



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

Brandteknisk riskvärdering av Plus-huset, Avesta



December 2004

Viktor Almén
Mikael Gard
Per Irwert
Henrik Nyberg

Brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
Box 118
221 00 LUND

Department of Fire Safety Engineering
Lund Institute of Technology
Lund University
Box 118
S-221 00 LUND
SWEDEN

Rapport nr: 9243

Brandteknisk riskvärdering av Star Hotel i Plus-huset, Avesta

Fire safety evaluation of Star Hotel in Plus-huset, Avesta

Av/By

Viktor Almén
Mikael Gard
Per Irwert
Henrik Nyberg

Abstract

This report contains an evaluation of personal safety in case of fire at Plus-huset, Avesta, Sweden. The building has two storeys above ground, a shopping mall at ground level and a hotel on the first floor. The evaluation concentrates mainly on the hotel with its night club for up to 500 guests and has been made using the computer models CFAST and Simulex together with hand calculations for smoke filling, rate of heat release and egress time. Property and structural damage have not been taken into account. The report includes suggestions for improvement of the building's fire safety design. The conclusion is that there are many flaws in the design that need to be corrected before the building can be said to be safe. For example the walls and ceilings in the night club are covered with wood and the hotel rooms are not safe for smoke movements from room to room.

Keywords:

Fire safety evaluation, CFAST, Simulex, Plus-huset, Star Hotel, personal safety, evacuation, critical condition, smoke filling

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 själva ansvaret.

Sammanfattning

Denna rapport utvärderar personsäkerheten vid utrymning av Plus-huset i centrala Avesta. Plus-huset innefattar ett köpcentrum i markplan och ett hotell på andra våningen. Rapporten koncentrerar sig dock mot hotellet då de största riskerna för personer bedöms kunna uppkomma i den delen av byggnaden.

Författarna är studenter vid Lunds Tekniska Högskola och rapporten är en del i kursen Brandteknisk Riskvärdering, 10 p.

Rapporten har genomförts på uppdrag av avdelningen för Brandteknik i Lund och Södra Dalarnas Räddningstjänstförbund. Uppgiften har varit att bedöma nuvarande säkerhetsnivå på objektet och ge förslag på eventuella förbättringar.

Ett önskemål från hotellets ledning var att tillåta antalet gäster i samlingslokalen att överstiga den nuvarande gränsen 500. Detta var en av anledningarna till att rapporten begränsades till att undersöka utrymningsmöjligheterna för hotellet.

En överslagsberäkning gjordes dock för utrymning av köpcentrat baserad på dörrbredd och antalet personer med ett tillfredställande resultat.

Rapporten beaktar det tidiga brandförloppet fram till att kritiska förhållanden uppnås då detta är av intresse när utrymningsmöjligheter undersöks. Således har ingen vikt lagts vid skadeverkan på byggnaden som branden kommer att ge upphov till.

Resultaten bygger på diskussioner, platsbesök, litteraturstudier och beräkningar både för hand och med simuleringsprogrammen SIMULEX och CFAST.

För att bedöma personsäkerheten vid brand i hela byggnaden har fyra scenarion studerats. Att just dessa har valts beror på att de bedöms vara de värsta sannolika scenarierna. Detta innebär att de dels får stora konsekvenser om de inträffar, och dels att sannolikheten för att de ska inträffa ändå är relativt stor. De fyra studerade scenarierna är:

- Brand i ett hotellrum
- Brand i hotellets garderob
- En brand under scenen i samlingslokalen
- Brand i förrådsutrymme i anslutning till samlingslokalen

Samtliga dessa scenarier kan leda till kritiska förhållanden innan utrymningen är avslutad, till mycket stor del beroende på ett flertal brister i brandskyddet. Detta gör att personsäkerheten vid brand inte kan anses vara tillfredsställande. För att förbättra säkerheten ställs förslag på åtgärder:

- Varje hotellrum *skall* vara brandtekniskt avskilt från andra utrymmen.
- Rökdetektorer *skall* installeras i varje hotellrum.
- Garderoben *skall* brandtekniskt avskiljas från trapphuset.
- Dörren till stolsförrådet *skall* förses med ett lås och hållas stängd och låst då det är verksamhet i samlingslokalen.
- Dåliga genomföringar i brandcellsgränser *skall* åtgärdas.

- Samtliga brandcellsgränser *skall* ses över för att säkerställa deras funktion.
- Minst en av följande åtgärder *skall* genomföras:
 1. Installation av brandgasfläktar i till- och frånluftsystem.
 2. Installation av brandgasspjäll i till- och frånluftkanaler vid samtliga hotellrum.
 3. Installation av brandgasspjäll i tilluftkanalerna vid varje hotellrum samt installation av brandgasfläkt i frånluftsystemets avluftningskanal.
 4. Konvertering av tilluftsystemet till frånluft vid brand.
 5. Ökning av ventilationsflödena vid brand.
- Hotellet *skall* kunna uppvisa intyg att alla ytskikt i samlingslokalen är av minst klass 1.
- Dörrar i utrymningsvägar *skall* ses över och åtgärdas så att möjlighet till återinträde ges där detta saknas.
- Möbler och andra lösa föremål *skall* flyttas så de inte står i utrymningsvägar.
- Aktuella nycklar till byggnaden och delar av byggnaden *skall* göras tillgängliga för räddningstjänsten.
- Utrymningslarmets ljudnivå inne i hotellrummen *bör* kontrolleras och åtgärdas om det visar sig att den understiger 75 dB vid sängens huvudände (SBF, 2001).
- Befintliga rökdetektorer i korridorerna *bör* kompletteras med rökdetektorer ovan innertak.
- Scenen *bör* bytas ut eller byggas om så att risken för en brand under scenen reduceras.

Då dessa förändringar genomförts anser författarna av denna rapport att säkerheten i Plus-huset och i synnerhet Star Hotel är tillfredsställande för det personantal man har tillstånd för i dag. Vill man utöka det antalet krävs ytterligare åtgärder.

Förord

Författarna vill rikta sitt tack till följande personer för deras bidrag till arbetet:

Ulf Göransson, Brandteknik LTH, för sitt stöd som handledare.

Gustaf Sandell, Södra Dalarnas Räddningstjänstförbund, för sitt stöd som handledare och ett varmt mottagande i Avesta.

Sven-Ingvar Granemark, Brandteknik LTH, för hjälp vid brandförsök.

Lars Jensen, Installationsteknik LTH, för stöd i frågor kring ventilation.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Metod.....	1
1.4 Avgränsningar.....	1
2 Objektsbeskrivning	2
2.1 Allmänt om byggnaden	2
2.2 Byggnadsteknisk beskrivning.....	3
2.3 Brandcellsindelning och brandtekniska installationer.....	3
2.3.1 Brandcellsindelning	3
2.3.2 Brand- och utrymningslarm	4
2.3.3 Ventilation	4
2.4 Utrymningsvägar	4
2.4.1 Dimensionering enligt schablonmetod	4
2.4.2 Placering.....	4
2.4.3 Dimensionering av utrymningsvägar.....	4
2.5 Incidenter som utlöst brandlarmet	5
2.5.1 Inträffad brand i Flying Star.....	5
2.6 Allmänna observationer	6
3 Utrymning	7
3.1 Tid till kritiska förhållanden.....	7
3.2 Utrymningstid	7
3.3 Varseblivningstid.....	8
3.4 Besluts- och reaktionstid.....	8
3.5 Förflyttningstid.....	8
4 Beräkningshjälpmedel	9
4.1 FAST/CFAST v 3.1.7	9
4.1.1 Kriterier för användning av tvåzonsmodeller	9
4.1.2 Begränsningar i FAST/CFAST.....	9
4.2 Simulex.....	9
4.2.1 Felkällor	10
5 Val av brandscenarier	11
5.1 Hotellrum	11
5.2 Garderob	11
5.3 Scen	12
5.4 Stolsförrådet.....	12
5.5 Övriga scenarier.....	12
6 Butiksplan	14
7 Brandscenariot 1 - Hotellrum	15
7.1 Bakgrund angående hotellrumsscenarioet	15
7.2 Simulering – CFAST.....	16
7.2.1 Förutsättningar.....	16
7.2.2 Resultat.....	16
7.2.3 Känslighetsanalys.....	17
7.3 Simulering av utrymning	18

7.3.1 Förutsättningar.....	18
7.3.2 Varseblivningstid	18
7.3.3 Utrymning.....	18
7.3.4 Känslighetsanalys.....	18
7.4 Handberäkningar.....	18
7.4.1 Resultat av handberäkningar.....	19
7.5 Brandgasspridning via ventilationssystemet.....	19
7.5.1 Allmänt.....	19
7.5.2 Avgränsning och beräkningar.....	19
7.5.3 Resultat.....	19
7.5.4 Slutsats om ventilationssystemet.....	19
7.6 Slutsats	20
7.7 Förslag på åtgärder.....	20
8 Brandscenario 2 - Garderoben	21
8.1 Bakgrund angående garderobsscenarioet	21
8.2 Simulering - CFAST	22
8.2.1 Förutsättningar.....	22
8.2.2 Resultat.....	22
8.2.3 Känslighetsanalys.....	23
8.3 Simulering av utrymning	24
8.3.1 Förutsättningar.....	24
8.3.2 Varseblivningstid	25
8.3.3 Utrymning av samlingslokal vid brand i garderob.....	25
8.3.4 Känslighetsanalys.....	25
8.4 1-zonsberäkning för garderoben.....	26
8.4.1 Beskrivning.....	26
8.4.2 Motivering	26
8.4.3 Resultat.....	26
8.5 Slutsats	26
8.6 Diskussion kring åtgärdsförslag	26
9 Brandscenario 3 - Scen.....	27
9.1 Bakgrund angående scenscenariot.....	27
9.2 Simulering – CFAST.....	28
9.2.1 Förutsättningar.....	28
9.2.2 Resultat från CFAST.....	28
9.2.3 Känslighetsanalys.....	29
9.3 Simulering av utrymning	29
9.3.1 Förutsättningar.....	29
9.3.2 Varseblivningstid	29
9.3.3 Besluts- och reaktionstid	29
9.3.4 Utrymning.....	29
9.3.5 Känslighetsanalys.....	30
9.4 Diskussion och slutsatser.....	30
9.5 Förslag på åtgärder.....	30
10 Brandscenario 4 - Stolsförråd	31
10.1 Bakgrund	31
10.2 Risken	31
10.3 Detektion.....	32

10.4 Dimensionerande brand.....	32
10.5 Resultat av simuleringar:	32
10.6 Utrymning av samlingslokalen	33
10.7 Slutsats angående stolsförrådet	33
10.8 Förslag på åtgärder.....	33
11 Förslag på förbättringar	34
11.1 Åtgärder som skall genomföras	34
11.2 Åtgärder som bör genomföras	34
12 Slutsats	35
Litteraturförteckning	36
Bilaga I: Brandscenario 1 – Hotellrum	37
I-I Handberäkning av möjlig maximal effektutveckling	37
I-I.I Beräkningsmetod 1	37
I-I.II Beräkningsmetod 2	37
I-II Resultat från simulering i CFAST	38
Bilaga II: Brandscenario 2 - Garderob	40
II-I Utdrag ur Johansson (2004).....	40
Sammanfattning på svenska	40
II-II Resultat från CFAST	41
II-III Handberäkningar för 1-zonsmodell	43
Bilaga III: Brandscenario 3 - Scen	44
III-I Försök med scenmodell.....	44
III-II Diskussion.....	46
III-III Övriga simulerade resultat för scenbranden.....	46
Bilaga IV: Brand i stolsförråd	48
Bilaga V: Ventilationsberäkning.....	52
V-I Beräkningar	52
V-I.I Fönstret stängt.....	52
V-I.II Fönstret öppet.....	53
V-II Slutsats.....	53
Innehållsförteckning	54

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Denna rapport utgör huvuddelen i kursen Brandteknisk Riskvärdering 10p, som ges under 3:e året på Brandingenjörsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola. Kursen är obligatorisk och projektarbetet utförs gruppvis. Varje grupp tilldelas ett objekt och genomför en brandteknisk riskvärdering. Brandskyddet utvärderas och förslag på förbättringar ges. Objektet som behandlas i denna rapport är Plus-huset i centrala Avesta.

Två handledare, en från avdelningen för brandteknik på LTH och en från brandförsvaret i Avesta, bidrar med tips och stöd under arbetets gång.

1.2 Syfte

Rapportens syfte är att ge en ökad förståelse och kunskap i hur en brandteknisk riskvärderingsanalys skall genomföras. Under objektsbesöket ges tillfälle att på plats i samråd med handledare diskutera sig fram till eventuella åtgärder kring byggnadens brand- och utrymningssäkerhet. Tillämpning av datorprogram för brand- och utrymningsscenarier utgör ett viktigt inslag i arbetet.

Rapporten skall även ge objektsinnehavaren en inblick i hur väl brandskyddet fungerar idag samt vilka förbättringar som bör eller skall genomföras för att objektets brandskydd skall bli tillfredsställande.

1.3 Metod

Inledningsvis studerades ritningarna över objektet inför besöket tillsammans med handledarna. På plats granskades och dokumenterades så mycket som möjligt kring befintligt brandskydd, inredning, material och rutiner vid utrymning. En viktig del vid besöket var att komma fram till vilka brandscenarier som skulle behandlas i rapporten.

Efter hemkomst togs effektutvecklingskurvor fram och simuleringar och beräkningar för de olika scenarierna gjordes. Simulering med avseende på utrymning genomfördes i SIMULEX. För brandgasspridning samt tid till kritiska förhållanden användes CFAST. Ett brandförsök med en småskalig modell av en scen genomfördes i syfte att studera brandtillväxt, brandspridning och brandgasspridning vid brand på undersidan av en plan träyta.

Simuleringarna följdes av känslighetsanalyser och vissa resultat verifierades med handberäkningar. Resultaten från dessa ledde till förslag på förbättringar.

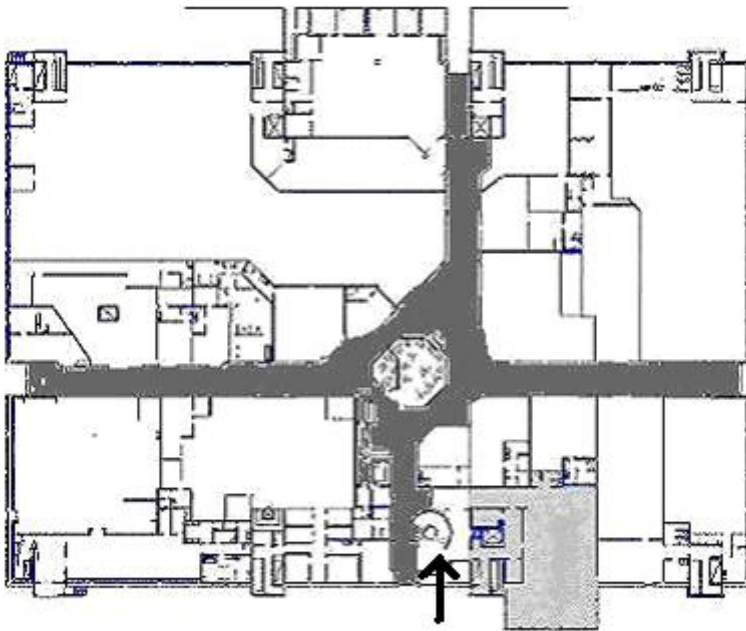
1.4 Avgränsningar

I Plus-huset finns ett köpcentrum i gatuplan, ett hotell på övervåningen samt ett källarplan med varumottagning, parkeringsgarage och en bowling- och squashhall. För att begränsa rapportens omfattning koncentrerades arbetet till hotellet, och bara enkla handberäkningar för utrymningstider gjordes för gatuplanet. Källarplanet behandlas inte alls.

