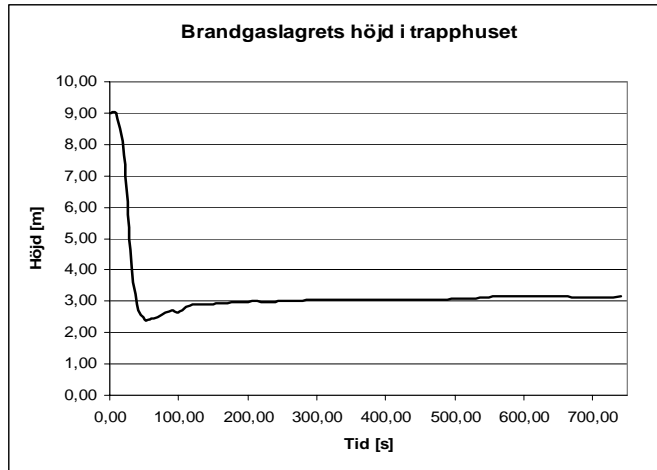
Ett klädrack brinner i garderoben. Dörren till dansgolvet stängs aldrig. Entrédörren är under hela brandförloppet öppen.



Brand i garderob 3

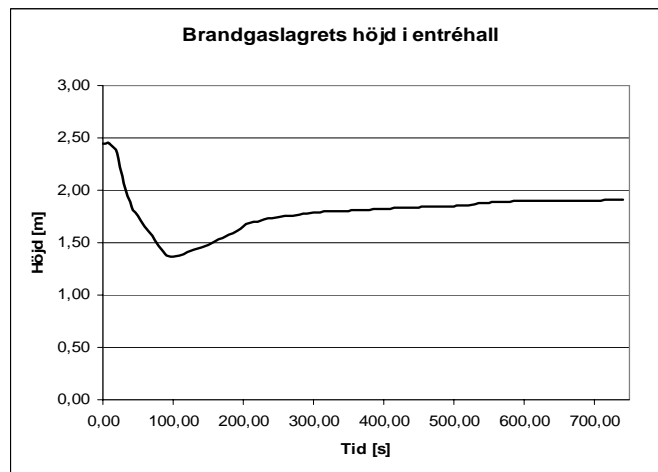
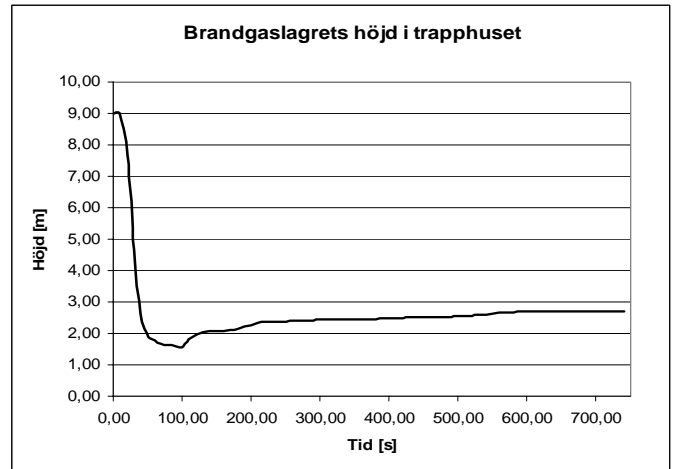
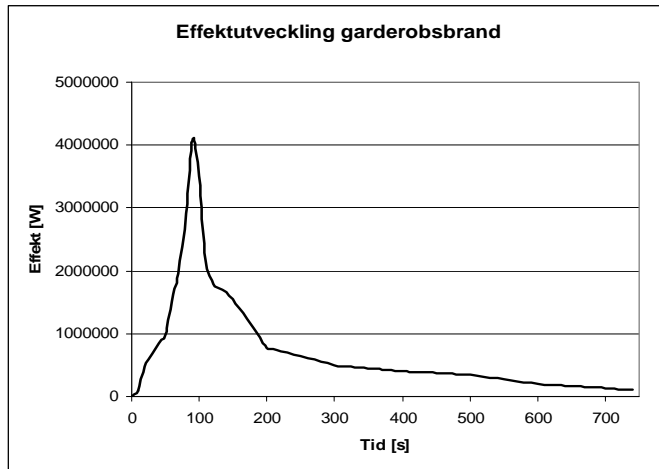
Ett klädrack brinner i garderoben. Dörren till dansgolvet stängs aldrig. Entrédörren är under hela brandförloppet stängd.





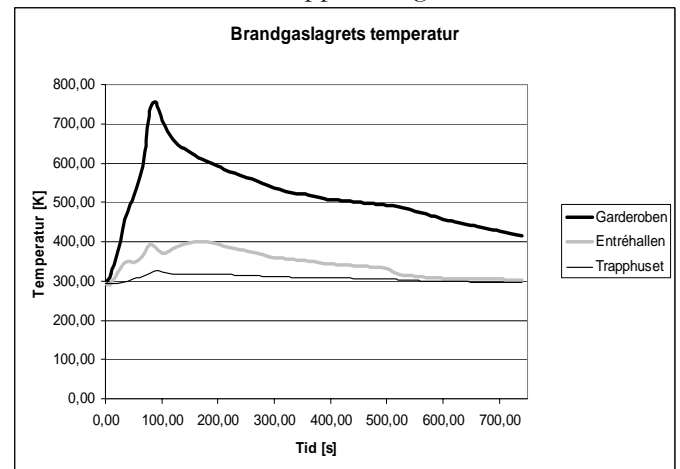
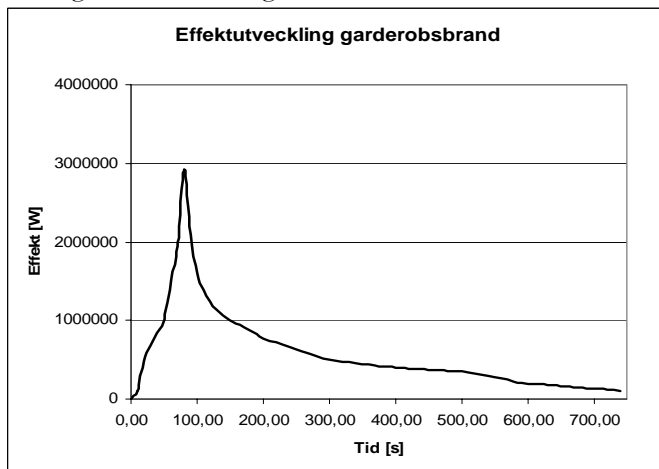
Brand i garderob 4

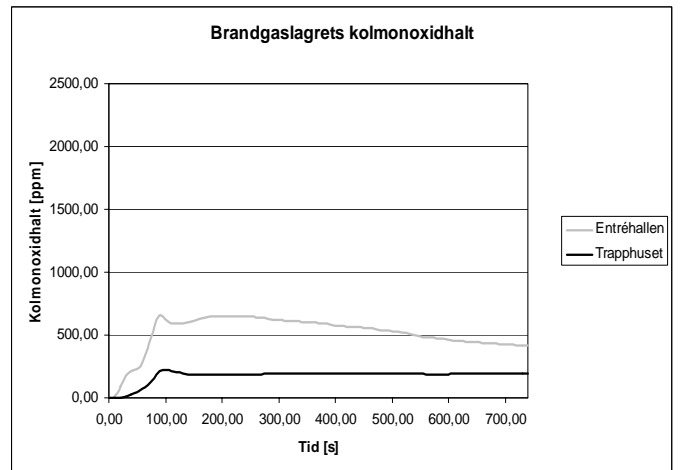
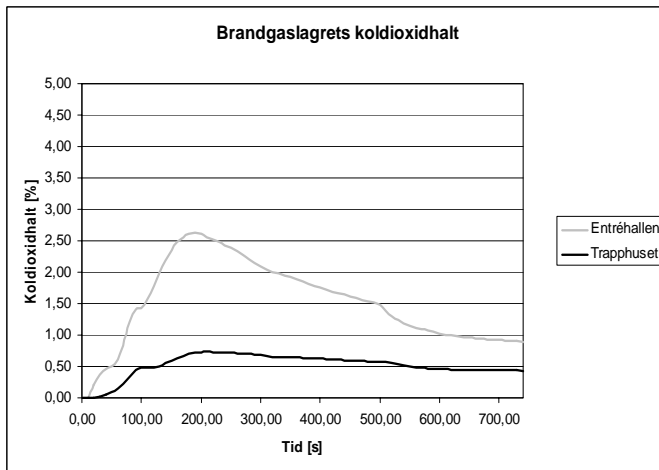
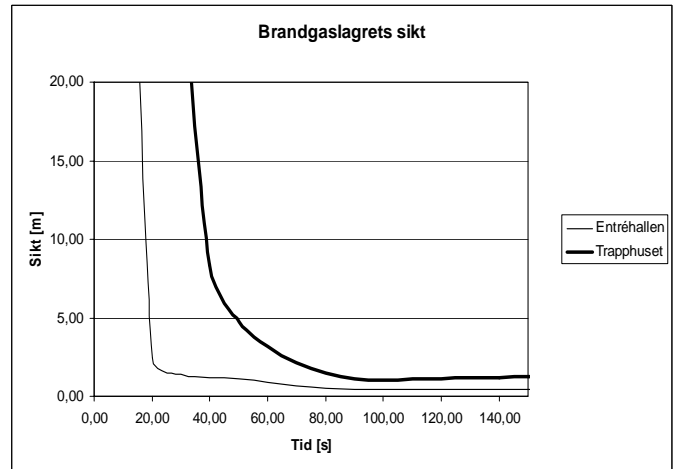
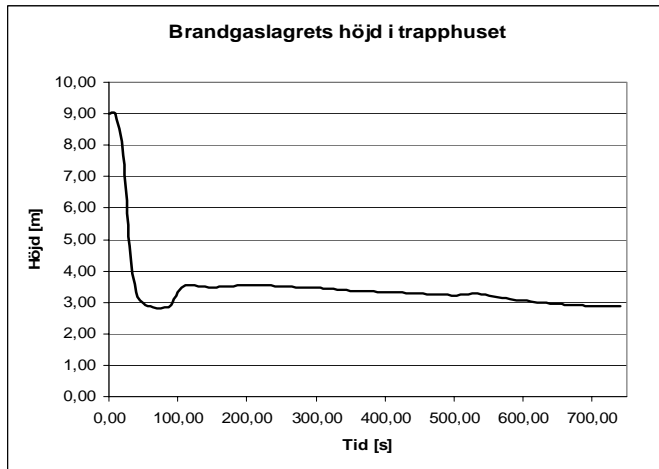
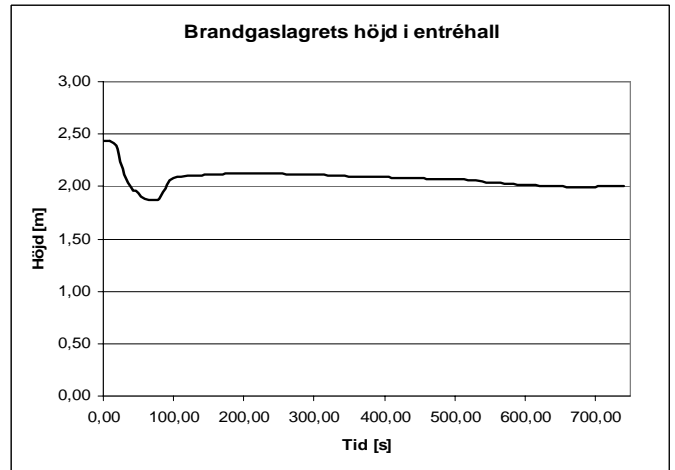
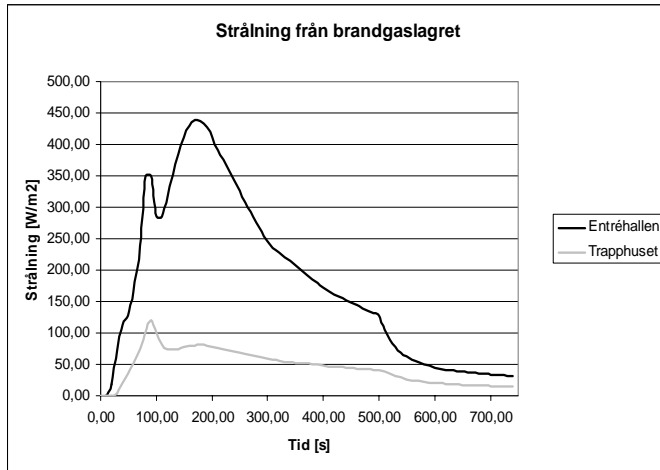
Ett klädrack brinner i garderoben. Dörren till dansgolvet stängs då larmet går efter 15 s. Entrédörren är under hela brandförloppet öppen.



Brand i garderob 5

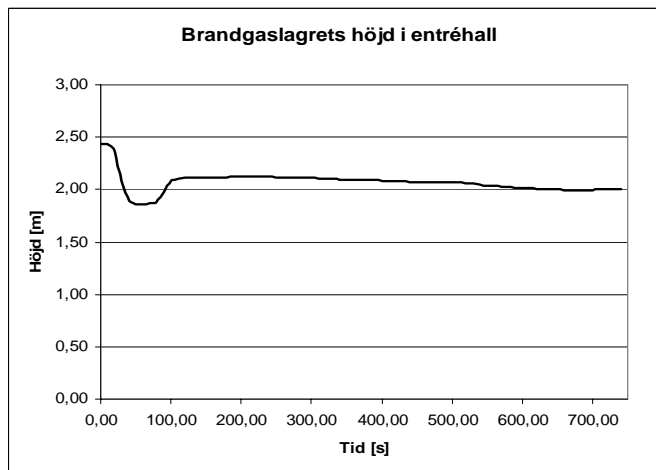
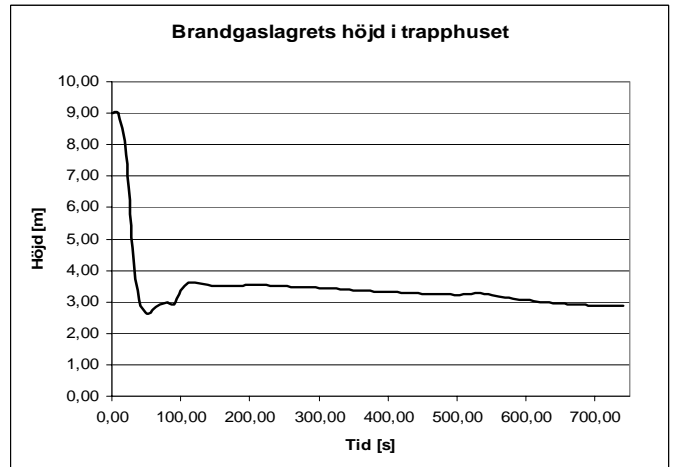
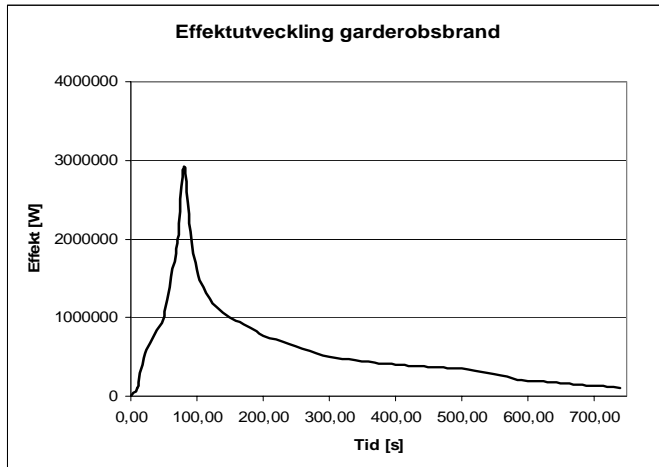
Ett klädrack brinner i garderoben. Dörren till dansgolvet stängs då larmet går efter 17 s. Jackinlämningen till garderoben stängs mellan 20 och 40 s. Entrédörren är under hela brandförloppet stängd.