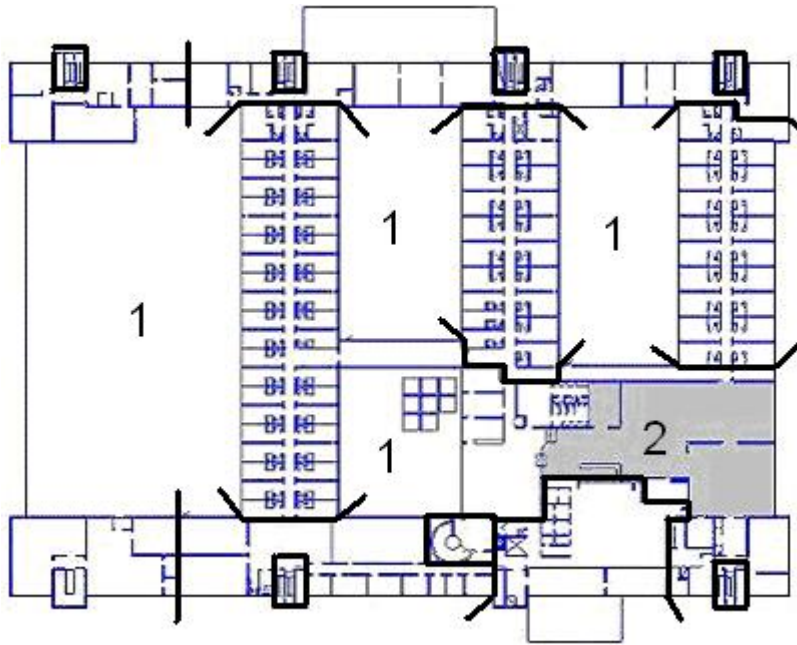
2 Objektsbeskrivning

2.1 Allmänt om byggnaden

Plus-huset är en byggnad i två plan plus källare och är utförd med stomme och bjälklag i betong. På gatuplan finns ett köpcentrum med ett flertal butiker av varierande storlek och en trappa upp ligger Star Hotel. Detta plan benämns "hotellplanet" i rapporten. I källaren finns bland annat ett parkeringsgarage, men det omfattas inte av rapporten. Den totala area som hela byggnaden upptar uppgår till cirka 6 000 m². Förbindelser mellan våningsplanen består av en massiv, spiralgående trappa från hotellets huvudentré i markplan vid Markustorget, en mindre spiraltrappa mellan hotellets kök och Flying Star, hotellets pub i markplan, samt sex trapphus som primärt tjänar som utrymningsvägar med brandklassade dörrar mot butiker i markplan och hotellkorridorer etc. i våningsplan två. Hotellplanet innefattar även tre i princip tomma innegårdar bortsett från att en av dem har fönster som vetter ner mot köpcentrats mitt.



Figur 1: Gatuplan. Det ljus markerade området är puben Flying Star och det mörkare området markerar gångstråken mellan butikerna. Utrymmet som är markerat med en pil är huvudentrén till Star Hotel.



Figur 2: Hotellplanet med brandcellsgränser markerade med heldragna linjer. Siffermarkeringarna visar följande: 1. Innegårdar, 2. Samlingslokalen där det i dag får vistas max 500 pers enligt krav från räddningstjänsten.

2.2 Byggnadsteknisk beskrivning

Hotellplanet består av 80 rum, reception, samlingslokallokal, konferensrum, kök, diverse förrådsutrymmen, fläktrum med mera på övervåningen och en garderob vid entrén i gatuplan. Eftersom samlingslokalen ligger i plan två och får hysa upp till 500 personer, betraktas Plus-huset ur ett brandtekniskt perspektiv som en klass 1-byggnad (Boverket, 2002). Detta medför särskilda krav på exempelvis ytskikt som används i byggnaden. Anmärkningsvärt för hotellet med tanke på byggnadsmaterial är bland annat ett generöst användande av trä som ytskikt i samlingslokalen.

2.3 Brandcellsindelning och brandtekniska installationer

I detta avsnitt granskas brandcellsindelning, brand- och utrymningslarm samt ventilation.

2.3.1 Brandcellsindelning

Bottenplanet i Plus-huset är helt osektionerat. Ovanför innertaket står i princip alla lokaler i kontakt med varandra. Några enstaka butiker har dock utökat sitt inbrottskydd genom att bygga om väggarna mot angränsande lokaler så att de når ända upp till bjälklaget, och detta har i något fall även visat sig begränsa brandgasspridning.

Hotellet är sektionerat så att varje korridor är en egen brandcell. Tanken verkar också vara att varje hotellrum ska vara separata brandceller, men om det funkar eller inte kan inte bekräftas förrän ventilationssystemet har studerats. Detta behandlas i kapitel 7.6. I en korridor ses genast att rummen inte är skilda brandceller eftersom utrymmet ovanför innertaket är helt öppet. Detta beror på att bjälklaget är välvt, och innerväggarna har bara byggts upp till nedre kanten på bjälklaget. Detta lämnar en lucka på ca 40-50 cm (se figur 5 i kapitel 7.1).

2.3.2 Brand- och utrymningslarm

Hela Plus-huset är utrustat med ett automatiskt, sektionerat brand- och utrymningslarm som är direktkopplat till räddningstjänsten. På gatuplanet är brandlarmet utrustat med joniserande och optiska rökdetektorer som placerats under innertaket. På hotellplanet har rökdetektorer monterats under innertaket i korridorerna samt även i restaurangdelen. Dock saknas detektorer i hotellrummen, både ovan och under innertak. I restaurangens kök finns värmedetektorer i taket. Hela fastigheten har ett gemensamt brandlarm kopplat till en huvudcentral placerad vid hotellets entré i bottenplan.

2.3.3 Ventilation

Ventilationssystemet består av ett uppdelat system med olika aggregat för olika delar av fastigheten. Sektionerna har också avdelats med hjälp av brandgasspjäll. Ventilationen är kopplad till brandlarmet och stängs av då det löser ut. Trapphusen, som fungerar som utrymningsvägar från övervåningen, är utrustade med manuellt öppningsbara brandgasluckor i taket.

2.4 Utrymningsvägar

2.4.1 Dimensionering enligt schablonmetod

Reglerna för förenklad dimensionering säger att det måste finnas minst två av varandra oberoende utrymningsvägar. För samlingslokaler gäller även att det får vara maximalt 150 personer per meter dörrbredd och om en utrymningsväg blockeras max 300 personer per meter dörrbredd. Maximalt gångavstånd inom brandcell får inte överstiga 30 m till närmaste utrymningsväg i hotellet och inte mer än 15 m i samlingslokalen. En utrymningsväg i samlingslokalen bör inte vara mindre än 1,2 m bred och dörrbladet får inte inkräkta mer än 50 mm på detta mått. I övriga utrymnen bör utrymningsväg vara minst 0,9 m bred och 2,10 m hög. (Boverket, 2002) Utrymningsvägarna i Plus-huset är dimensionerade så att de uppfyller dessa grundkrav.

2.4.2 Placering

I Plus-huset finns ett flertal utrymningsvägar. Från gatuplanet finns de fyra huvudutgångarna (entréerna till köpcentret) och utöver det ytterligare 12 nödutgångar. Från hotellplanet finns sju utgångar bestående av hotellets entré och sex nödutgångar. En av nödutgångarna är dock endast kopplad till fläktrum och används inte vid utrymning av hotellet.

2.4.3 Dimensionering av utrymningsvägar

När utrymningen studerades i den här rapporten ansågs att det inte var aktuellt att både gatuplanet och hotellplanet kommer att behöva utrymmas samtidigt. Detta på grund av att verksamheterna på de olika planen är koncentrerade till olika tider på dygnet. Kvällstid då det är mycket folk i samlingslokalen på hotellplanet är butikerna på gatuplanet stängda, och dagtid då det är mycket folk på gatuplanet är verksamheten begränsad i hotellplanet.

Denna rapport är inriktad på utrymning av hotellet och samlingslokalen knuten till hotellet. Schablonberäkningar har dock gjorts på gatuplanet och dessa visar att utrymning av dessamma inte utgör något problem.

2.5 Incidenter som utlöst brandlarmet

Sju insatsrapporter och en brandutredning från Södra Dalarnas Räddningstjänstförbund för tiden mellan 2002-01-15 och 2004-09-01 har funnits tillgängliga. Dessa gäller följande:

2002-01-15: Automatlarm orsakat av missförstånd vid underhåll av anläggning.

2002-02-13: Vaktmästaren hade stängt av fel sektion.

2002-04-25: Styrkan som kom till platsen kunde inte hitta orsaken till att larmet löst ut.

2002-06-26: Brand i köket i Flying Star. Branden släcktes innan den hade spridit sig från startföremålet.

2003-09-08: Automatlarm, okänd anledning.

2003-10-18: En gäst hade eldat, troligen med en tändare, på en värmedetektor på damtoaletten på Flying Star.

2003-11-02: Någon hade slagit sönder en värmedetektor utanför toaletterna inne på Flying Star.

2004-09-01: Anlagd brand i Flying Star. Puben totalskadad och hela gatuplanet behövde saneras för sotskador.

2.5.1 Inträffad brand i Flying Star

I Plus-husets gatuplan har Star Hotel en pub vid namn Flying Star. Här inträffade den 1/9 2004 en anlagd brand som orsakade en totalskada på puben och omfattande rökskador på övriga delar av köpcentrat. Släckningsarbetet orsakade även vattenskador på angränsande lokaler.

Att brandgaserna fick så stor spridning beror på att köpcentrat inte är sektionerat, utan det är helt öppet ovanför innertaket. Detta innebär också att risken för brandspridning är stor, men i detta fall inträffade det inte.

Bara en butik, Apoteket, klarade sig utan skador. Anledningen till detta är att de har förbättrat sitt inbrottskydd genom att bygga om väggarna mot anslutande lokaler så att de når ända upp till bjälklaget. Vid branden i Flying Star visade det sig att de även försvårar brandgasspridning.

En positiv erfarenhet av branden var att polis och hotellpersonal skötte utrymning av hotellet på ett bra sätt, vilket gjorde att räddningstjänsten kunde koncentrera sig på släckningsarbetet. Detta kan anses vara särskilt viktigt här då förstärkningar till räddningstjänsten kan vara på plats tidigast efter 30 minuter. Branden lyfte även fram ett par brister:

- När räddningstjänsten ville öppna en andra angreppsväg genom hotellentrén och garderoben visade det sig att inga nycklar passade till dörrarna in till Flying Star.
- En del gäster hade inte vaknat av/uppmärksammat larmklockorna, som endast finns i korridoren, utan väcktes av hotellpersonalen som knackade på dörrarna.

2.6 Allmänna observationer

Vid objektsbesöket upptäcktes en del brister på brandskyddet i byggnaden.

- Brandcellsgränsernas funktion var genomgående dåliga i byggnaden, framför allt vid kabelgenomföringar.
- Några utrymningsvägar saknade möjlighet till återinträde.
- Det förekom att möbler och andra lösa föremål var placerade framför nödutgångar.

3 Utrymning

3.1 Tid till kritiska förhållanden

I den här rapporten är det personsäkerheten vid brand som undersöks i första hand. Vid utrymning på grund av brand är framför allt det tidiga brandförloppet av intresse, vilket ofta karakteriseras av en växande effektutveckling. Det finns vissa kriterier definierade för vad som betraktas som kritiska förhållanden. Dessa utgör gräns för vad som måste uppfyllas för att en utrymning ska kunna ske under acceptabla förhållanden. Observera att även om kriterierna överskrids behöver detta inte nödvändigtvis medföra fara för människors liv. Följande kriterier ansätts för att ge tiden till kritiska förhållanden.

- | | |
|------------------|--|
| • Temperatur | Personer under utrymning bör maximalt utsättas för en temperatur på 80 °C. |
| • Strålning | Personer under utrymning bör maximalt utsättas för en kortvarig strålningsintensitet på 10 kW/m ² , alternativt en maximal strålningsintensitet på 2,5 kW/m ² . |
| • Brandgaslagret | Brandgaslagrets höjd skall ej understiga den höjd som ges av formeln: $H_{\text{Brandgaser}} = 1,6 + 0,1 \times H_{\text{Rumshöjden}}$. |
| • Sikt | Sikten får ej understiga 5 meter i brandrummet och 10 meter i utrymningsvägarna. 10 meters sikt motsvarar en optisk densitet på 1 dB/m. |
| • Toxicitet | Följande gränsvärden gäller för respektive ämne. Halter högre (för O ₂ lägre) än dessa anses försvåra utrymning avsevärt.
CO < 2000 ppm
CO ₂ < 5%
O ₂ > 15 % |

Observera att även om brandgaslagret sjunker till en lägre nivå än vad formeln anger kan utrymning fortgå under förutsättningen att kriterierna för sikt, temperatur och toxicitet ej uppnåtts. (LTH, 2002)

De värden för värmestrålning som nämns i rapporten har beräknats med handberäkningar.

3.2 Utrymningstid

”Avsikten med utrymningsdimensionering är att personer i en byggnad skall kunna lämna byggnaden vid brand utan att utsättas för kritiska förhållanden.” (Boverket, 2004)

För att avgöra om människorna i en byggnad har tillräckligt med tid för att hinna utrymma lokalen innan kritiska förhållanden uppstår måste utrymningstiden beräknas. Utrymningstiden delas upp i följande tre komponenter:

- Varseblivningstid

- Besluts- och reaktionstid
- Förflyttningstid

Den tid som är tillgänglig för utrymning ges av uttrycket

$$t_{\text{tillgänglig}} = t_{\text{kritiska förhållanden}} - t_{\text{varseblivning}} - t_{\text{beslut + reaktion}} - t_{\text{förflyttning}}$$

Komponenterna i uttrycket innehåller olika typer av svårigheter och osäkerheter. Vid en utrymningsanalys består den största svårigheten i att bestämma tiden för beslut och reaktion. (Boverket, 2004)

3.3 Varseblivningstid

Varseblivningstiden är den tid som förflyter från det att branden uppstår till dess att personen ifråga uppfattar faran. Ett antal faktorer påverkar varseblivningstiden, exempelvis om automatiskt utrymningslarm är installerat, brandens läge och personernas vakenhetsgrad (Boverket, 2004). Plus-huset i Avesta har ett automatiskt utrymningslarm. När utrymningen sker från hotellet och från samlingslokalen måste personernas vakenhetsgrad beaktas. Personer på hotellet kan ligga och sova och personer i samlingslokalen kan vara berusade i varierande omfattning.

3.4 Besluts- och reaktionstid

Besluts- och reaktionstiden utgörs av den tid det tar för personen att förstå att det brinner, lyssna på utrymningslarmet och besluta sig för att utrymma till att faktiskt påbörja utrymningen. I den här rapporten har besluts- och reaktionstiden för de olika utrymningsscenarierna hämtats från Boverkets *Utrymningsdimensionering*. (Boverket, 2004)

3.5 Förflyttningstid

Förflyttningstiden är den tid det tar för en person från det att denna påbörjat utrymningen till det att personen är ute ur lokalen eller på en säker plats. I den här rapporten har personerna antagits vara i säkerhet först när de lämnat lokalen. Förflyttningstiden har simulerats i Simulex. (Boverket, 2004)

4 Beräkningshjälpmedel

4.1 FAST/CFAST v 3.1.7

Simulering av brandgasspridning har gjorts i beräkningsprogrammet CFAST som producerats av NIST (National Institute of Standards and Technology) i USA. CFAST använder en tvåzonsmodell för att beräkna temperatur, brandgasvolym, brandgaslagrets höjd och strålningsintensitet med utgångspunkt från en ansatt effektutveckling och rummets dimensioner.

4.1.1 Kriterier för användning av tvåzonsmodeller

Tvåzonsmodeller är ett förenklat sätt att studera ett brandscenario. Modellerna delar in brandrummet i två zoner, en övre varm zon med brandgaser och en undre kall zon med endast frisk luft. De två zonerna antas ha enhetlig temperatur i hela zonen och mass- och energitransport mellan de två zonerna beräknas. Tvåzonsmodeller ger bra värden för brandgaslagrets höjd, brandgaslagrets temperatur och temperaturen i det undre lagret, förutsatt att nedanstående kriterier uppfylls.

Kriterier för användning av tvåzonsmodeller enligt Quintiere (Quintiere, 1999):

- $L/W < 3$
- $0.2 \leq L/H \leq 4$
- $5 \times L \times W \times H/2 \leq Q$ ($Q \leq 15\,000$ kW)

L = rummets längd, W = rummets bredd, H = rummets höjd, Q = effekt

4.1.2 Begränsningar i FAST/CFAST

Det finns också restriktioner för när och hur resultaten från tvåzonsmodeller kan användas och det är viktigt att hänsyn tas till dessa. Resultaten bör användas restriktivt och endast med god säkerhetsmarginal vid beräkningar avseende personsäkerhet. Förutsatt att kriterierna ovan är uppfyllda ger CFAST bra värden för brandrummet och hyfsade värden för angränsande rum. CFAST kan räkna med upp till 30 rum. Dock bör det beaktas att osäkerheten i resultaten ökar ju längre bort från brandrummet ett rum ligger. CFAST tar heller inte hänsyn till förbrinntid och brandgasspridning i horisontalplanet i rummet. Programmet antar att brandgaserna täcker hela taket momentant och att hela brandgaslagret har en enhetlig temperatur. Jämförelser mellan CFAST och experimentella resultat har dock gjorts bland annat av Reneke m fl (Reneke m fl, 2001). Deras undersökning visar att CFAST ger bra värden på brandgastemperatur och brandgaslagrets höjd. De visar dock att CFAST har en tendens att överskatta brandgasernas temperatur något, men inte med mer än 50 °C. (Quintiere, 1999) (Reneke m fl, 2001)

4.2 Simulex

Simulex är ett program för simulering av utrymningstider, och är utvecklat av University of Edinburgh. En del datainsamling och tester för att ta fram beräkningsmodeller har gjorts vid

Lunds Tekniska Högskola, och verifieringsarbete har utförts på flera platser. Programmet använder sig av planritningar från t.ex. CAD. Flera sådana planritningar kan sedan länkas samman med trapphus så att en tredimensionell modell av byggnaden erhålls. Därefter definieras en eller flera avståndskartor, vilka visar närmaste vägen till en eller flera utgångar. Efter detta sätts människor in i byggnaden. För dessa kan man variera olika egenskaper som t.ex. kön, ålder och reaktionstid. För varje person definieras också vilken avståndskarta den ska följa.

Programmet ger en bra bild av var köer uppstår och en uppfattning av hur lång tid utrymningen tar. (IES, 2002) (Crowd dynamics, 2004)

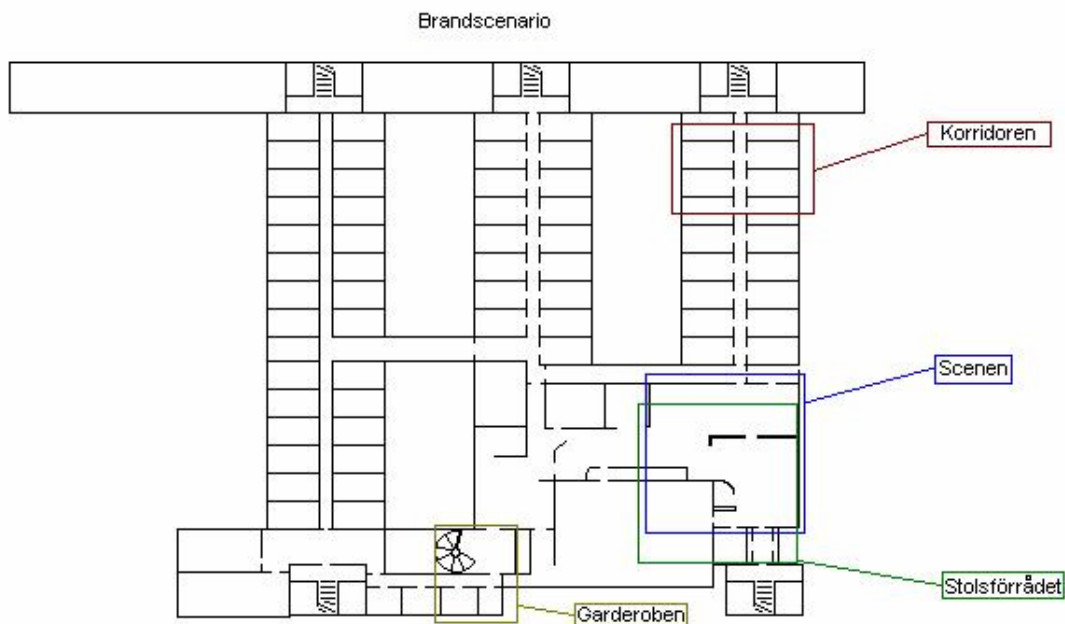
4.2.1 Felkällor

- I samtliga simuleringar antas personalen ingå i den folkmassa som befinner sig i lokalen, och inga särskilda reaktionstider används för personal.
- För samtliga gäster används ”Occupant type: Hotel” i Simulex. Exakta gånghastigheter och köns- och åldersfördelning är inte känt eftersom den version av Simulex som har använts för denna rapport är en studentversion där detta inte kan styras.
- Inga hinder i form av bord och stolar har lagts in i ritningarna.

5 Val av brandscenarier

Efter objektsbesöket valdes fyra brandscenarier som ansågs vara av extra intresse. Dessa fyra valdes för att de är troliga och för att de avsevärt kan försvåra en eventuell utrymning. Scenarierna som valts är:

- Brand i hotellrum
- Brand i garderob
- Brand under scen
- Brand i stolsförråd



Figur 3: Brandsceniernas placering i byggnaden. Rutorna markerar de områden som en eventuell brand antas beröra i initialskedet. Brandgasspridning till delar av hotellet utanför markerad ruta för respektive scenario framgår ej av figuren.

5.1 Hotellrum

Vid besök på objektet upptäcktes att avgränsningen mellan hotellrummen och en av korridorerna var mycket bristfällig. Närmare bestämt var det öppet ovanför innertaket. Det noterades också att de enda rökdetektorerna som fanns var placerade på undersidan av innertaket i korridoren. I värsta fall skulle detta kunna leda till att en brand i ett av hotellrummen kan rökfylla ett eller flera andra rum innan detektorerna i korridoren registrerar röken. Av denna anledning diskuteras och undersöks här risken för att detta skall inträffa, och vad som bör göras för att minska risken att kritiska förhållanden uppstår innan utrymning kan antas vara avslutad.

5.2 Garderob

En garderob kan innehålla mycket brännbart material och risken att en brand skall få svåra konsekvenser ökar med mängden kläder. En hög brandbelastning i garderoben i kombina-

tion med ett stort antal gäster i hotellets festlokal en trappa upp kan medföra ett allvarligt brandscenario ur spridnings- och utrymningssynpunkt.

Under besöket iaktogs att jackorna hängs ovanför varandra i rader vilket sannolikt medför en snabbare brandspridning. Antänds ett rack i underkant i garderoben bör racket ovanför vara antänt väsentligt snabbare än ett rack i samma nivå. Vid initiering i den övre jackraden kan spridning till den undre ske effektivt genom att många jackor ger ifrån sig brinnande droppar. Spridning till intilliggande rack bör också gå snabbare då större vertikala ytor både brinner och exponeras.

Startar en brand i garderoben är det av intresse hur lång tid det tar innan brandgaserna spridit sig till trapphuset och skapat kritiska förhållanden.

5.3 Scen

Sett till material i väggar och tak samt dess uppbyggnad och placering blir scenen i samlingslokalen intressant att dimensionera brandförlopp på. I motsats till garderobsscenarioet bör en brand som startar under scenen kunna fortgå rätt länge innan den upptäcks. Försöket i laboratorium vid Brandteknik vid LTH styrkte detta påstående.

Scenariot har valts dels på grund av att branden hinner få fäste innan den upptäcks och därför kan vara relativt stor, och dels för att den troligtvis kommer att försvåra användandet av den intilliggande nödutgången avsevärt. Hänsyn har också tagits till önskemålet att utöka antalet besökande men då måste beaktas att väggar och tak i samlingslokalen är klädda med ett icke brandskyddsklassat ytskikt, vilket inte är tillåtet enligt dagens standard (Boverket, 2002).

5.4 Stolsförrådet

I anslutning till samlingslokalen i hotellet finns ett litet rum som används som förråd för extra stolar och eventuellt bord då de inte används. Detta kan vara vid till exempel konserter. Den mest troliga brandorsaken är anlagd brand, vilket kan anses vara en reell risk enligt resonemang i kapitel 2.5.1. Stoppningen i stolarna antas bestå av polyuretanskum, vilket gör att scenariot kan bli mycket farligt på grund av den stora produktion av brandgaser som uppstår. Om dörren till stolsförrådet är stängd i början av brandförloppet och sedan öppnas kan det uppstå ett scenario som liknar det som hände vid Backaplan i Göteborg 1998, där kritiska förhållanden uppstod mycket snabbt.

5.5 Övriga scenarier

I samband med objektsbesöket diskuterades även ett par andra scenarier. Dessa ansågs inte vara lika relevanta som de fyra som slutligen valdes.

Hotellet har ett stort kök där det i samband med matlagning kan uppstå bränder. Sannolikheten för att en brand inträffar i ett kök är ganska stor, men med tanke på att det fanns väldigt lite brännbart material i köket skulle en brand troligtvis inte få allvarliga konsekvenser.

I hotellobbyn stod en soffgrupp. Visserligen ger sådana möbler vid en eventuell brand ifrån sig stora mängder brandgaser som hade kunnat försvåra en utrymning, men scenariot valdes ändå bort på grund av att receptionen i lobbyn alltid är bemannad och att det finns handbrandsläckare till hands.

6 Butiksplan

Gatuplanet har fyra huvudingångar samt elva övriga utgångar som kan användas vid en utrymning. Schablonberäkningar har gjorts för gatuplanet med det ansatta personflödet 1 person per meter dörrbredd och sekund, och att utpassering skall ske på maximalt 150 s (tiden 150 s kommer sig av att dimensionerande värde för utrymningsvägar är max 150 personer per meter dörrbredd) (Boverket, 2002). Detta ger att det på butiksplan kan finnas ca 3420 personer. Dock kan tiden det tar att passera dörrarna inte antas vara den tid som utrymning tar, hänsyn måste tas till reaktions- och förflyttningstid. Dimensionerande värde på besluts- och reaktionstiden för kunder i varuhus med enbart ringklocka som utrymningslarm är 3,5 min (Boverket, 2004) och om gånghastigheten sätts till 1 m/s och maximala avståndet till närmaste utrymningsväg är 30 m blir totala tiden för utrymning av gatuplanet 6,5 minuter.

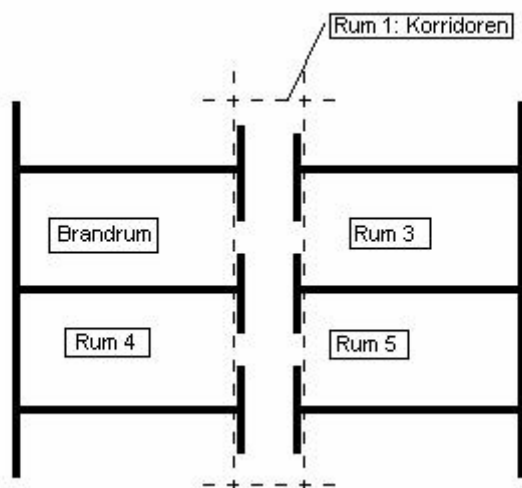
7 Brandscenario 1 - Hotellrum

7.1 Bakgrund angående hotellrumsscenariot

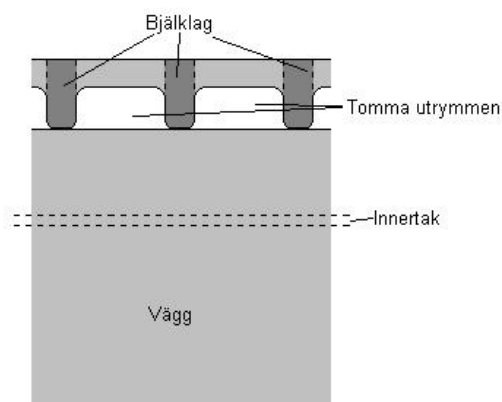
I ett hotellrum kan man vänta sig att sovande människor med mindre god lokalkännedom vistas. Deras möjlighet att utrymma i en nödsituation beror till stor del på de förebyggande åtgärder som vidtagits.

En brand i ett hotellrum kan starta på många olika sätt. Det troligaste och kanske mest allvarliga är initiering i sängen, exempelvis på grund av sängrökning. Sängen innehåller mycket brännbart material och tillväxthastigheten är hög.

Brandorsaken i detta scenario antas vara sängrökning. Eftersom det inte finns rökdetektor i rummet antas branden kunna utvecklas väsentligt innan larmet utlöser.



Figur 4: Hotellrumsscenariot.



Figur 5: Schematisk bild av vägg mellan hotellrum och en av korridorerna i Star Hotel. Här blir det lätt för brandgaserna att sprida sig ovanför innertaket.

7.2 Simulering – CFAST

7.2.1 Förutsättningar

Branden i hotellrummet antas starta på grund av sänggrökning och tillväxa som en fast α^2 -kurva till en maxeffekt på ca 2,2 MW. Detta motsvarar maxeffekt med avseende på ventilationsförhållandena i rummet. Maximal effektutveckling beräknades med hjälp av ekvation 6.27 i *Enclosure Fire Dynamics* (Karlsson & Quintiere, 2002), beräkningen redovisas i bilaga I. Effektutvecklingskurvan redovisas i diagram 1 nedan. Då brandgasspridning genom innertak inte finns med i CFAST har en mindre öppning placerats i nivå med innertaket (1×0,2 m). Öppningen ska motsvara otätheter i innertaket samt att vissa takplattor inte låg på plats. Öppningen antas släppa igenom motsvarande mängd brandgas som skulle tränga igenom innertaket. I stället för att simulera hela korridoren med alla dess rum ansattes en kortare korridor (10 m) med fyra rum då CFAST är olämpligt att använda på för många rum. För att motverka att tryckuppbyggnaden i den förminskade korridoren inte ska bli större än i den faktiska korridoren ansattes en öppning till utsidan med måtten 1×1 m.

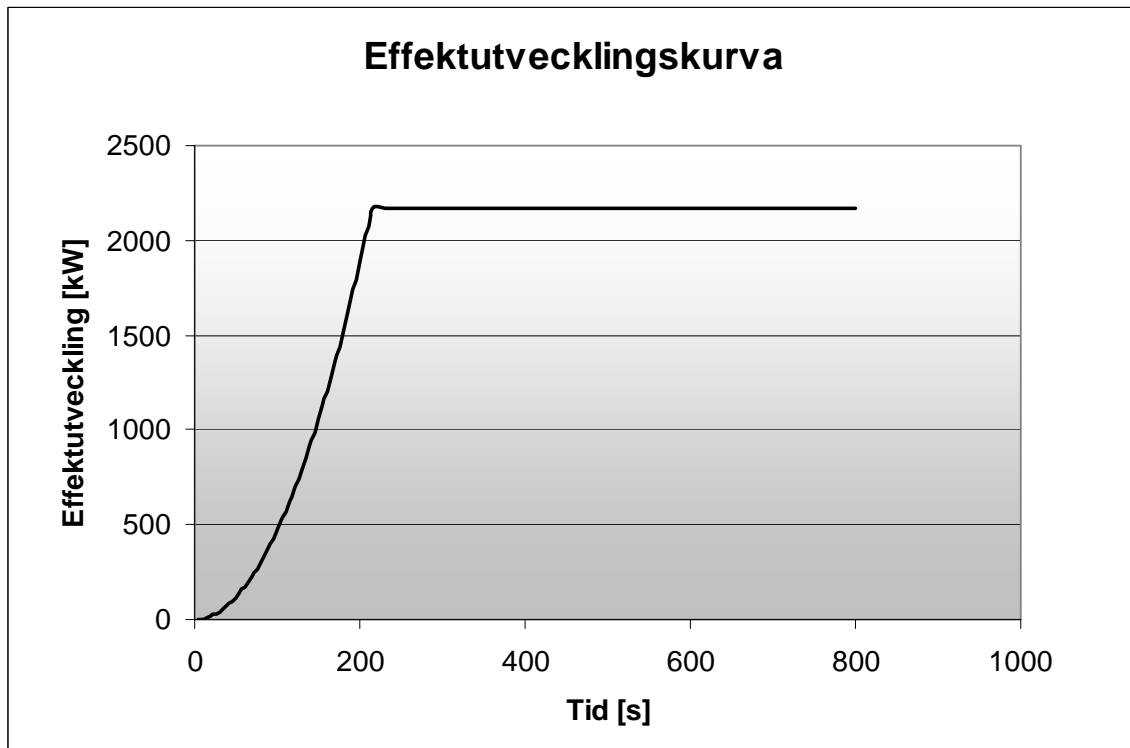


Diagram 1: Effektutvecklingskurva för hotellrumsbranden.

7.2.2 Resultat

Här presenteras resultaten som fås i korridoren och inte de resultat som fås från brandrummet, då det är korridoren som är av vikt vid en utrymning. Kritiska förhållanden nås i korridoren efter 150 sekunder då brandgaslagret når ner till 1,8 m.

CFAST är en tvåzonsmodell och sådana bygger på att det undre lagret är fritt från rök, därför behandlas inte sikten här.