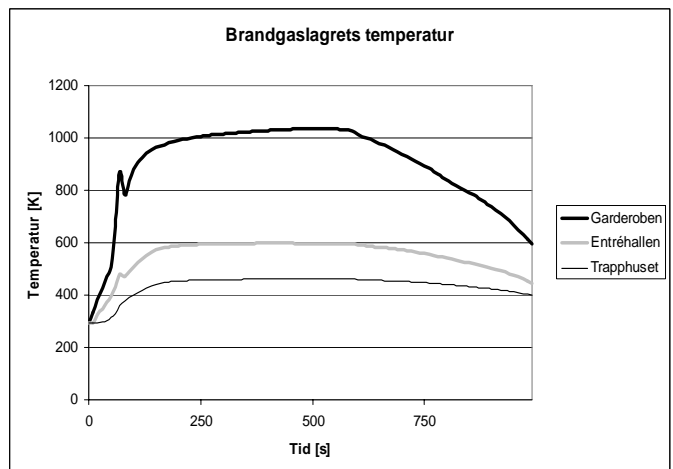
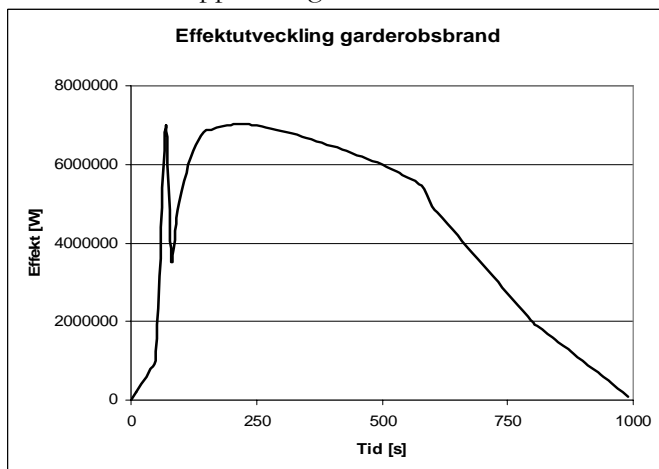
Brand i garderob 6

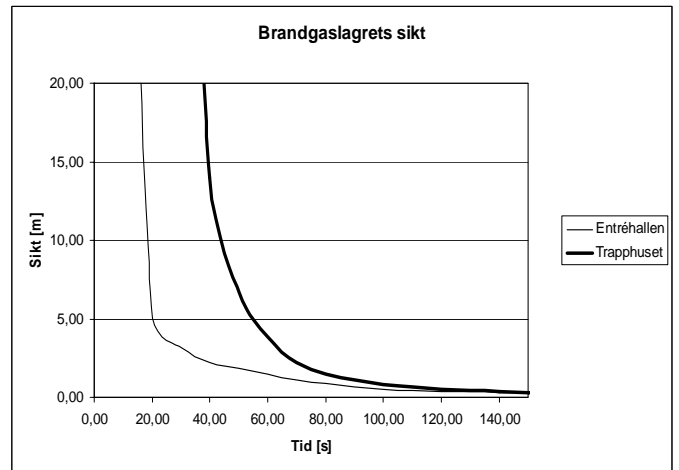
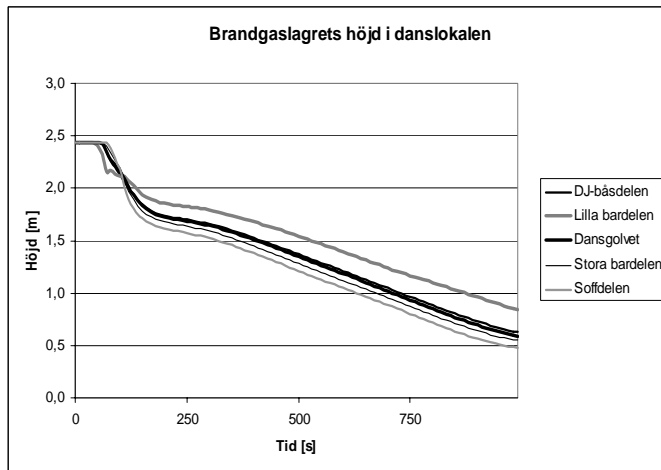
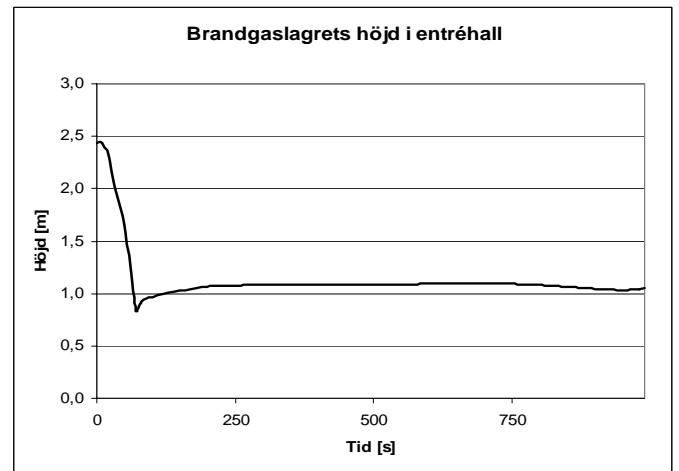
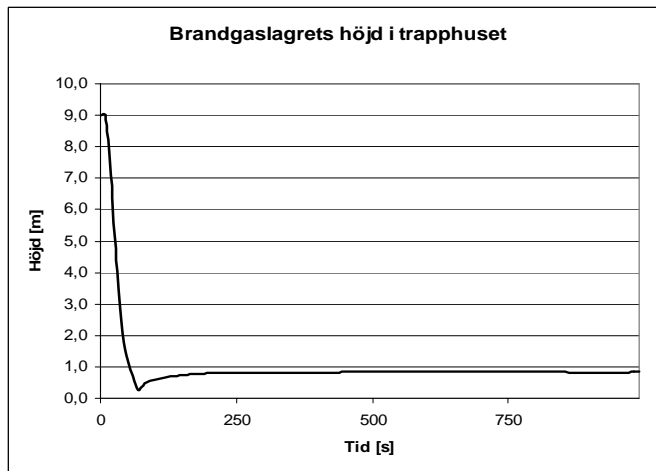
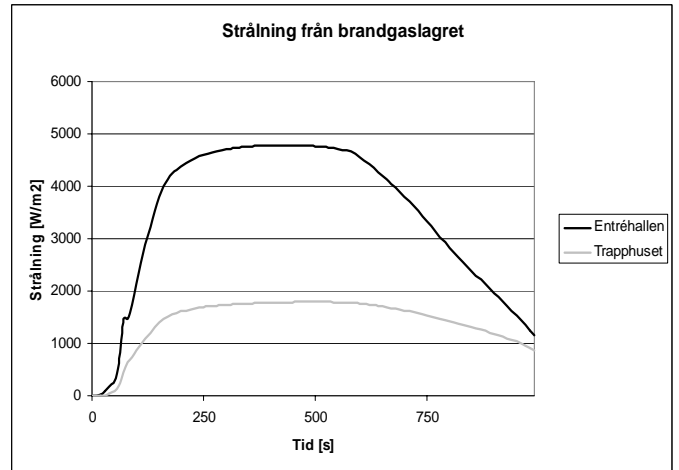
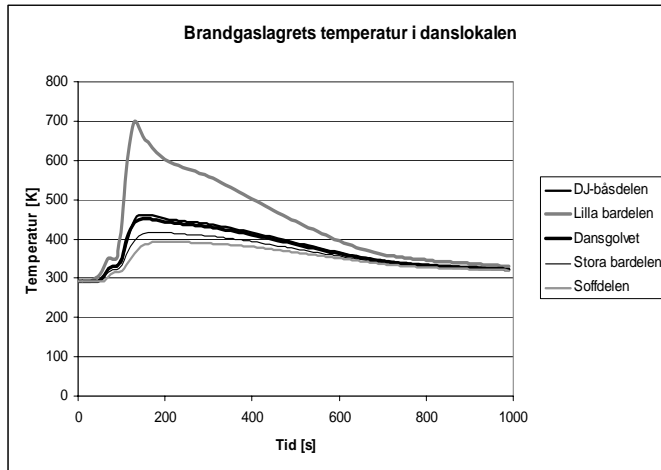
Ett klädrack brinner i garderoben. Dörren till dansgolvet stängs då larmet går efter 17 s. Jackinlämningen till garderoben stängs mellan 20 och 60 s. Entrédörren är under hela brandförloppet stängd.