	Simulerat värde	Gränsvärde för kritiska förhållanden
Temperatur	20 °C	80 °C
Strålning i korridor	0,9 kW/m ²	2,5 kW/m ²
Brandgaslagrets höjd	1,8 m	1,8 m
CO ₂	0,6 vikt%	5,0 vikt%
CO	170 ppm	2000 ppm
O ₂	22 vikt%	15 vikt%

Tabell 1: Värden för korridoren från CFAST efter 150 sekunder, då kritiska förhållanden uppstår, samt gränsvärden för kritiska förhållanden.

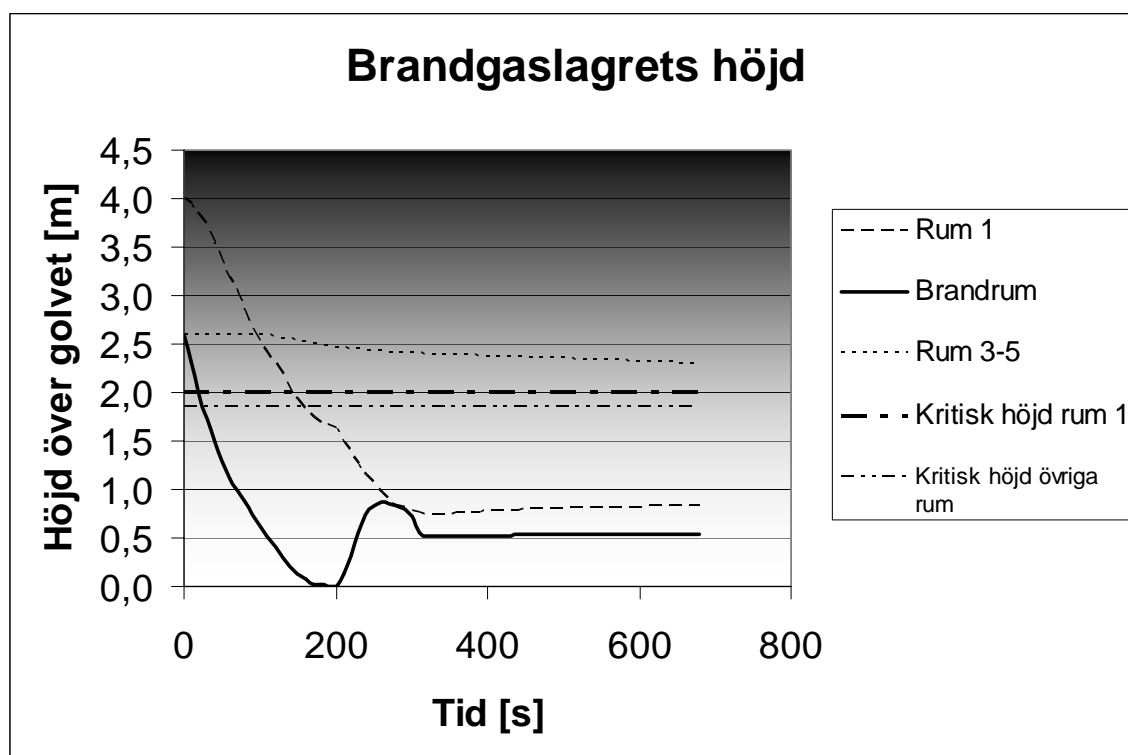


Diagram 2: Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden vid hotellrumsscenarioet.

7.2.3 Känslighetsanalys

Många antaganden har gjorts vid simuleringen av brand i hotellrum.

- Först ansattes att en öppning i takhöjd skulle motsvara genomsläppligheten av brandgaser genom innertaket.
- Det andra antagandet var att brandgaserna inte möter något motstånd av innertaket i korridoren när brandgaslagret växer sig tjockare och passerar ner genom innertaket.

Olika längder på korridoren simulerades. När korridorens verkliga längd användes låg brandgaslagret ovanför innertaket men temperaturskillnaden mellan brandgaserna och luften i korridoren var endast 20 till 30 °C. Då brukar det antas att brandgaserna är väl omblandade med luften, det vill säga att korridoren skulle vara rökfylld. Därför ansattes en kortare korridor.

7.3 Simulering av utrymning

7.3.1 Förutsättningar

I detta scenario kommer den mest betydande faktorn för utrymningen vara varseblivningstiden. Även reaktionstiden kan ha stor betydelse. Däremot borde förflyttningstiden vara liten i jämförelse med de andra tiderna. Detta grundar sig i att det är relativt få människor som ska förflytta sig genom varje utrymningsväg. Eftersom besluts- och reaktionstiden dessutom varierar kommer inte många personer fram till trapporna samtidigt, vilket gör att ingen köbildning uppstår.

Det enda som står om besluts- och reaktionstiden för sovande personer i *Utrymningsdimensionering* (Boverket 2004) är att den bör vara något längre än för vakna personer. Uppgifter från brandmän som kom till Plus-huset vid branden i Flying Star hösten 2004 visar dock att vissa av de sovande gästerna redan tagit sig ut när brandkåren kom till platsen bara ett par minuter efter larm. För att ta hänsyn både till dem som börjar flytta sig så fort de hör larmet och de som tar längre tid på sig sätts besluts-/reaktionstiden här till 105 ± 90 sekunder.

7.3.2 Varseblivningstid

Varseblivningstiden är svår att beräkna i det här fallet. Det finns ingen uppgift om detektorer i ventilationssystemet, men det finns brandgasspjäll i ena änden av varje korridor så det antas att det finns rökdetektorer i anslutning till dem och att dessa detektorer är anslutna till brandlarmet. Det finns heller inga uppgifter om flöden och hastigheter i kanalsystemet. Hur lång tid det tar innan brandlarmet löser ut beror också mycket på i vilket rum det brinner. Här antas att flödena är sådana att detektions- och därmed varseblivningstiden är 60 sekunder.

7.3.3 Utrymning

Från CFAST har vi fått en tid till kritiska förhållanden som är 150 sekunder. Denna tid är mycket osäker eftersom det är mycket som CFAST inte kan räkna med, t.ex. innertak och ventilation. Rumsgeometrin har också förenklats något.

Resultatet från simuleringen i Simulex är en utrymningstid på mellan 225-250 sekunder tills alla har lämnat hotellplanet och 258-305 sekunder tills alla har lämnat byggnaden, dvs. betydligt längre än tiden till kritiska förhållanden.

7.3.4 Känslighetsanalys

I den första simuleringen sattes antalet personer till 2 per rum. Detta är fler än antalet sängar eftersom ca hälften av rummen är enkelrum. Simulering gjordes även med 1 person per rum. Denna simulering gav ingen väsentlig skillnad i resultatet. Utifrån detta dras slutsatsen att antagandet att förflyttningstiden har liten inverkan på utrymningstiden är giltigt.

7.4 Handberäkningar

För handberäkningarna gällande effektutveckling och brandgasproduktion antas att fönstret går sönder alternativt står öppet från början, medan dörren hålls stängd. Rummet antas vidare gå till övertändning. Maxeffekt kan då räknas fram med hjälp av det luftflöde som strömmar in genom fönstret. Formlerna som används är giltig för ett rum med välblandade förhållanden (Karlsson & Quintiere, 2002), och då rumsvolymen är liten i förhållande till

brandbelastningen bedöms branden bli ventilationskontrollerad. Dörren antas vara stängd och fönstret antas vara öppet eller ha gått sönder. Beräkningarna redovisas i bilaga I.

7.4.1 Resultat av handberäkningar

Beräkningarna ger en möjlig maximal effektutveckling på ca 2,2 MW. Värdet är ett riktvärde som ligger något högre än det reella värdet på effekten som kan erhållas vid verklig brand. Detta beror på att formlerna inte tar hänsyn till brännbarhetsgränser utan räknar med att allt syre används till förbränningen. CFAST beräknar dock inflödet av luft till brandrummet och begränsar beräkningarna till att syrehalten inte får understiga 10%.

7.5 Brandgasspridning via ventilationssystemet

Detta avsnitt behandlar risken för brandgasspridning mellan hotellrummen via ventilationssystemet.

7.5.1 Allmänt

Hela Plus-huset är utrustat med från- och tilluftssystem för ventilation. Systemet är uppdelat så att olika delar av byggnaden servas av olika fläktaggregat. Hotellrummen servas gemensamt med lager och vaktmästarlokaler. Vid utlöst brandlarm stängs fläktarna av och avluftningskanaler öppnas.

7.5.2 Avgränsning och beräkningar

Beräkningarna utförs på en sektion av ventilationssystemet som servar sex hotellrum. Sektionen sammankopplas sedan vid en samlingslåda med övriga hotellrum i korridoren. Samlingslådan är i sin tur ansluten till fläkten. Vid samlingslådan sitter brandgasspjäll samt vad som på ritningarna ser ut att vara schakt. Dessa antas vara till för brandgasventilation. Bild över sektionen och alla beräkningar finns i Bilaga V. Inga beräkningar redovisas i själva rapporten.

7.5.3 Resultat

Resultatet av beräkningarna är att brandgasspridningen mellan de rum som ligger på samma ledning efter samlingslådan, är oundviklig med befintlig utrustning. Schaktet för brandgasventilation skulle behöva vara närmare 30 m högt för att kunna skapa tillräckligt skorstensdrag för att ventilerat bort alla brandgaser. Detta är alldeles för högt för att ens fundera på tillbyggnad i det avseendet. Befintliga fläktar riskerar att ta skada om de skulle hållas igång under en brand då brandgaserna inte späds tillräckligt för att få ner temperaturen till en nivå som inte skadar fläktarna.

7.5.4 Slutsats om ventilationssystemet

Det rekommenderas att hotellets ventilationssystem ses över. Befintlig brandgasventilation är inte tillräcklig för att hindra att brandgaserna sprids till angränsande utrymmen vid ventilationen. Ett möjligt sätt att förbättra skyddet mot brandgasspridning är att vända tilluftsflödet vid brand så att båda kanalerna suger ut luft och brandgaser. En variant på detta som får samma effekt är att placera brandgasfläktar på avluftningskanalerna. Man måste i båda dessa fall kontrollera att inte stora undertryck bildas i hotellrummen. Ett annat problem med detta är att tilluftskanalerna måste saneras noggrant efter en brand, men samma problem finns redan i dag.

Ett annat sätt kan vara att behålla till- och frånluftflöden och om möjligt öka flödet något vid brand. Man kommer då få en temporär brandgasspridning till grannrummen, men därefter bättre ventilation som gör att röken inte stannar kvar i rummet. En liten ökning i brandens effektutveckling kan dock förekomma på grund av den ökade syretillförseln.

Ytterligare ett sätt är att installera brandgasspjäll. Detta kan antingen göras i både till- och frånluftkanalerna eller så kan spjäll i tilluftkanalen kombineras med brandgasfläkt i frånluftkanalen. Båda dessa sätt minskar behovet av röksanering av tilluftkanalen.

7.6 Slutsats

Slutsatsen utifrån dessa värden är att en brand i hotellrummet kommer ge stora problem för utrymningen. Utrymningen är inte avslutad innan kritiska förhållanden uppstår, även då brandgasspridning via ventilationssystemet försummas.

7.7 Förslag på åtgärder

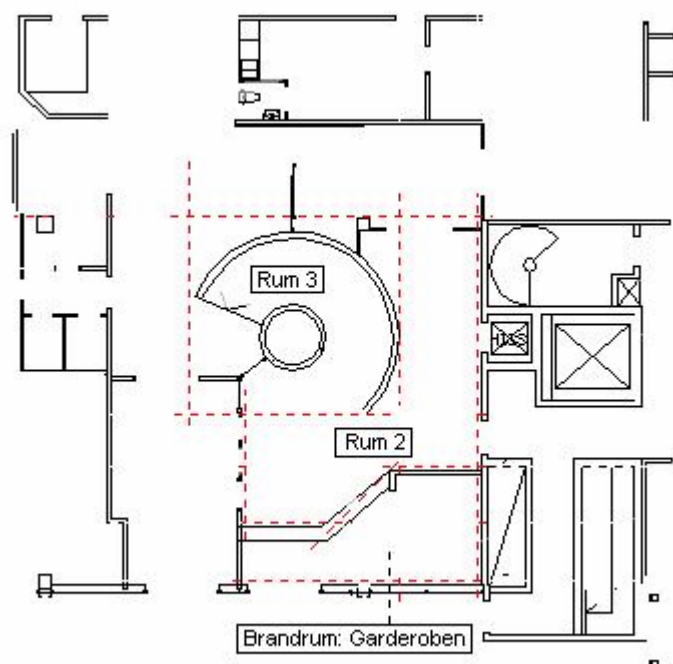
För att säkerställa säker utrymning föreslås följande åtgärder i prioritetsordning:

- Varje hotellrum *skall* vara brandtekniskt avskilt från andra utrymmen.
- Rökdetektorer *skall* installeras i varje hotellrum.
- Minst en av följande åtgärder *skall* genomföras:
 1. Installation av brandgasfläktar i till- och frånluftsystem.
 2. Installation av brandgasspjäll i till- och frånluftkanaler vid samtliga hotellrum.
 3. Installation av brandgasspjäll i tilluftkanalerna vid varje hotellrum samt installation av brandgasfläkt i frånluftsystemets avluftningskanal.
 4. Konvertering av tilluftsystemet till frånluft vid brand.
 5. Ökning av ventilationsflödena vid brand.
- Befintliga rökdetektorer i korridorerna *bör* kompletteras med rökdetektorer ovan innertak.

8 Brandscenario 2 - Garderoben

8.1 Bakgrund angående garderobsscenarioet

Garderoben och kringliggande lokaler är markerade i figur 6. Rum 2 är entrélokal och rum 3 utgörs av trappan upp till hotellet. Fasadmaterialet i garderoben består av glas i vägg mot utsidan. En bardisk skiljer entrélokalen från garderobsutrymmet. Trappan upp är bred och konstruerad i sten/betongmaterial. Den är inte avskild från entrén med någon brandklassad dörr, utan är fritt förbunden med entrélokal och garderob. Ovanför trappan finns självstängande dörrar både till lobbyn och till den direkt anslutande hotellrumskorridoren. Delen som innefattar entrélokalen och trappan tjänar som huvudentré till Star Hotel. Garderoben utnyttjas normalt inte dagtid utan främst vid större händelser och arrangemang på kvällstid. Det är vid dessa tillfällen som stora mängder brännbart material finns i garderoben i form av klädesplagg. Risken att en brand skall få svåra konsekvenser ökar givetvis med mängden kläder.



Figur 6: Garderobsscenarioet.

Under en presentation av examensarbetet *Analys av utrymnings säkerheten vid brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå* (Johansson, 2004), visades hur brandscenarioet såg ut då 105 jackor upphängda på två rack i en container antändes. Jackorna var av varierande modell vilket gav försöket relevans.

Det visade sig gå mycket fort. Knappt 100 sekunder efter antändning deltog allt brännbart material i branden. Rökutvecklingen var kraftig. Effektkurvan avslöjade dock att intensiteten avtog snabbt efter tidpunkten för effekttoppen. Därefter fortsatte det brinna med låg effekt i en hög under racken under lång tid.

I laboratorium bestämdes förbränningsvärmets till ca 21 MJ/kg. Effektutvecklingen hade en topp på knappt 4MW.

Johanssons (2004) försök i container gav följande effektutvecklingskurva:

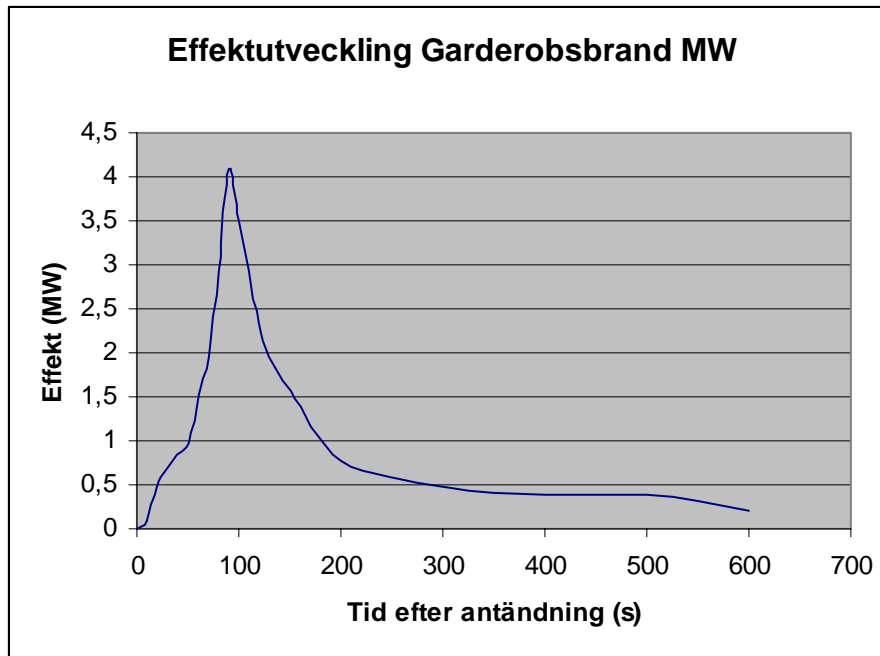


Diagram 3: Effektutveckling vid containerförsök med jackor (Johansson, 2004).

α -värdet blev i Johanssons försök:

$$\dot{Q}(90\text{ s}) = \alpha t^2 = 4000\text{ kW} \Rightarrow \alpha = \frac{4000}{90^2} \approx 0,49\text{ kW/s}^2 \text{ (Johansson, 2004)}$$

8.2 Simulering - CFAST

8.2.1 Förutsättningar

Med bakgrund av containerförsöket antas brandbelastningen uppgå till 180 MJ då 500 jackor hänger i garderoben. Jackorna hänger i två nivåer. De är fem gånger så många som i containerförsöket. Dessutom adderas en bardisk på uppskattningsvis 150 kg trä till energi-innehållet.

8.2.2 Resultat

Ett brandscenario i garderoben kan snabbt leda till kritiska förhållanden. Det tar 40 sekunder innan brandgasspridningen skapat kritiska förhållanden i entrén. Vid denna tidpunkt har även den spiralgående trappan från entrén upp till hotellobbyn rökfyllts. Då branden tillväxer mycket snabbt blir förhållandena i och kring entrén kort efter tidpunkten för kritiska förhållanden omöjliga att vistas i. Fungerar detektionen kommer dörren mellan lobbyn och trappan från entrén stängas i ett tidigt skede av brandförloppet och förhindra spridning till övervåningen. Fungerar inte detektionen, så att dörren förblir öppen, kan situationen bli mycket allvarlig. Risker finns även att en person av någon anledning öppnar dörren eller att den rentav blockerats från början och då omöjliggör den självstängande funktionen.

Situationen kan leda till att brandgasspridningen accelereras av en skorstenseffekt via trapphuset. Brandgaser riskerar då att sprida sig till fler delar av hotellplanet. Sannolikt kommer brandgaserna att kylas tillräckligt för att röken skall fördela sig jämnt över rums-höjden. I tabell 2 nedan redovisas kritiska förhållanden för utrymmet nedanför trappan.

	Simulerat värde	Gränsvärde för kritiska förhållanden
Temperatur	21 °C	80 °C
Strålning i brandrum	1,7 kW/m ²	2,5 kW/m ²
Brandgaslagrets höjd	1,8 m	1,8 m
CO ₂	1,1 vikt%	5,0 vikt%
CO	300 ppm	2000 ppm
O ₂	21,9 vikt%	15,0 vikt%

Tabell 2: Värden nedanför trappan efter 40 sekunder, då kritiska förhållanden uppstår, samt gränsvärden för kritiska förhållanden.

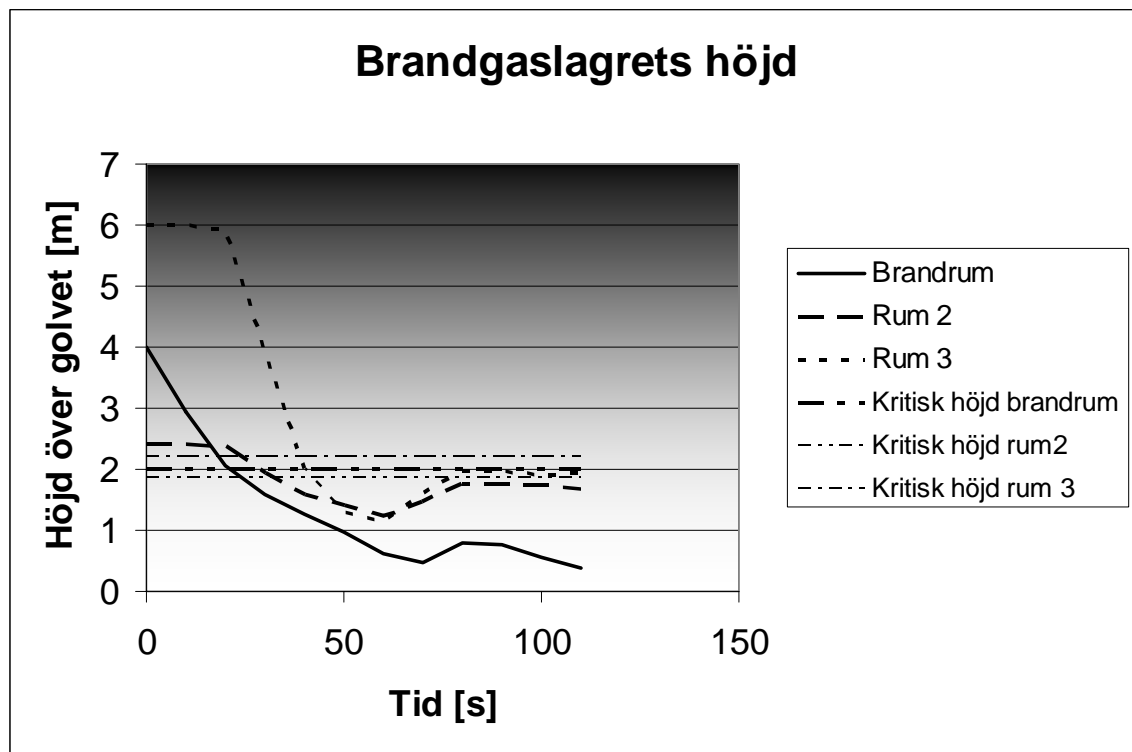


Diagram 4: Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden vid garderobsscenarioet.

8.2.3 Känslighetsanalys

När garderobsbranden simulerades i CFAST valdes tillväxthastigheten till ultra fast, vilken är den effektutvecklingskurva som växer snabbast i CFAST. Det visade sig att storskaleförsöket som presenterades i Johanssons arbete (Johansson, 2004) hade en effektutvecklingskurva som växte nästan tre gånger så snabbt som i simuleringen. För att få fram en effektutvecklingskurva som bättre stämmer överens med storskaleförsöket matades indata in för hand. Inget av fönsterglasen mot utsidan går sönder innan kritiska förhållanden uppstår i den här simuleringen. Detta är dock osäkert då det är okänt vid vilken temperatur glaset går sönder

och CFAST fördelar värmen jämnt över hela rumsarean. Avståndet från fönstren till den plats där branden startar kommer ha betydelse för hur snabbt fönstren värms upp. Här anses det rimligt att fönstren inte går sönder innan kritiska förhållanden uppnås eftersom detta inträffar redan efter 40 sekunder.

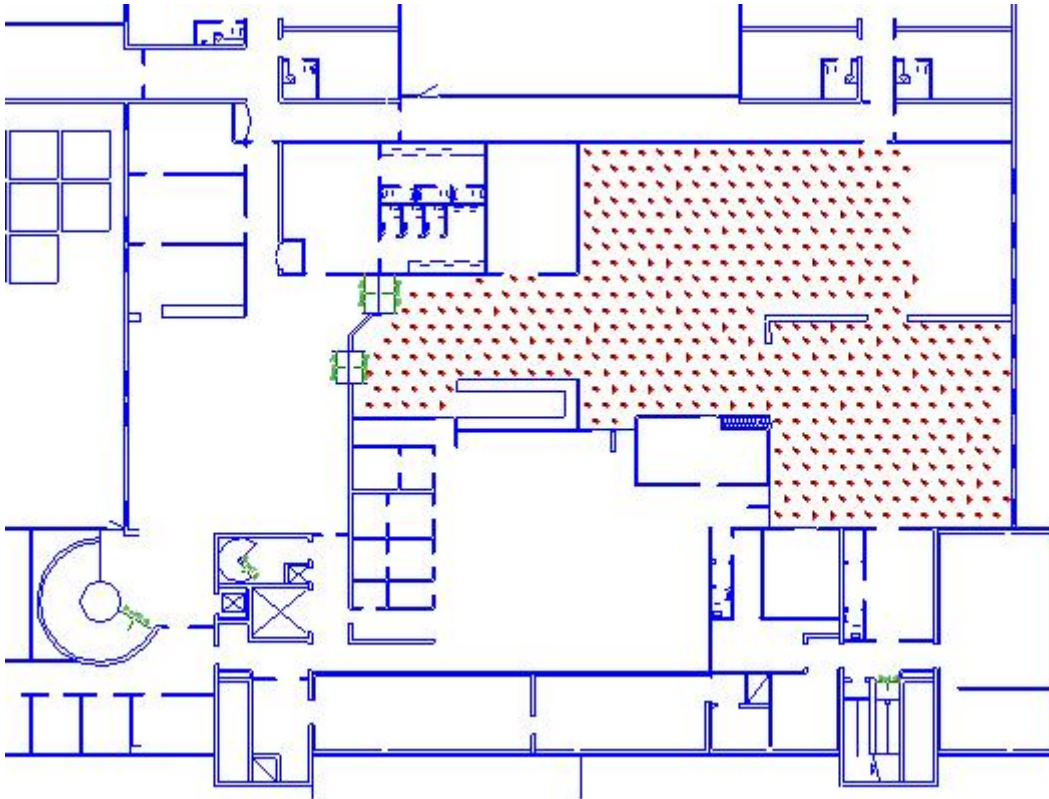
8.3 Simulering av utrymning

8.3.1 Förutsättningar

En svårighet i det här scenariot är att veta vad som händer när huvudingången inte kan användas som utrymningsväg. Normalt sett använder huvuddelen av de personer som befinner sig i okända lokaler samma väg för att ta sig ut som de kom in genom vid utrymning (LTH, 2002). Det finns risk för att många börjar gå mot stora trappan för att sedan tvingas vända och möta en stor folkmassa som fortfarande är på väg mot trappan. Detta kan inte simuleras på något bra sätt i Simulex, varför utrymningstiden därifrån kan vara för kort.

Om branddörrarna ovanför trappan är stängda uppkommer inte kritiska förhållanden i receptionen eller övriga delar av hotellet och de människor som vistas där kan troligen utrymma säkert. Om däremot branddörrarna är uppställda eller öppnas av personer som kommer fram till trappan och sedan vänder kan brandgaser sprida sig in i lokalen.

Vid brand i garderoben är risken överhängande att huvudingången till hotellet (stora trappan) blir oanvändbar. Simuleringen tar ingen hänsyn till att många egentligen skulle ha gått till stora trappan och blivit tvungna att vända där och möta en stor folkmassa på väg mot trappan.



Figur 7: Bild från Simulex med 500 personer jämnt fördelade över samlingslokalen. Det tomma området till höger i figuren är där scenen är placerad.

8.3.2 Varseblivningstid

Eftersom garderoben är bemannad då den används, och det finns larmknappar i garderoben och entrén, antas varseblivningstiden vara så kort att den försummas vid simuleringen.

8.3.3 Utrymning av samlingslokal vid brand i garderob

Resultaten från CFAST visar att kritiska förhållanden i trapphuset uppstår efter mindre än 40 sekunder, vilket är mycket mindre än besluts- och reaktionstiden som använts i Simulex. Om utrymningen kan ske säkert beror då helt på branddörrarnas funktion. Utrymningstiderna från Simulex visar att utrymningen tar minst 405 sekunder innan alla har lämnat övervåningen och minst 461 sekunder innan alla har lämnat byggnaden. Om branddörrarna inte hålls stängda kan detta få katastrofala följder.

8.3.4 Känslighetsanalys

Simuleringar gjordes med olika fördelningar mellan utgångarna för att ta hänsyn till personalens åtgärder och att vissa vänder då kö bildas. Den simulering som gav den kortaste utrymningstiden gav då 405 sekunder tills alla hade lämnat övervåningen och 461 sekunder tills alla hade lämnat byggnaden. Den längsta utrymningstid som erhöles var 565 sekunder tills övervåningen var tom.

8.4 1-zonsberäkning för garderoben

8.4.1 Beskrivning

I en situation då garderoben är full bestäms siktförhållandena i garderob, entrélokal och trapphus. Dessutom adderas volymen för lobby och samlingslokal till trapphusets volym och sikten beräknas då rök tillåts sprida sig även till dessa lokaler. Från *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (NFPA, 1988) hämtas rökpotentialen för en uppskattad, komplex sammansättning av material. Massan jackor antas uppgå till 400 kg. Beräkningarna förutsätter väl omblandade förhållanden i samtliga lokaler.

8.4.2 Motivering

Ett 2-zonsscenario innebär att brandgaserna samlas i ett skikt i taket. Ju mer rök som produceras, desto mer växer brandgaslaget i riktning mot golvet. Detta kräver en kontinuerlig värmeöverföring från förbränningszonen så att brandgasernas termiska stigningskraft bibehålls. Uppstår en brand i garderoben kan en omfattande brandspridning ske upp till lobby och samlingslokal om dörren mellan trapphuset och lobbyn inte stänger. Eftersom brandgaserna färdas långt från brandkällan minskar den termiska stigningskraften då temperaturen sjunker. Följden blir att röken sjunker och antas fördelas jämnt i hela rumsvolymen.

8.4.3 Resultat

Då dörren till receptionen är stängd blir sikten i trappan mycket dålig. Dessa beräkningar visar på så bra sikt som 6 meter då dörren är öppen. Detta är dock tveksamt eftersom beräkningarna antar att brandgaserna sprids jämnt i hela volymen. I verkligheten borde de dock vara tätare nära trappan och mycket tunna längre bort i samlingslokalen. Observeras bör ändå att en sikt på 6 meter är under kriteriet för kritiska förhållanden.

8.5 Slutsats

Vad som framför allt krävs för att säkert kunna utrymma samlingslokalen vid brand i garderoben är att personalen alltid ser till att ingenting hindrar branddörrarna mellan receptionen och trapphuset från att stängas.

8.6 Diskussion kring åtgärdsförslag

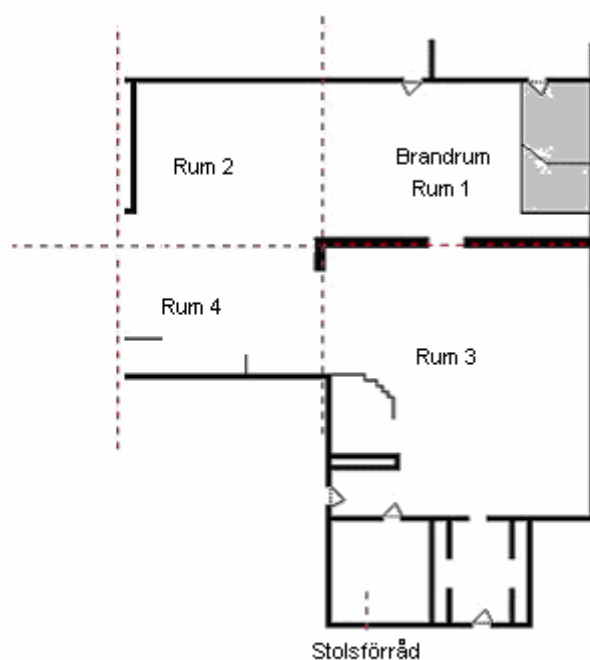
Det är inte särskilt lämpligt att ha klädstänger i två höjdnivåer. Det är olämpligt både med tanke på spridningsrisk och på tillväxthastighet (se kapitel 8.1). Problemet med att ha garderoben direkt i entrén är att utrymningsväg och brandrum hamnar i samma brandcell. Det är en klar nackdel att just trappan från entrén blockeras, eftersom det är via den som alla gäster kommit in och antagligen söker sig till i en nödsituation. Krav ställs på personal att upplysa om övriga utrymningsvägar och leda gästerna åt rätt håll.

Trappan utgör en viktig utrymningsväg och börjar det brinna i garderoben är den troligtvis obrukbar kort tid efter initiering. En åtgärd som skulle kunna förbättra förhållandena i trappan i händelse av brand är att brandtekniskt avskilja garderoben från trappan.