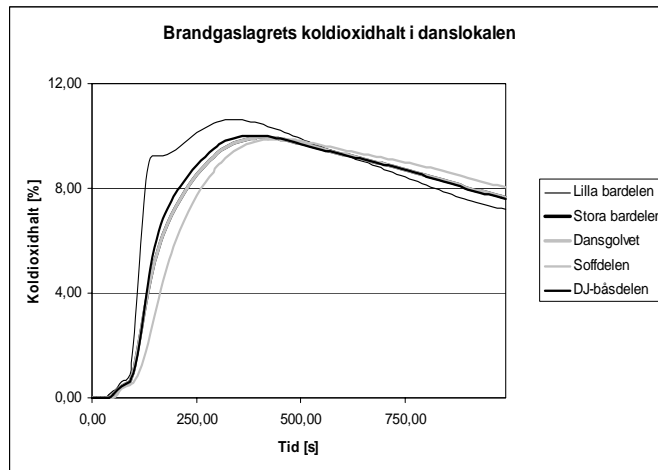
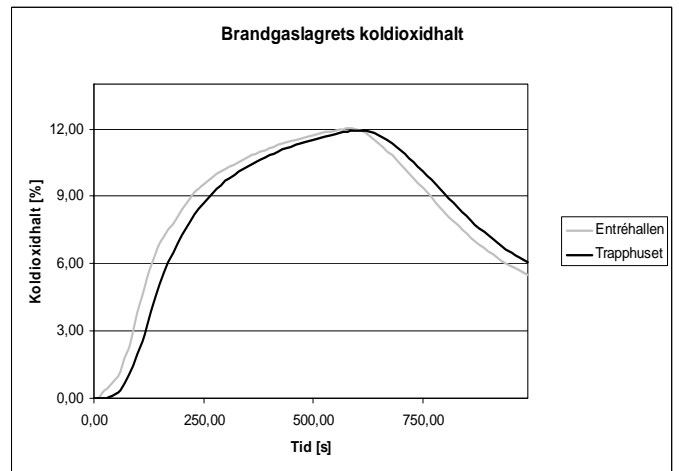
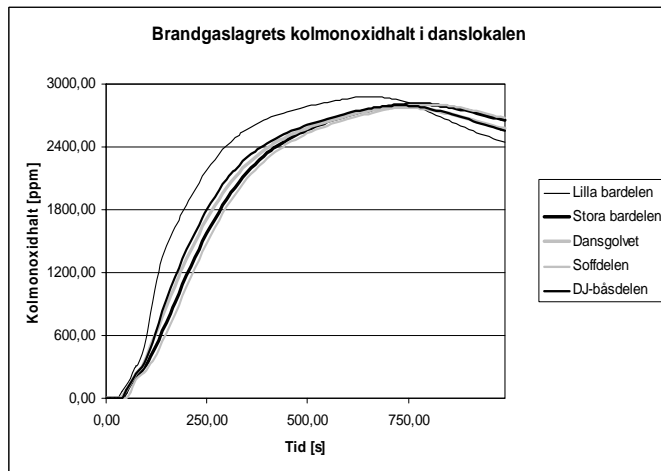
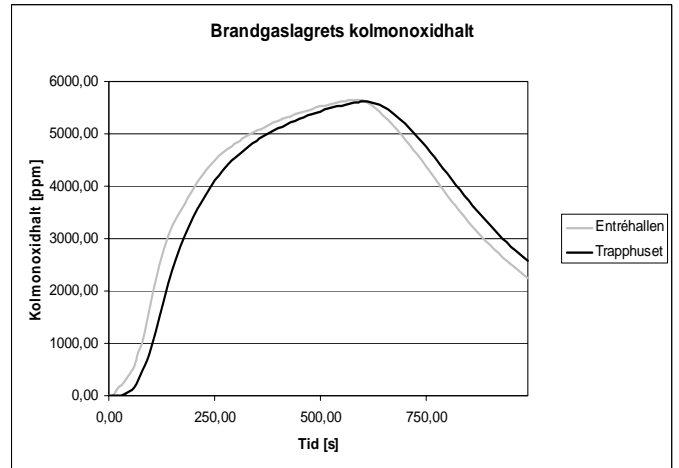
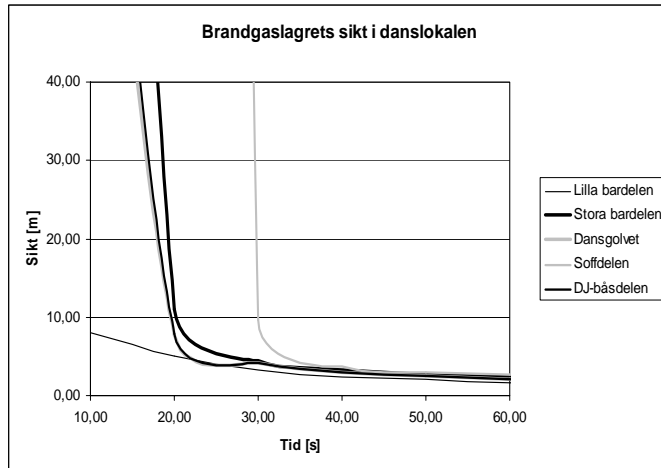


Brand i garderob 7

Nio klädrack brinner i garderoben. Dörren till dansgolvet stängs aldrig. Entrédörren är under hela brandförloppet stängd.

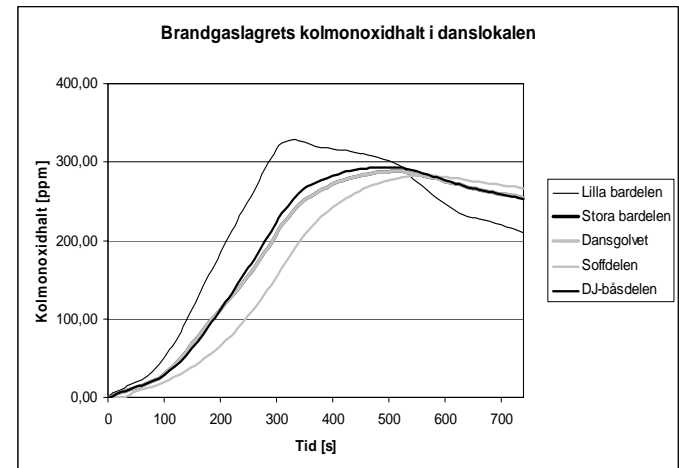
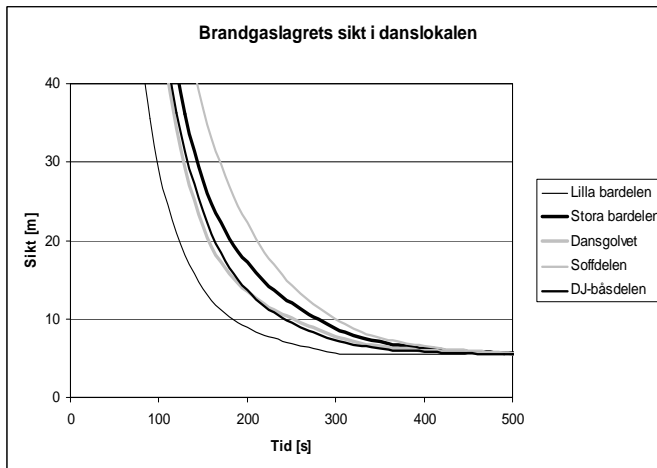
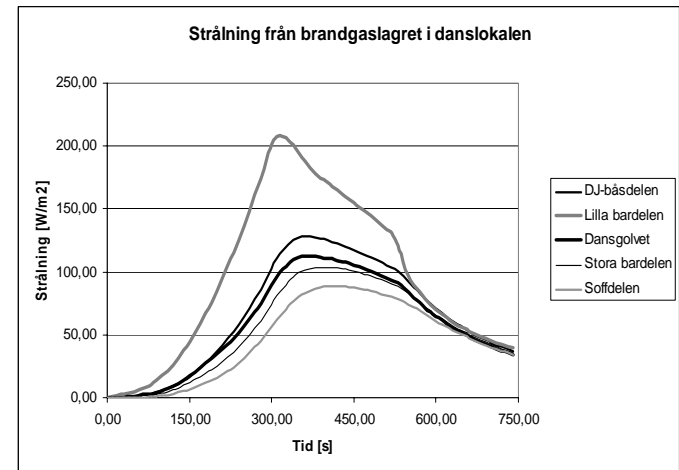
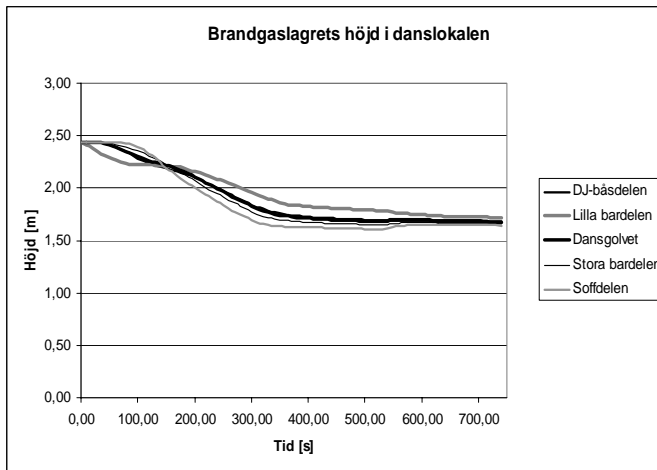
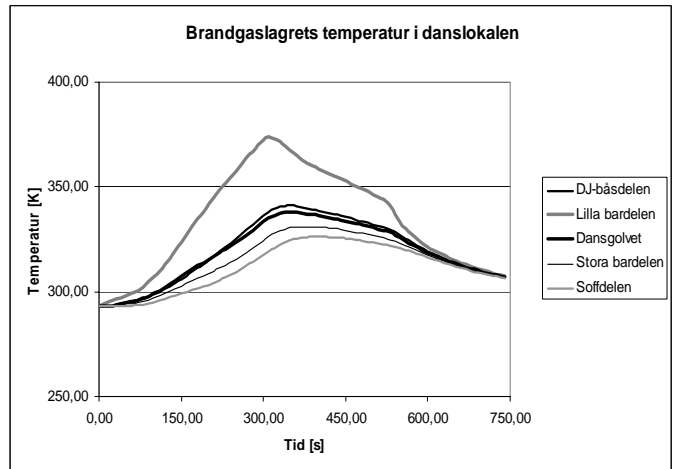
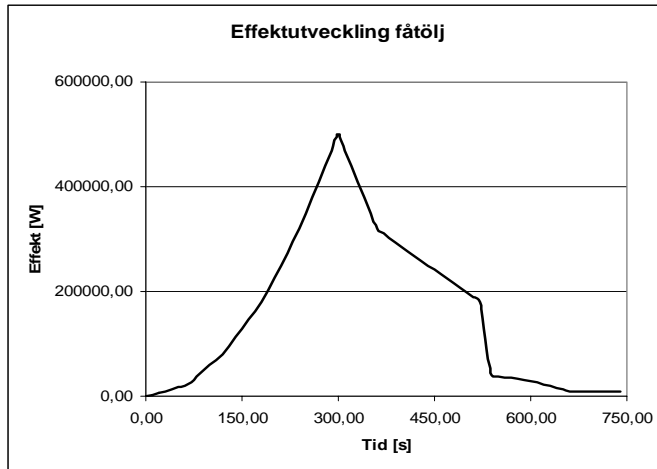