9 Brandscenario 3 - Scen

9.1 Bakgrund angående scenscenariot

I samlingslokalen som är avsedd för 500 personer står en scen som används för diverse uppträdanden. Scenen, som är placerad vid en nödutgång, är till stor del tillverkad av trä och 40 cm hög. Scenen har både träben och aluminiumben med ett bärverk undertill och är konstruerad på ett sådant sätt att föremål kan kastas in under scenen. Scenariot är att en brand utbryter under scenen då det är 500 personer i lokalen. Bärverket under scenen är utformat så att ett brandgaslager kan bildas under scenen innan brandgaser börjar strömma ut. Branden kommer således kunna fortgå ett tag innan den detekteras.



Figur 8: Scenscenariet. Scenen är det gråmarkerade området.



Figur 9: Scenen i samlingslokalen.

9.2 Simulering – CFAST

9.2.1 Förutsättningar

Scenen är placerad ungefär 20 cm från en vägg med fönster. Vid en brand under scenen kommer brandgaser och flammor passera fönstren så pass nära att dessa antas gå sönder på grund av hög temperatur. Här antas att fönstren går sönder vid 350 °C. Simulering visade att det tar ungefär 300 sekunder. Fönstren skulle kunna gå sönder tidigare på grund av direktkontakt med lågorna, men då syretillgången är så stor i lokalen är inte detta av avgörande betydelse. Nedan redovisas resultat för simuleringen då två fönster gick sönder efter 300 sekunder.

9.2.2 Resultat från CFAST

Efter simulering i CFAST framgick att brandgaslagrets höjd når kritiska förhållanden efter 440 sekunder. Dock hade strålningen i den del av samlingslokalen där scenen står överskridit gränsen redan efter 350 sekunder. Det verkar dock rimligt att personerna hunnit lämna den delen av samlingslokalen efter 350 sekunder, vilket styrks av simulering i Simulex. På grund av detta används tiden 440 sekunder som den tid det tar till att kritiska förhållanden uppstår. CFAST är en tvåzonsmodell och tvåzonsmodeller bygger på att det undre lagret är fritt från rök, därför behandlas inte sikten här.

	Simulerat värde	Gränsvärde för kritiska förhållanden
Temperatur	27 °C	80 °C
Strålning i brandrum	3,8 kW/m ²	2,5 kW/m ²
Högsta strålning i övriga samlingslokalen	1,2 kW/m ²	2,5 kW/m ²
Brandgaslagrets höjd	1,9 m	1,9 m
CO ₂	4,3 vikt%	5,0 vikt%
CO	1300 ppm	2000 ppm
O ₂	18,6 vikt%	15,0 vikt%

Tabell 3: Värden från CFAST efter 440 sekunder, då kritiska förhållanden uppstår, samt gränsvärden för kritiska förhållanden.

9.2.3 Känslighetsanalys

För att se om små ändringar av vissa parametrar ledde till stora förändringar i utdata från simuleringarna gjordes flertalet försök. Här ändrades antalet fönster som gick sönder samt tiden då detta hände. Resultaten användes som underlag för att ta fram det presenterade scenariet.

9.3 Simulering av utrymning

9.3.1 Förutsättningar

I detta scenario antas utrymningsvägen precis bredvid scenen vara blockerad, utom under den allra första delen av utrymningen.

9.3.2 Varseblivningstid

I det här scenariot antar vi att en del brandgaser kan samlas under scenen innan de sprider sig utåt och uppåt. Detta gör att det tar en stund innan branden upptäcks, trots att det finns personer precis i närheten. Detektions-/varseblivningstiden sätts därför till 60 sekunder baserat på försöket som genomfördes (redovisas i bilaga III-I).

9.3.3 Besluts- och reaktionstid

Värdena baseras på *Utrymningsdimensionering* (Boverket, 2004). För nattklubbsgäster anges där 3-5 min beroende på typ av larm och organisation. Då den information som erhållits pekar på att organisationen fungerar bra antas ett lågt värde, 195 ± 15 sekunder. Dock är osäkerheterna stora, så simuleringar görs också med en besluts- och reaktionstid på 195 ± 60 sekunder. För sovande står inget mer än att man bör anta ett högre värde. Här har antagits 105 ± 90 sekunder baserat på uppgifter från räddningstjänsten (se kapitel 7.3.1). Simuleringar görs både med och utan sovande gäster, och dessa visar att de sovande inte påverkar den totala utrymningstiden.

9.3.4 Utrymning

Simuleringarna i CFAST ger en tid till kritiska förhållanden som är 440 sekunder, vilket kan jämföras med varseblivningstiden och utrymningstiden från Simulex som tillsammans är 420 sekunder i den simulering som gav den kortaste tiden tills övervakningen var tömd. Att uppnå denna tid kräver att personalens åtgärder är optimala. Dock är marginalen endast 20 sekunder samtidigt som osäkerheterna är stora. Resultatet skall därför inte ses som en garanti

för att lokalen är säker i det här scenariot. Personalens agerande har stor betydelse för om utrymningen kan avslutas innan kritiska förhållanden uppstår, dels kan den påverka besluts- och reaktionstiden genom att ge tydliga instruktioner, och dels kan den påverka förflyttningstiden genom att se till att köbildning undviks.

9.3.5 Känslighetsanalys

Flera simuleringar har gjorts med olika fördelningar av hur många som använder de olika utgångarna och olika besluts- och reaktionstider. Det bästa resultatet blev 360 sekunder tills övervakningen var tömd och det sämsta resultatet var 405 sekunder.

9.4 Diskussion och slutsatser

Om träet i samlingslokalen behålls kommer en eventuell brand i väggarna att få en snabbare effektutveckling än den som använts i detta scenario och ge kritiska förhållanden tidigare. Ett stort problem med mycket brännbart material på väggar och tak är att en brand som inte släcks i ett tidigt skede kan komma att bli mycket kraftig. I lokaler av denna storlek kan då räddningstjänsten få svårt att släcka branden vilket kan innebära att hela fastigheten brinner ner med stor risk för personskador. Detta kan inte accepteras i denna byggnad, vilket gör att träyttskikt inte heller kan accepteras. Man kan inte heller tillåta fler människor än 500 i samlingslokalen. Även om scenen byggs om så att risken för brand där minskar finns annat i lokalen som kan brinna, till exempel stolar med skumplaststoppning. En sådan brand kan ge kritiska förhållanden lika snabbt som har visats i detta scenario, dock med mindre risk för att branden blir mycket stor.

9.5 Förslag på åtgärder

- Hotellet *skall* kunna uppvisa intyg att alla yttskikt i samlingslokalen är av minst klass 1.
- Scenen *bör* bytas ut eller byggas om så att risken för brand under scenen reduceras.

10 Brandscenario 4 - Stolsförråd

10.1 Bakgrund

I anslutning till samlingslokalen finns ett mindre rum som har dimensionerna 3,68*4,33*2,50 m³ och en dörr med måtten 0,83*2,05 m² placerad i den längre väggen. Detta rum används som förråd för extra stolar och eventuellt även bord då de inte används i restaurangen t ex vid större evenemang typ liveframträdanden etc. Antalet stolar i rummet varierar förmodligen kraftigt. Vid objektsbesöket var större delen av borden och stolarna utställda i samlingslokalen, men detta är med all sannolikhet inte fallet på en fredag eller lördag kväll när lokalen används som nattklubb. Vid besöket var rummet knappt fyllt till en fjärdedel och det innehöll redan då ca 90 stolar av modell stoppad trästol. Sannolikt kan rummet innehålla uppemot 300 stolar på en festkväll. Det finns inga naturliga tändkällor i rummet, men då dörren saknar lås kan en anlagd brand vara tänkbar.

10.2 Risken

Den stora risken med en brand i ett utrymme som detta är att branden ganska lätt kan få fäste i den porösa stopningen på stolarna. Det krävs inte mycket mer än en cigarettfimp eller en tändsticka för att det skall ta sig. Vid inspektion av stolarna i restaurangen upptäcktes bland annat stolen på i figur 10. Risken för övertändning är stor om dörren är öppen, men är dörren stängd kommer branden snabbt bli ventilationskontrollerad med risk för backdraft eller brandgasexplosion om dörren öppnas. Effektutvecklingen i rummet kan om bränslet är tillräckligt växa till 3,7 MW (beräknat med formel 6.27 i (Karlsson & Quintiere, 2002)) om dörren är helt öppen, och i detta fall är risken för spridning av branden genom dörren överhängande. Maxeffekten begränsas då av luftflödet in i rummet.



Figur 30: Brännmärke i stol.

10.3 Detektion

Det brännbara material som finns i stolsförrådet är trä, någon form av skumplaststoppning som antas vara polyuretan samt textilmaterial. Samtliga bildar stora mängder sot. Rummet är försett med rökdetektor som är monterad i taket i mitten av rummet. Denna i kombination med rummets storlek och typ av bränsle gör att detektion av branden sker tidigt.

10.4 Dimensionerande brand

Som dimensionerande brand valdes följande: en stapel om åtta stolar antänds. Denna antänder i sin tur tre andra staplar i relativt snabb följd på grund av lagringsförhållandena. Stolarna i förrådet är trästolar med någon form av skumplaststoppning, den antas vara polyuretan. Effekttutvecklingskurvan valdes ur Initial Fires (Särdqvist, 1993) och den kurva som valdes var Y5.0/17. Kurvan adderades med sig själv tre gånger med tidsförskjutning för att simulera antändningen av ytterligare tre staplar. Erhållen effekttutvecklingskurva visas i diagram 5 nedan. Det bör dock beaktas att effekttutvecklingskurvan är för en fritt brinnande brand och att en sådan brand i ett begränsat utrymme av stolsförrådets dimensioner tidigt kommer att gå till övertändning.

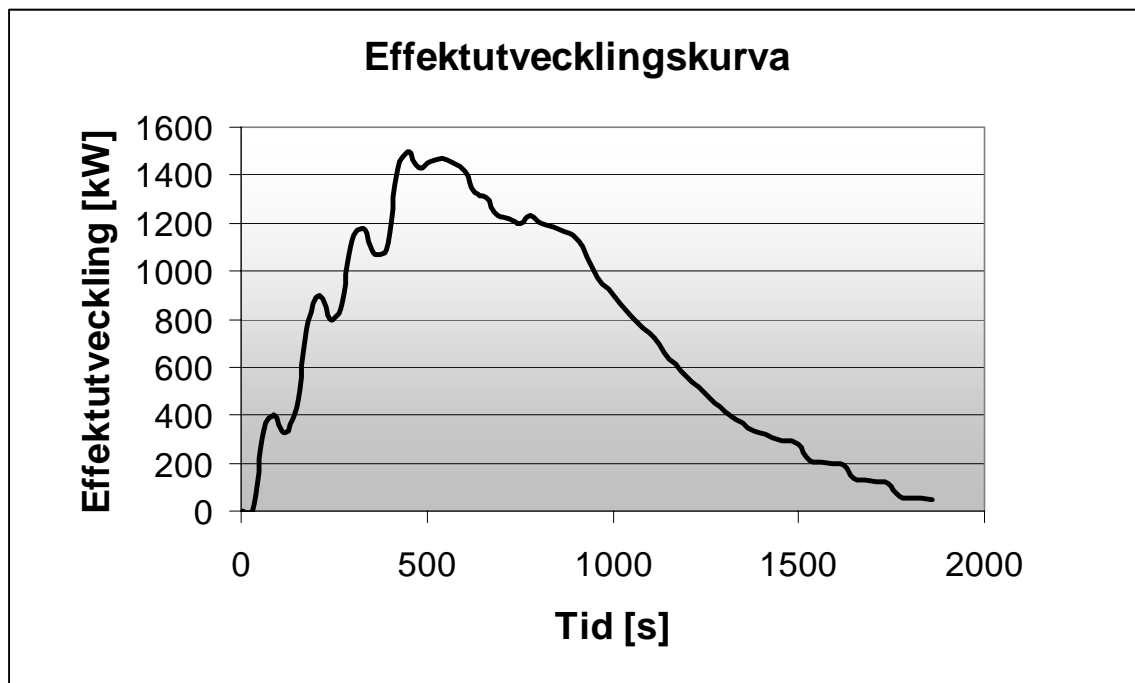


Diagram 5: Effektkurva, stolsförrådet.

10.5 Resultat av simuleringar:

Flertalet simuleringsförsök genomfördes för att fastställa uppbyggnaden av de faktorer som kan ge kritiska förhållanden. Samtliga simuleringar där dörren var öppen eller öppnades gick till övertändning och simuleringarna avslutades då detta inträffat då CFAST inte ger tillförlitliga värden efter övertändning. Tabell 4 visar förhållandena i rummet utanför stolsförrådet efter 80 s i en simulering där dörren är öppen under hela brandförloppet. I de simuleringar där dörren var stängd under det tidiga brandförloppet uppstod kritiska förhållanden ca 20-30 sekunder efter att dörren öppnades.

	Simulerat värde	Gränsvärde för kritiska förhållanden
Temperatur	20 °C	80 °C
Strålning	1,0 kW/m ²	2,5 kW/m ²
Brandgaslagrets höjd	1,85 m	1,85 m
CO ₂	0,7 vikt%	5,0 vikt%
CO	200 ppm	2000 ppm
O ₂	20,2 vikt%	15,0 vikt%

Tabell 4: Värdena är för rummet utanför stolsförrådet efter 80 s. Dörren är öppen under hela brandförloppet.

10.6 Utrymning av samlingslokalen

I detta scenario är tiden till att kritiska förhållanden uppstår mycket kort. Då dörren är öppen från början är tiden bara 80 sekunder. Om dörren öppnas efter 100 sekunder uppstår kritiska förhållanden 20 sekunder senare. Under dessa förutsättningar finns ingen möjlighet att utrymma samlingslokalen i tid. Om dörren däremot hålls stängd så länge utrymningen pågår uppstår inte kritiska förhållanden i samlingslokalen.

10.7 Slutsats angående stolsförrådet

En brand i stolsförrådet kan få mycket allvarliga konsekvenser. Dock finns det ett enkelt sätt att ta bort den risken. I stolsförrådet finns inga troliga tändkällor, utan den troligaste brandorsaken är anlagd brand. Risken för det försvinner om ett dörrlås installeras. Om en brand ändå startar i stolsförrådet elimineras då också risken för att någon öppnar dörren så att flammor och brandgaser kan spridas ut i samlingslokalen. Installation av dörrlås är alltså en enkel och billig åtgärd som kraftigt reducerar både risk och konsekvenser.

10.8 Förslag på åtgärder

- Dörren till stolsförrådet *skall* förses med ett lås och hållas stängd och låst då det är verksamhet i samlingslokalen.

11 Förslag på förbättringar

För att lättare få en överblick över alla föreslagna åtgärder som presenterats i rapporten samlas de i ett eget kapitel. Först presenteras de åtgärder som skall genomföras, sedan de åtgärder som bör genomföras.

11.1 Åtgärder som *skall* genomföras

- Varje hotellrum *skall* vara brandtekniskt avskilt från andra utrymmen.
- Rökdetektorer *skall* installeras i varje hotellrum.
- Garderoben *skall* brandtekniskt avskiljas från trapphuset.
- Dörren till stolsförrådet *skall* förses med ett lås och hållas stängd och låst då det är verksamhet i samlingslokalen.
- Dåliga genomföringar i brandcellsgränser *skall* åtgärdas.
- Samtliga brandcellsgränser *skall* ses över för att säkerställa deras funktion.
- Minst en av följande åtgärder *skall* genomföras:
 1. Installation av brandgasfläktar i till- och frånluftsystem.
 2. Installation av brandgasspjäll i till- och frånluftkanaler vid samtliga hotellrum.
 3. Installation av brandgasspjäll i tilluftkanalerna vid varje hotellrum samt installation av brandgasfläkt i frånluftsystemets avluftningskanal.
 4. Konvertering av tilluftsystemet till frånluft vid brand.
 5. Ökning av ventilationsflödena vid brand.
- Hotellet *skall* kunna uppvisa intyg att alla ytskikt i samlingslokalen är av minst klass 1.
- Dörrar i utrymningsvägar *skall* ses över och åtgärdas så att möjlighet till återinträde ges där detta saknas.
- Möbler och andra lösa föremål *skall* flyttas så de inte står i utrymningsvägar.
- Aktuella nycklar till byggnaden och delar av byggnaden *skall* göras tillgängliga för räddningstjänsten.

11.2 Åtgärder som *bör* genomföras

- Utrymningslarmets ljudnivå inne i hotellrummen *bör* kontrolleras och åtgärdas om det visar sig att den understiger 75 dB vid sängens huvudände (SBF, 2001).
- Befintliga rökdetektorer i korridorerna *bör* kompletteras med rökdetektorer ovan innertak.
- Scenen *bör* bytas ut eller byggas om så att risken för en brand under scenen reduceras.

12 Slutsats

Av de fyra brandscenarier som har granskats noggrannare i den här rapporten leder tre av dessa till kritiska förhållanden innan personerna i byggnaden hinner utrymma. Scenariot med garderobsbranden leder inte till kritiska förhållanden för de personer som vistas i samlingslokalen om de befintliga brandtekniska installationerna fungerar tillfredsställande. Dock leder garderobsbranden snabbt till kritiska förhållanden för dem som vistas i och utanför garderoben samt för dem som befinner sig i trappan mellan garderoben och samlingslokalen.

Sammanfattningsvis finns ett behov av förbättringar kring personsäkerheten vid utrymning av Plus-husets hotellplan. Följs de förslag på förbättringar som givits i denna rapport kommer personsäkerheten förbättras avsevärt. Vad gäller hotellrummen kommer hotellets övriga gäster kunna utrymma säkert innan kritiska förhållanden uppstår. Garderobens placering är dålig då den ligger i samma brandcell som den största utrymningsvägen från samlingslokalen, vilken blir blockerad vid brand i garderoben. För att kunna säkerställa personsäkerheten måste garderoben avskiljas från trapphuset. En brand i stolsförrådet i dag kan få mycket allvarliga konsekvenser, vilket leder till kravet att dörrlås skall installeras. Detta är en mycket kostnadseffektiv åtgärd både för att minska risken för brand och för att minska konsekvenserna av en brand. Vid brand i samlingslokalen är det svårt att säga hur mycket säkrare det blir när de föreslagna åtgärderna är genomförda, men författarnas åsikt är att säkerheten i lokalen då blir tillräcklig för att man ska kunna tillåta de 500 personer som får vistas där i dag. Utan åtgärder bör det maximala personantalet i lokalen begränsas ytterligare.

Författarna av denna rapport anser inte att önskemålet om att utöka antalet besökande i samlingslokalen kan beviljas. Detta baseras på dagens bestämmelser angående samlingslokaler i BR 1-byggnader, och att denna rapport visar att säkerheten är för dålig för de 500 personer som får vistas i samlingslokalen i dag. För att kunna utöka antalet besökare krävs ytterligare åtgärder. Till exempel kan man undersöka vilken verkan sprinkler skulle ha.

På grund av de begränsningar som finns i CFAST rekommenderar författarna också att en ytterligare utvärdering med hjälp av CFD-modellering utförs.

Litteraturförteckning

Boverket, 2002, **Boverkets byggregler, BBR 2002:19**, www.boverket.se, hämtad 2004-11-30

Boverket, 2004, **Utrymningsdimensionering**, Boverket

LTH, 2002, **Brandskyddshandboken, rapport 3117**, LTH, Lund

Crowd Dynamics, 2004, **Myriad and Simulex**,
<http://www.crowddynamics.com/Egress/simulex.html>, Crowd Dynamics, hämtat 2004-11-21

IES, 2002, **Simulex**, <http://www.ies4d.com>, IES, hämtat 2004-11-21

Johansson B., 2004, **Analys av utrymnings säkerheten vid brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå, rapport 5135**, LTH, Lund

Karlsson B., Quintiere J. G., 2002, **Enclosure Fire Dynamics**, CRC

Quintiere J.G., 1999, *Fundamentals of Enclosure Fire "Zone" Models*, **Journal of Fire Protection Engineering**, vol 1 -99

Reneke P.A., Peatross M.J., Jones W.W., Beyler C.L., Richards R., 2001, *A Comparison of CFAST Predictions to USCG Real-Scale Fire Tests*, **Journal of Fire Protection Engineering**, Feb 2001

SBF (Svenska Brandförsvarsföreningen), 2001, **Regler för automatisk brandlarm anläggning, RUS 110:6**

Särdqvist S., 1993, **Initial Fires**, Lunds Universitet, Lund

Bilaga I: Brandscenario 1 – Hotellrum

I-I Handberäkning av möjlig maximal effektutveckling

Två sätt har använts för att kontrollera beräkningarna av effektutvecklingen med avseende på ventilationsförhållandena. båda finns i kapitel 6 i *Enclosure Fire Dynamics* (Karlsson & Quintiere, 2002).

I-I.I Beräkningsmetod 1

Ekvation 6.27

$$\dot{Q} = 0,09 * A_0 * \sqrt{H_0} * \Delta H_{\text{eff, wood}}$$

Där : \dot{Q} = maximala effektutvecklingen

A_0 = Öppningsarea

H_0 = Öppnings höjden

$\Delta H_{\text{eff, wood}}$ = effektiva förbränningsvärdet för trä = 17 MJ/kg

Konstanten 0,09 är avvägd för att $\Delta H_{\text{eff, wood}}$ skall användas.

Indata

$$A_0 = 1,1 \text{ m} * 1,2 \text{ m} = 1,32 \text{ m}^2$$

$$H_0 = 1,2 \text{ m}$$

$$\Delta H_{\text{eff, wood}} = 17 \text{ MJ/kg}$$

Resultat

$$\dot{Q} = 0,09 * 1,32 * \sqrt{1,2} * 17 \approx 2,2 \text{ MW}$$

I-I.II Beräkningsmetod 2

Fönstrets höjd: $H = 1,2 \text{ m}$

$$\text{Fönsterarea: } A_w = 1,1 * 1,2 \text{ m}^2 = 1,32 \text{ m}^2$$

$$\text{Massflöde luft: } \dot{m}_{\text{luft}} = 0,5 * A_w * H^{1/2} \text{ kg/s} = 0,5 * 1,32 * \sqrt{1,2} \text{ kg/s} = 0,72 \text{ kg/s}$$

Molmassa luft:

$$M_{\text{luft}} = (0,21 * M_{\text{O}_2} + 0,79 * M_{\text{N}_2}) \text{ kg/kmol} = (0,21 * 32 + 0,79 * 28) \text{ kg/kmol} = 28,84 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Mass\% syre: } m\%_{\text{O}_2} = \frac{0,21 * 32}{28,84} = 0,23$$

$$\text{Massflöde syre: } \dot{m}_{\text{O}_2} = 0,23 * 0,72 \text{ kg/s} = 0,166 \text{ kg/s}$$

$$\text{Maxeffekt: } \dot{Q}_{\text{max}} = 0,166 \text{ kg/s} * 13,1 \text{ MJ/kg}_{\text{O}_2} = 2,17 \text{ MW}$$

I-II Resultat från simulering i CFAST

Kriterierna för att en tvåzonsmodell ska ge bra värden uppfylls (se kapitel 4.1.1):

$$L/W = 1,68 \quad L/H = 2,23 \quad 5 \times L \times W \times H1/2 = 130 \quad Q = 1100 \text{ kW}$$

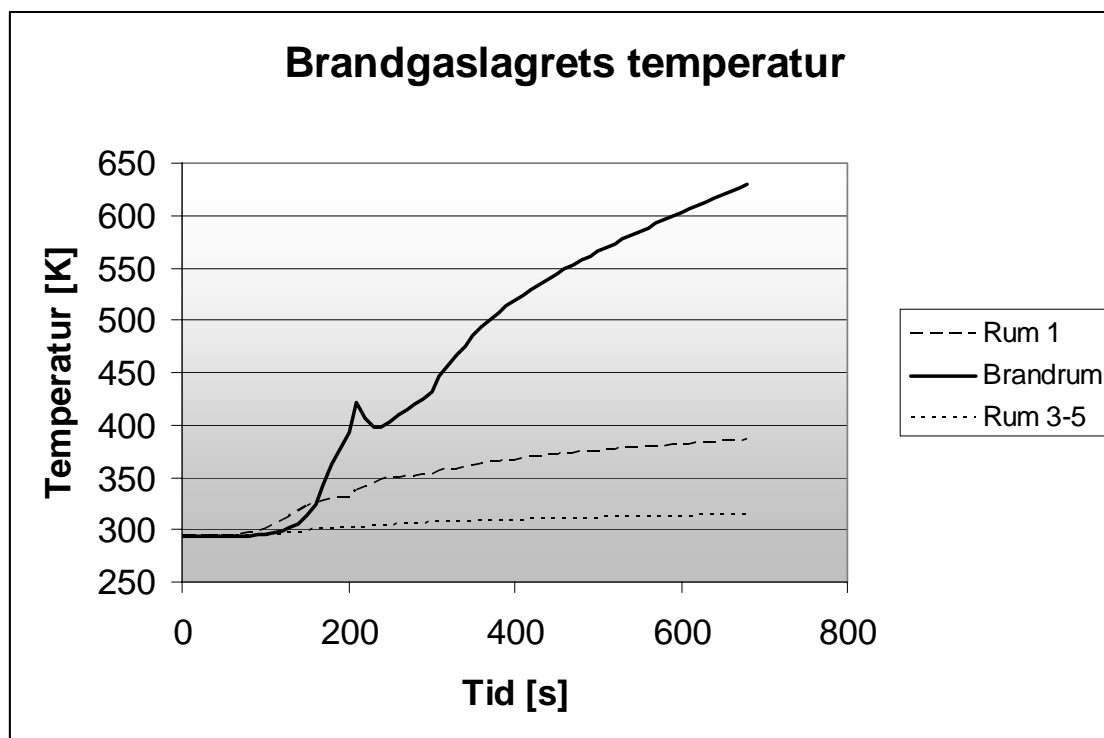


Diagram 6: Brandgaslagrets temperatur, hotellrumsscenarioet

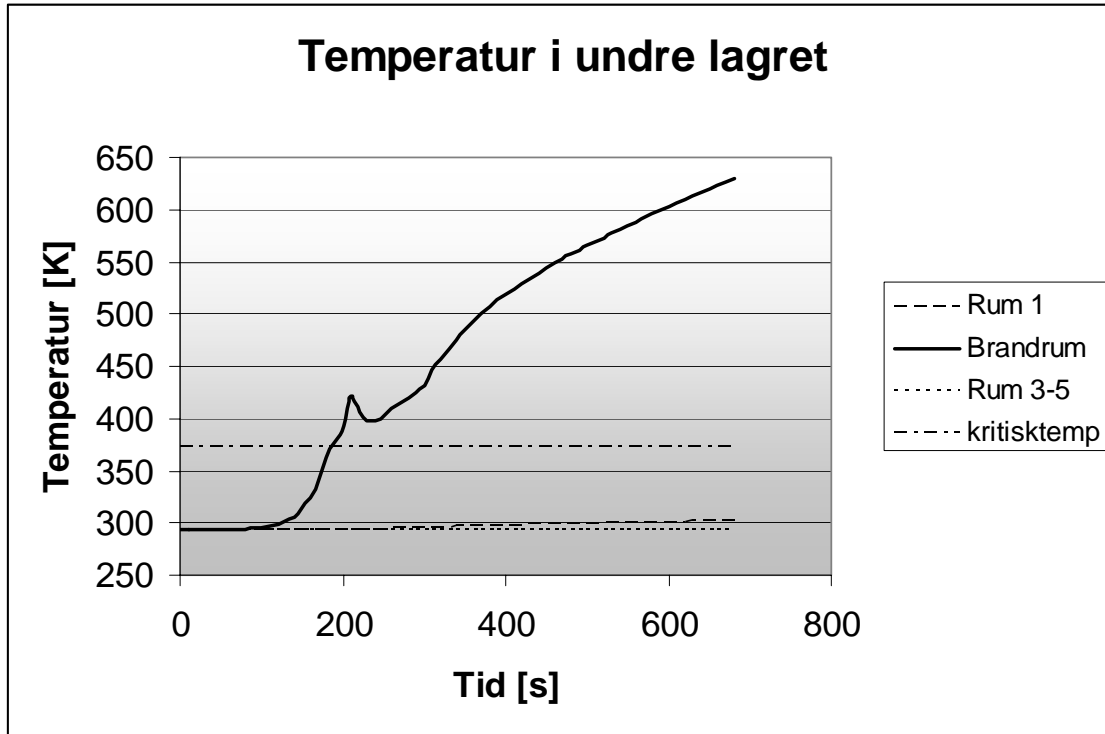


Diagram 7: Temperatur i undre lagret, hotellrumsscenarioet

Bilaga II: Brandscenario 2 - Garderob

II-1 Utdrag ur Johansson (2004)

Utdrag ur ett examensarbete av Björn Johansson som har använts som underlag vid simulering av scenariot med garderobsbranden. (Johansson, 2004)

Sammanfattning på svenska

Syftet med denna rapport är att analysera utrymningssäkerheten i händelse av brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå. Utgångspunkten för analysen är att lokalen skall vara utrymd innan kritiska förhållanden råder i lokalen. Om så sker är utrymningssäkerheten att betrakta som tillfredställande.

Tre dimensionerande brandscenarier valdes ut efter en analys av bl.a. statistik rörande bränder i nattklubbar och sannolikhet och konsekvens för aktuella brandscenarier. De brandscenarier som valdes var:

Brand i träkonstruktion belägen i ett angränsande rum (slussen).

Brand i garderoben.

Brand i discjockeyutrustning.

Brändernas effektutveckling togs fram genom egna försök i skala 1:1 ute på Räddningsverkets skola i Revinge. Särskilt garderobsbranden var intressant att skåda då den snabba tillväxthastigheten (4 MW efter ca 90 sekunder) förvånade samtliga som var närvarande. Effektutvecklingskurvan för brand i garderob innehållande 105 jackor av skiftande slag ser ut på följande sätt:

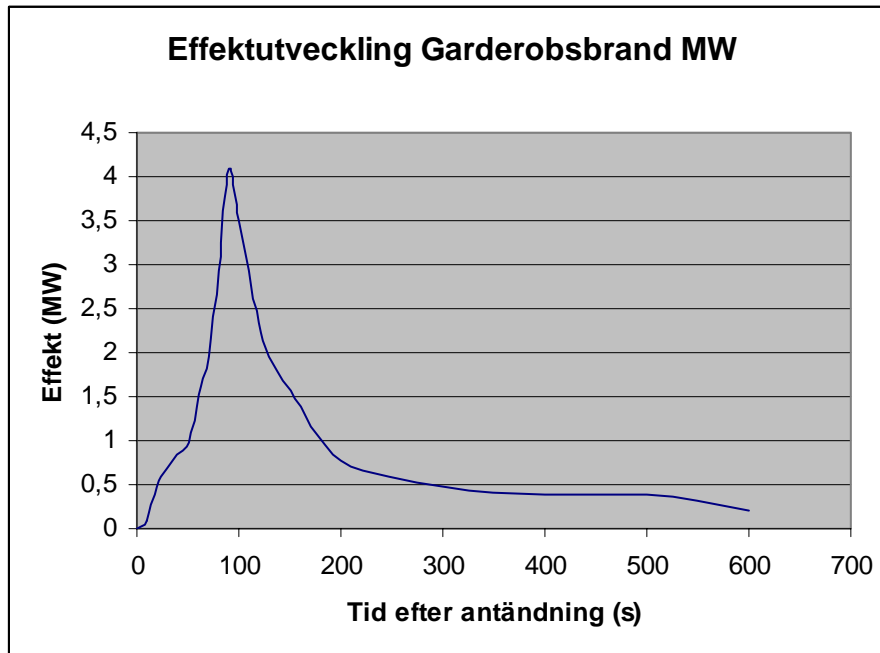


Diagram 8: Effektkurva från Johanssons försök, 105 jackor.

Försöken finns på film och kan erhållas på Brandtekniks hemsida (www.brand.lth.se) eller av författaren till denna rapport. Rapporten innehåller också en effektutvecklingskurva för en

brand i en garderob innehållande 300 jackor. Denna kurva baseras på 105-jackorskurvan. Läsaren uppmanas att läsa de kapitel som behandlar försöken i skala 1:1 ute på Revinge samt framtagandet av effektutvecklingskurvorna. Risken finns annars att kurvorna kommer att användas i ett felaktigt sammanhang.

De dimensionerande brandförloppen analyserades sedan i CFD-modellen FDS3. De parametrar som undersöktes var temperatur, siktförhållanden och kolmonoxidhalt.

Utrymningsförloppen för de olika brandscenerierna simulerades i programmet SIMULEX.

En jämförelse mellan simuleringarna av brandförloppen i FDS3 och utrymningssimuleringarna visar med all önskvärd tydlighet att kritiska förhållanden uppstår i lokalen innan alla gästerna har hunnit utrymma i händelse av brand i garderoben. Ca 200 gäster är kvar i lokalen när brandgaslagret når golvet med extremt dålig sikt som följd. De kvarvarande kommer således att få utrymma lokalen i följande miljö: ca 50°C varm, ca1000 ppm: s CO-koncentration samt obefintlig sikt. Utrymnings säkerheten är således **ej** att betrakta som tillfredställande.