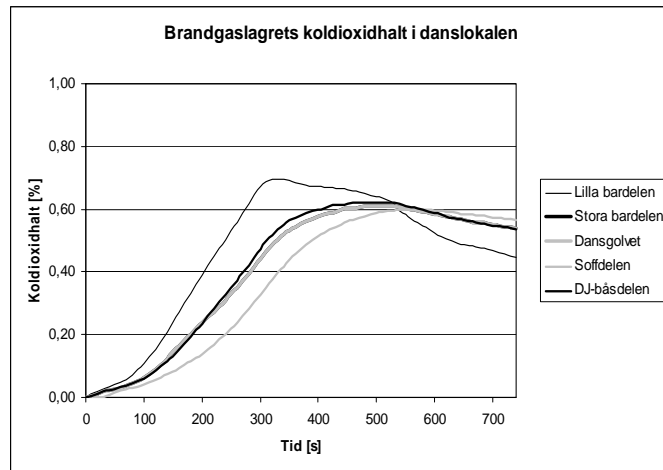




Brand i fåtölj 1

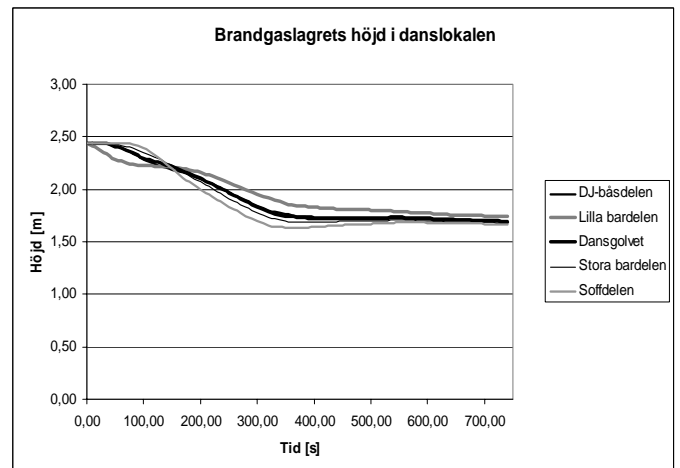
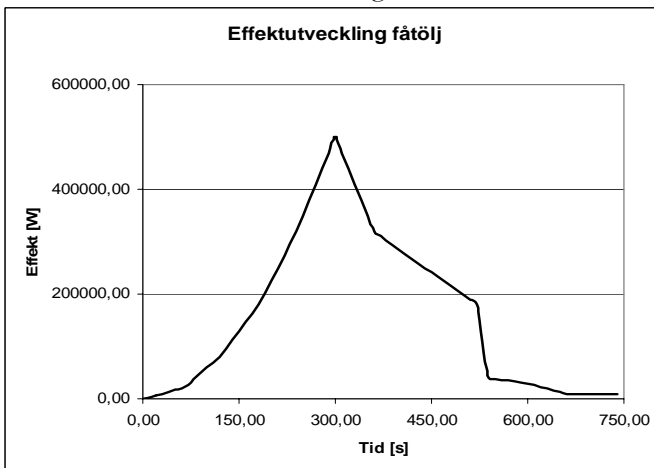
En fåtölj brinner i danslokalen. Dörren mot entréhallen stäng då larmet går efter 60 s. Dörrar mot övriga utrymmen öppna. Dörrar ut i det fria stängda.





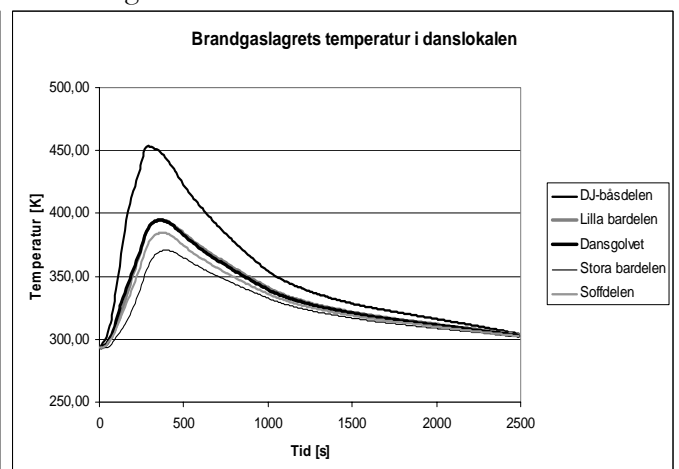
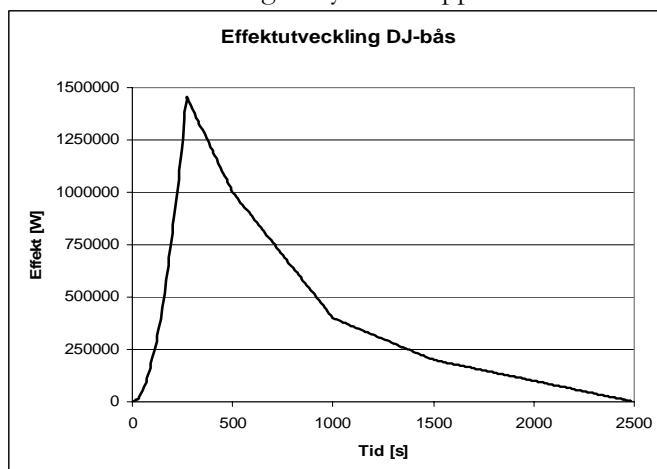
Brand i fåtölj 2

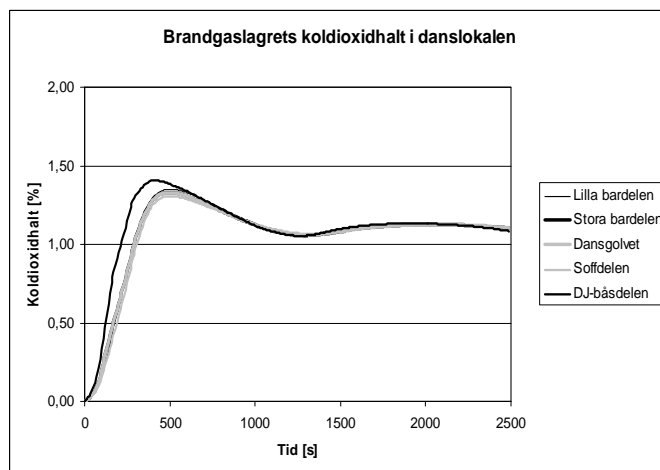
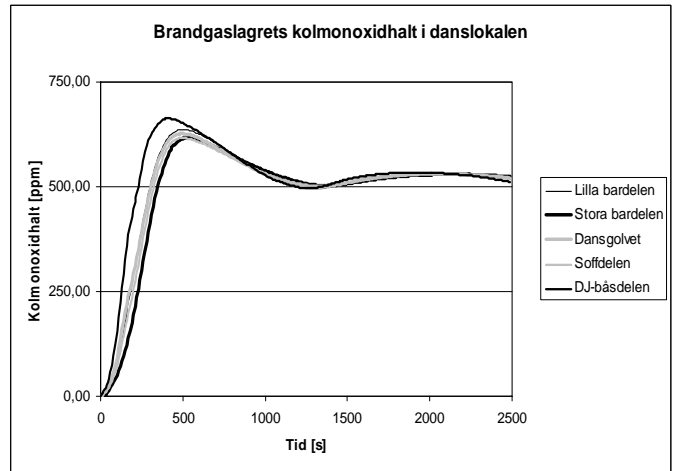
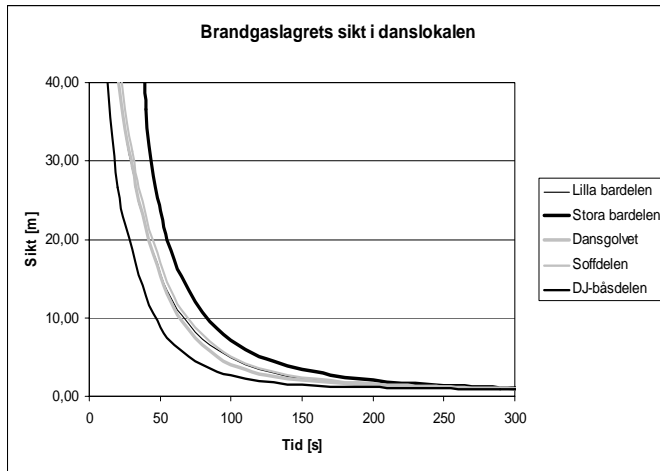
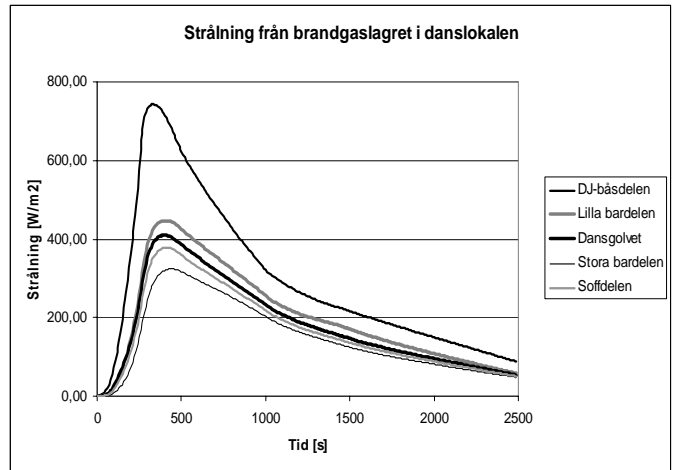
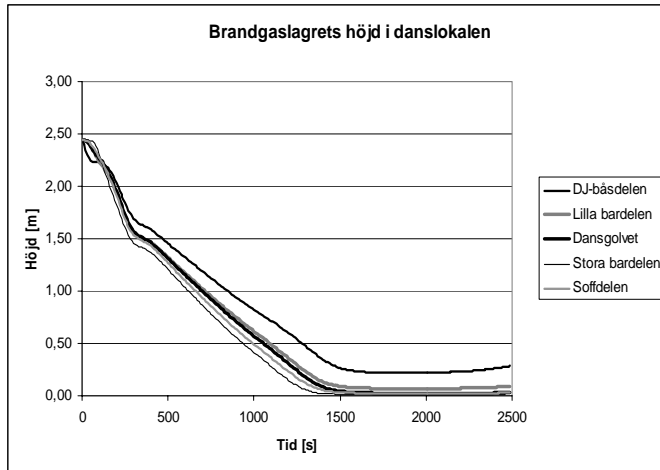
En fåtölj brinner i danslokalen. Dörren mot entréhallen öppen. Dörrar mot övriga utrymmen öppna. Dörrar ut i det fria stängda.



Brand i DJ-bås 1

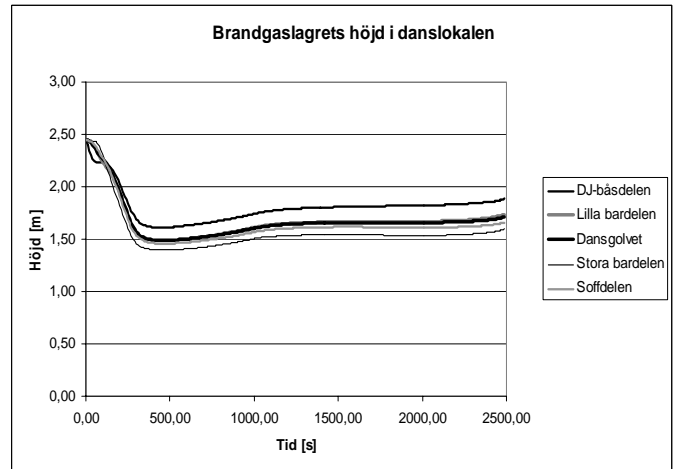
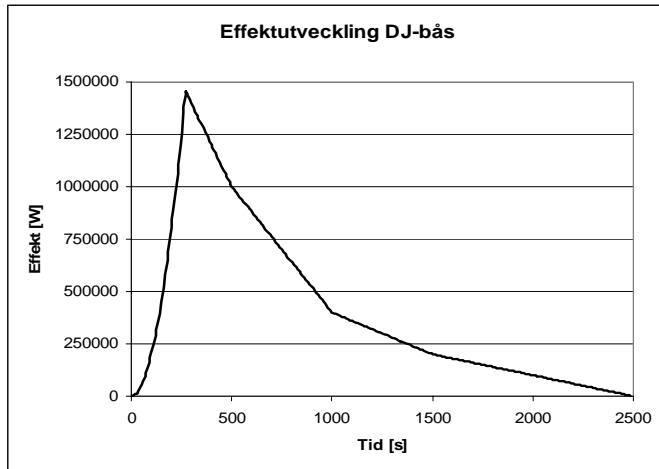
DJ-båset brinner i danslokalen (DJ-båsdelen). Dörren mot entréhallen stängd då larmet går efter 60 s. Dörrar mot övriga utrymmen öppna. Dörrar ut i det fria stängda.





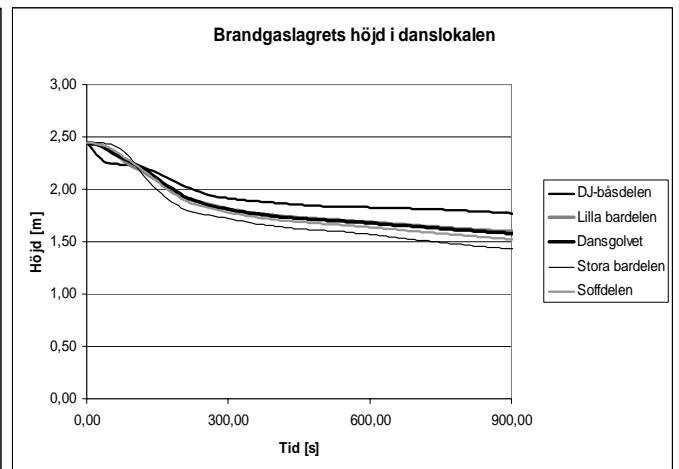
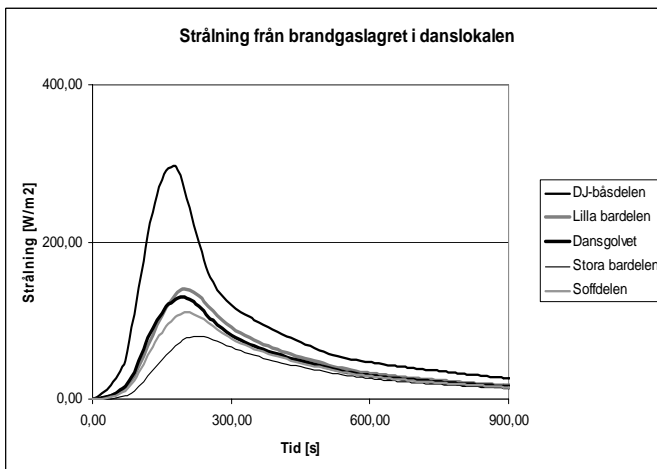
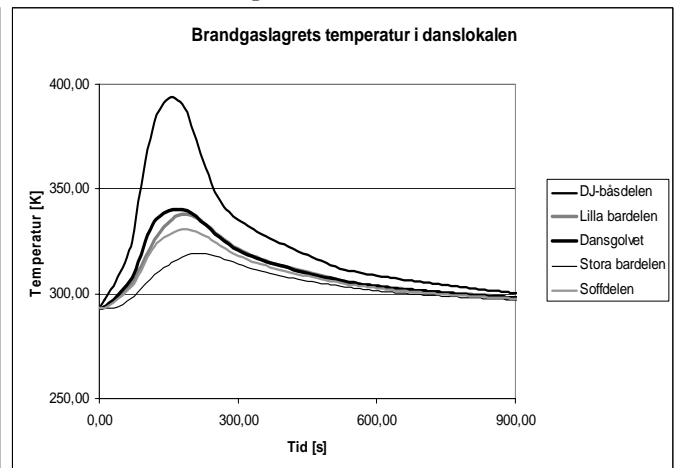
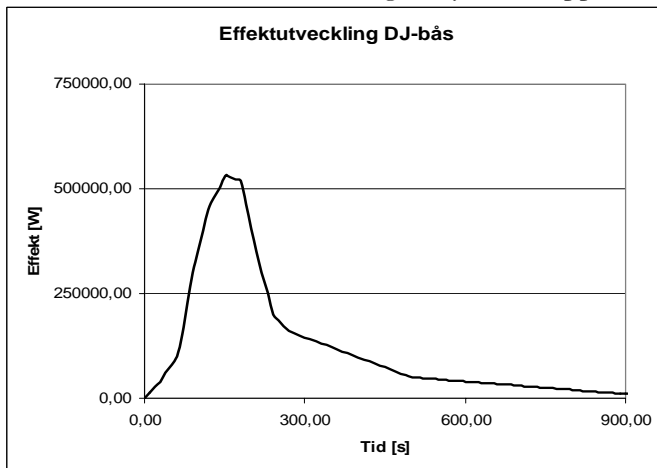
Brand i DJ-bås 2

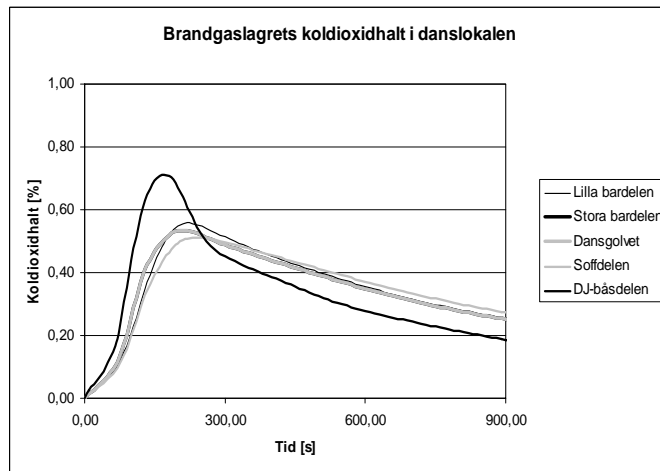
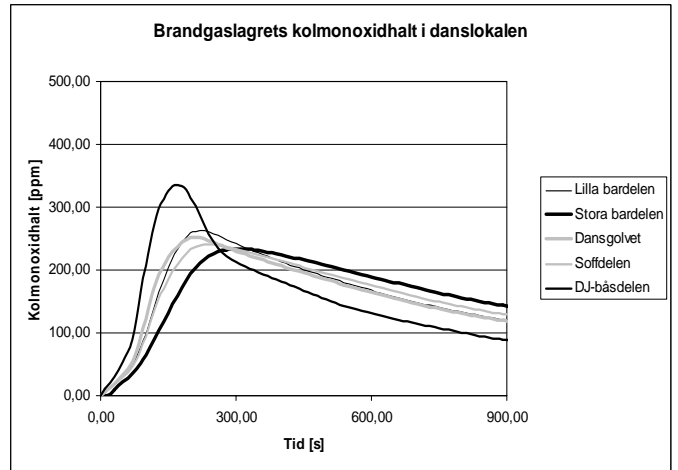
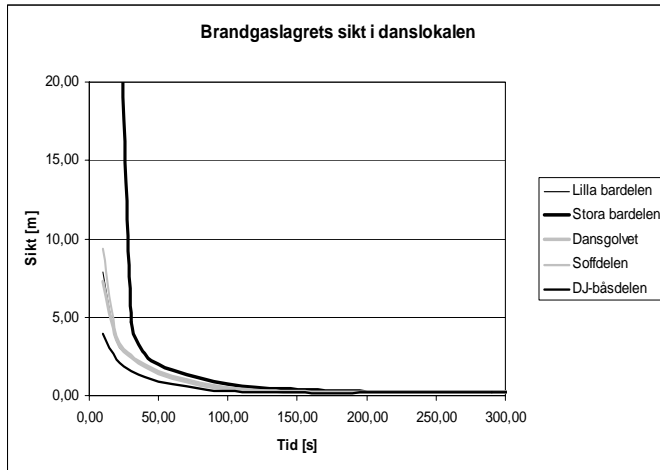
DJ-båset brinner i danslokalen (DJ-båsdelen). Dörren mot entréhallen stängs då larmet går efter 60 s. Dörrar mot övriga utrymmen öppna. Dörrar ut i det fria öppna



Brand i DJ-bås 3

Endast den elektroniska utrustningen i DJ-båset brinner. Dörren mot entréhallen stängs då larmet går efter 60 s. Dörrar mot övriga utrymmen öppna. Dörrar ut i det fria stängda.





Bilaga D. Detektionstider

Detact T2

Indata till programmet:

- Omgivningens temperatur 20°C
- Utlösningstemperatur 57°C
- Största avstånd mellan detektorer 3,5m
- Takhöjd 2,44 m
- RTI-värde 1
- Tillväxtfaktor, α

Resultatet vid beräkningar i programmet:

Scenario	α [kw/s ²]	Detektionstid [min]
Brand i garderob	0,5	0:17
Brand i fåtölj	0,0055	0:50
Brand i DJ-bås	0,017	0:38

Tabell D.1 Detektionstider vid olika scenarier

C-FAST

Värmedetektorerna i Cleo detekterar vid en temperaturstegring på 6°C/min eller vid en max-temperatur på 57°C. I utdata från C-FAST (bilaga C) fås temperaturen i brandgaslagret under hela brandförloppet. Om branden, en minut från att den startas, inte nått upp i maxtemperaturen 57°C kommer värmedetektorn att aktiveras om brandgaslagret under denna minut stigit mer än 6°C. Detta var fallet vid brand i fåtölj och brand i DJ-bås. I garderoben finns rökdetektorer vars detektionstid inte kan beräknas utifrån C-FAST.

Jämförelse detektionstider

Vid beräkning av detektionstiden för de värmedetektorer som finns i lokalen har två program använts, C-FAST och Detact T2. Vilket av programmen som ger bäst resultat är svårt att avgöra men för att vara konsekventa har en av metoderna valts. Valet föll på C-FAST då det gav de mest konservativa värdena för detektion. Emellertid skiljer sig inte resultaten vidare mycket åt. En analys utifrån Detact T2 som program för bestämning av detektionstiden skiljer sig endast marginellt från den som ovan genomförts med beräkningarna från C-FAST som grund. Enklaste sättet är att genomföra samma undersökning innebär endast en addition av differensen gällande detektionstiden mellan de bägge programmen i de jämförelser som utförts mellan tid till kritiska förhållanden och tid för utrymning.

Scenario	Detektionstid, C-FAST [min]	Detektionstid, Detact T2 [min]
Brand i garderob	-*	0:17
Brand i fåtölj	1:00	0:50
Brand i DJ-bås	1:00	0:38

Tabell D.2 Jämförelse mellan resultat från C-fast och Detact T2 gällande detektionstid

*I garderoben finns endast rökdetektorer. Med data utifrån C-FAST går det ej att beräkna detektionstiden för rökdetektorer.

Bilaga E. Effektkurva TV

Television sets

Two cabinets with the spacing 0.025 m.
The TV cabinets were moldings of an external cabinet only. The opening was closed with a steel cover. No internal working parts were used.
Size: 0.36 x 0.33 x 0.25 m³
Thickness: 3.0 mm

22:
High impact polystyrene base formulation.
Mass: 3.7 kg
Sample H.

23: FR
High impact polystyrene base formulation with decabromodiphenyl oxide (12% by mass) and antimony oxide (4% by mass).
Mass: 3.7 kg
Sample G.

Test procedure:

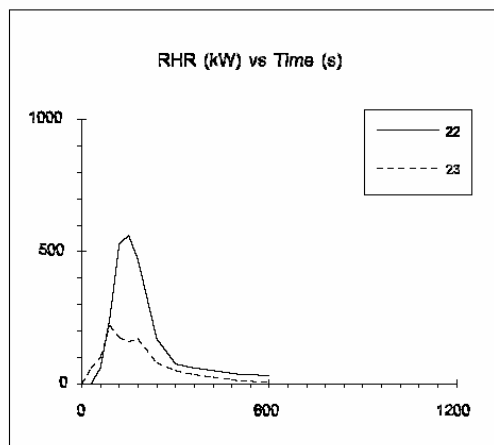
Method: Freeburning in furniture calorimeter
Ignition source: 50 kW gas burner in 200 s, positioned between the cabinets.

Sample:	22	23
H _{eff} (MJ/kg):	23	20
Smoke (obm ³ /kg):	13200	28000
CO (kg/kg):	0.12	0.37
CO ₂ (kg/kg):	1.39	0.74
HBr (kg/kg):	NA	0.08

Reference:

Babrauskas, V et al.
Fire Hazard Comparison of Fire-Retarded and Non-Fire-Retarded Products
National Bureau of Standards
NBS Special Publication 749
U.S.A. 1988

Y1/22-23

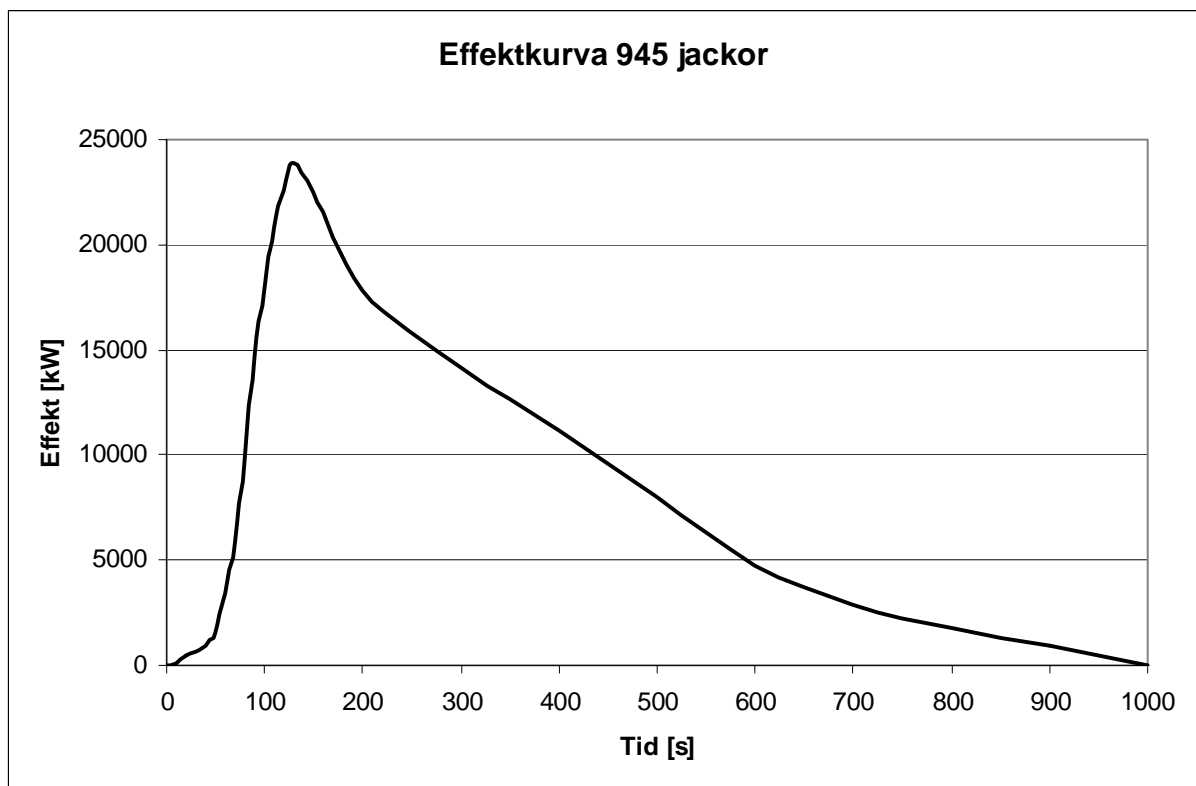


Bilaga F. Effektutveckling vid brand i 945 jackor

Effektutvecklingsdata för rack 1 visar brand i 105 jackor enligt fullskaliga experiment²⁹. Övriga rack väntas antända med ett någorlunda jämnt intervall och samtliga racks effektutveckling summeras till en totaleffekt (tabell F.1). Denna metod är inte vetenskapligt verifierad men ger ändå en fingervisning om vilken effekt en sådan stor brand skulle kunna ge.

Tid (s)	Rack 1 [kW]	Rack 2 [kW]	Rack 3 [kW]	Rack 4 [kW]	Rack 5 [kW]	Rack 6 [kW]	Rack 7 [kW]	Rack 8 [kW]	Rack 9 [kW]	Summa
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	100	0	0	0	0	0	0	0	0	100
20	480	0	0	0	0	0	0	0	0	480
30	683	0	0	0	0	0	0	0	0	683
40	840	100	0	0	0	0	0	0	0	940
50	975	500	100	0	0	0	0	0	0	1575
60	1520	1300	500	100	0	0	0	0	0	3420
70	1950	2000	1300	500	100	0	0	0	0	5850
80	2925	3000	2000	1300	500	100	0	0	0	9825
90	4095	3500	3000	2000	1300	500	100	100	100	14695
100	3510	3000	3500	3000	2000	1300	500	500	500	17810
110	2925	2500	3000	3500	3000	2000	1300	1300	1300	20825
120	2340	2200	2500	3000	3500	3000	2000	2000	2000	22540
130	1950	1700	2200	2500	3000	3500	3000	3000	3000	23850
150	1560	1000	1700	2200	2500	3000	3500	3500	3500	22460
200	780	700	1000	1700	2200	2500	3000	3000	3000	17880
300	487	500	700	1000	1700	2200	2500	2500	2500	14087
400	390	300	500	700	1000	1700	2200	2200	2200	11190
500	390	0	300	500	700	1000	1700	1700	1700	7990
600	195	0	0	300	500	700	1000	1000	1000	4695
700	0	0	0	0	300	500	700	700	700	2900
800	0	0	0	0	0	300	500	500	500	1800
900	0	0	0	0	0	0	300	300	300	900
1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell F.1 Beräkning av brand i flera rack



Figur F.1 Effektutvecklingskurva vid brand i 945 jackor om syretillförseln vore obegränsad.

²⁹ Johansson (2004)