För att åtgärda ovanstående problem bör garderoben förses med en konstruktion i EI 30 som möjliggör en snabb och tillförlitlig instängning av garderoben i händelse av brand.

II-II Resultat från CFAST

Kriterierna för att en tvåzonsmodell ska ge bra värden uppfylls (se kapitel 4.1.1):

$$L/W = 2,33 \quad L/H = 1,75 \quad 5 \times L \times W \times H1/2 = 210 \text{ kW} \quad Q = 10\,000 \text{ kW}$$

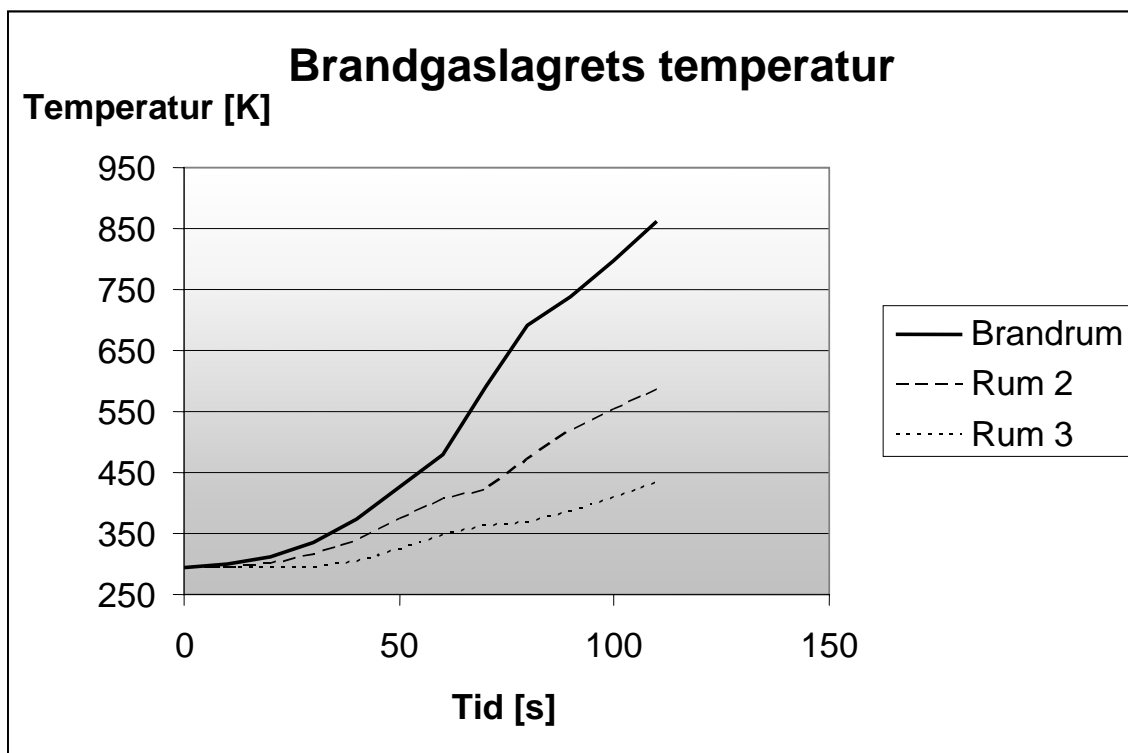


Diagram 9: Brandgaslagrets temperatur, garderobsscenariot

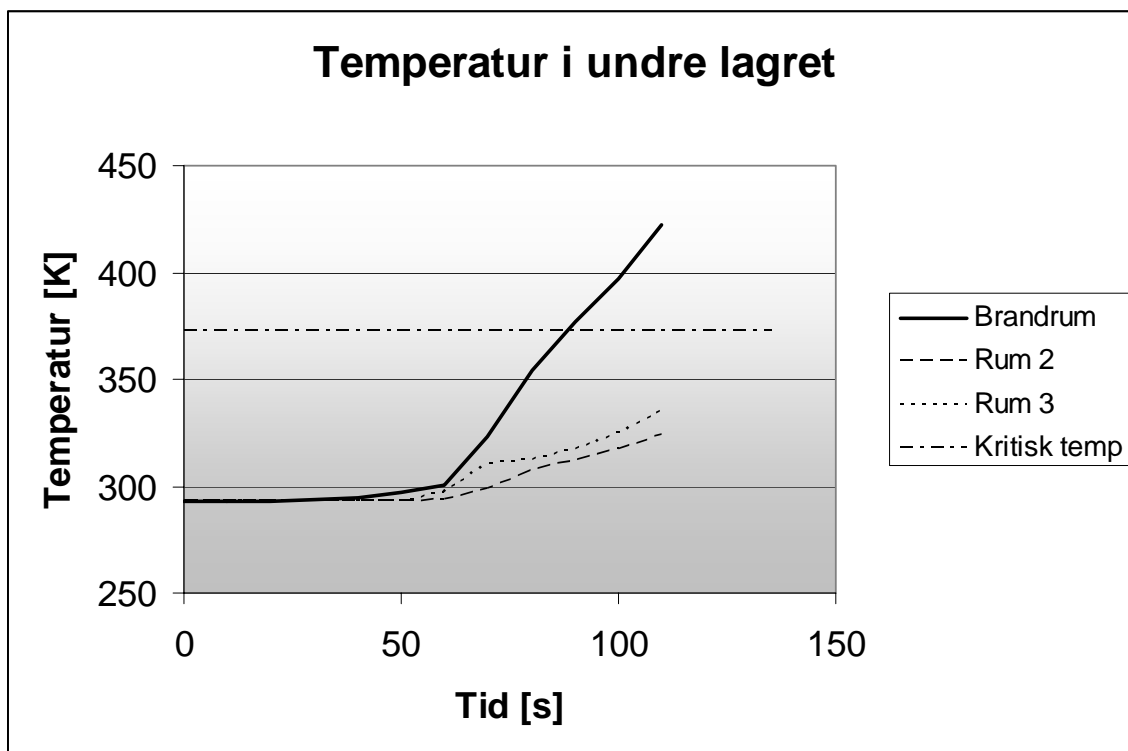


Diagram 10: Undre lagrets temperatur, garderobsscenariot

II-III Handberäkningar för 1-zonsmodell

Sikttnedsättningen 1 obscura (obs) innebär: $D_L = 1 \text{ obs} \Rightarrow 10 \text{ m sikt}$.

$$\text{Siktsträcka } L = \frac{D_{10}}{D_L} \text{ (meter).}$$

L = siktsträcka (meter)

D_{10} = rökpotential (obs m^3/g)

D_L = optisk densitet (obs)

D_m = rökpotential (m^2/g)

Beräkning av siktförsämring i garderob, entré och trapphus till följd av garderobsbranden då omblandade förhållanden antas:

Volym (V_{rum}) $\approx 300 \text{ m}^3$, $D_m \approx 0,3 \text{ m}^2/\text{g} \Rightarrow D_{10} = 3,0 \text{ obs} \cdot \text{m}^3/\text{g}$ och jackornas massa

$m_{\text{jackor}} \approx 400 \text{ kg}$

$$D_L = \frac{D_{10} \cdot m_{\text{jackor}}}{V_{\text{rum}}} = \frac{3 \cdot 400}{300} = 4 \text{ obs} \Rightarrow \text{Sikt i lokal: } L = \frac{D_{10}}{D_L} = \frac{3,0}{4} = 0,75 \text{ m}$$

Beräkning av siktförsämring om dörren mellan lobby och trapphus lämnas öppen så att även lobbyn och samlingslokalen rökfylls:

Volym (V_{rum}) $\approx 2 \cdot 300 \text{ m}^3$, $D_m \approx 0,3 \text{ m}^2/\text{g} \Rightarrow D_{10} = 3,0 \text{ obs} \cdot \text{m}^3/\text{g}$ och jackornas massa

$m_{\text{jackor}} \approx 400 \text{ kg}$

$$D_L = \frac{D_{10} \cdot m_{\text{jackor}}}{V_{\text{rum}}} = \frac{3 \cdot 400}{2300} \approx 0,5 \text{ obs} \Rightarrow \text{Sikt i lokal: } L = \frac{D_{10}}{D_L} = \frac{3}{0,5} = 6 \text{ m}$$

Bilaga III: Brandscenario 3 - Scen

III-I Försök med scenmodell

Inför beräkningarna på brandscenariot i samlingslokalen vid scenen stötte vi på bekymmer. Svårigheten låg i att bilda sig en uppfattning om hur en brand uppför sig då den anlagts under en träscen. För att komma fram till något som speglar verkligheten konstruerade vi en scen i miniatyr och antände den med ett heptanbål i laboratorium. Modellen hade arean 0,8*1,2 m och var 0,4 m hög. Heptanbålet placerades vid ett stödben mitt under scenen. Brandgaserna analyserades för bestämning av effektutveckling och termoelement placerades under scenen i syfte att avslöja temperaturstegringen allteftersom branden tilltog i styrka.



Figur 4: Försöksuppställning för scenbrand

Resultatet av försöket med scenmodellen visade att rökutvecklingen inledningsvis var låg. Efter cirka en minut började undersidan att brinna. Efter två minuter brann det kraftigt undertill och branden börjar även sprida sig ovanför. Därefter tilltog brandintensiteten ytterligare en dryg minut varefter den släcktes.



Figur 5: Brandförsök, scenbrand

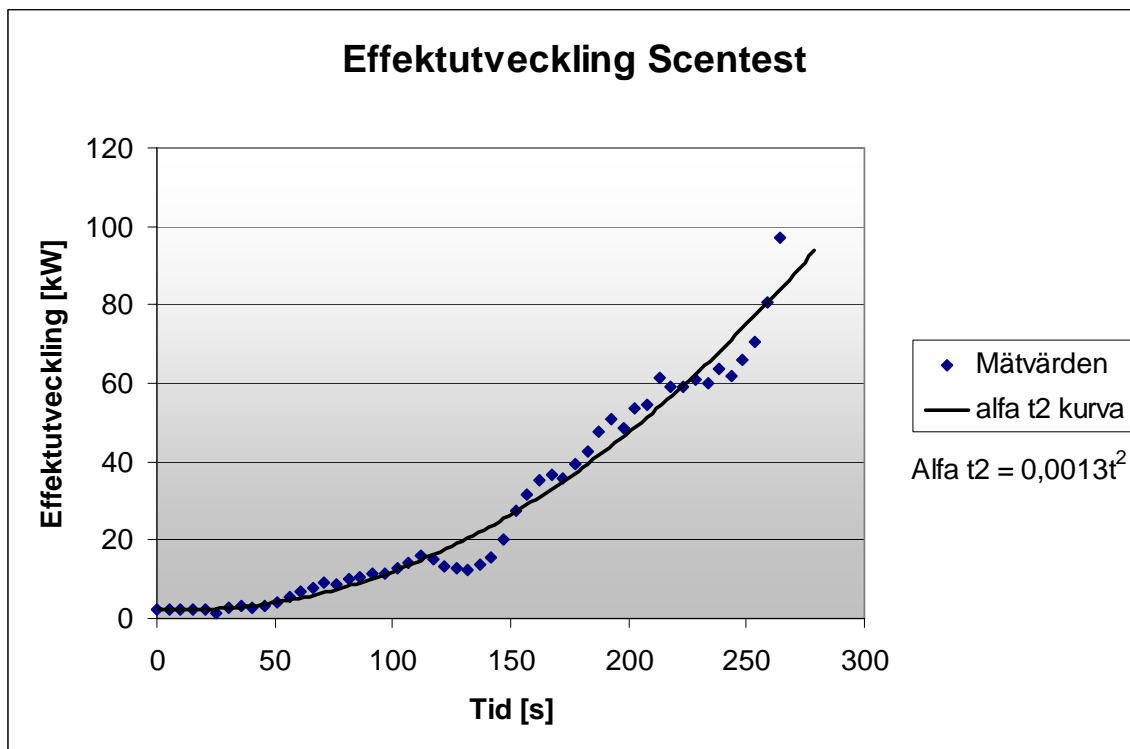


Diagram 51: Effektkurva, scenbrandförsök

Vid användandet av mätvärden från försöket måste man vara försiktig med att dra slutsatser, trots att resultatet från effektkurvan verkar rimligt.

III-II Diskussion

Enligt effektkurvan och visuella observationer framgår tydligt att en eventuell brand under en scen får ett scenario som kännetecknas av en lugn inledning, då det är svårt att detektera branden på grund av svag rökutveckling. Enligt scenmodellen accelererade branden först då hela undersidan pyrolyserar och lågorna letat sig upp över ytterkanten.

På scenen i samlingslokalen skulle förloppet sannolikt bli mer utdraget. En tändkälla vid ett stödben i scenens mitt hade på liknande sätt som i fallet med modellen antänt undersidan. Tiden till dess att lågorna letar sig upp förbi ytterkanten på scenen är dock svårare att bedöma. En längre tillväxtfas innebär att mer brandgaser samlas och värms upp under scenen. Chansen att någon upptäcker branden ökar visserligen med tiden, men har däremot tillräckligt mycket energi ackumulerats i brandgaserna är läget allvarligt. Blir förhållandena plötsligt ideala beträffande temperatur och luftinblandning kan en hastig övertändning ske. Detta skulle vara mycket förödande med tanke på att ytmaterial i tak och väggar domineras av trä.

III-III Övriga simulerade resultat för scenbranden

Zonindelningen i simuleringen gör att kriterierna för att tvåzonsmodellen ska vara användbar uppfylls (se kapitel 4.1.1):

$$L/W = 1,37 \quad L/H = 4 \quad 5 \times L \times W \times H / 2 = 678 \text{ kW} \quad Q = 6\,500 \text{ kW}$$

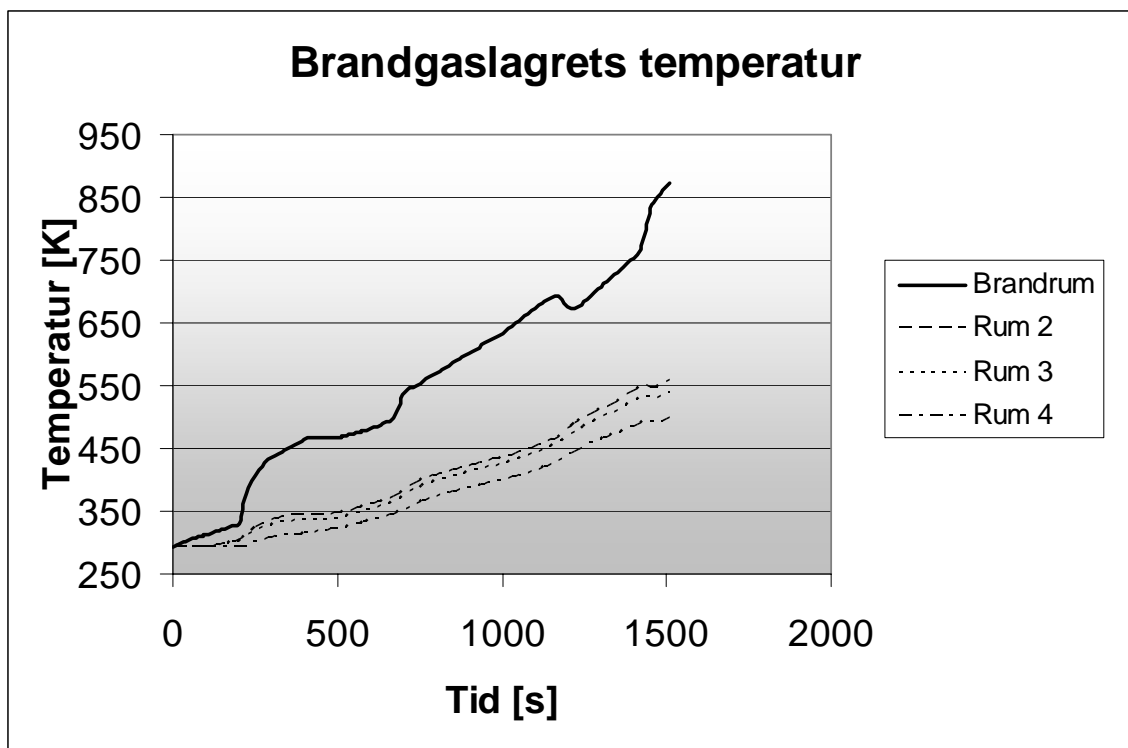


Diagram 62: Brandgaslagrets temperatur, scenscenariot.

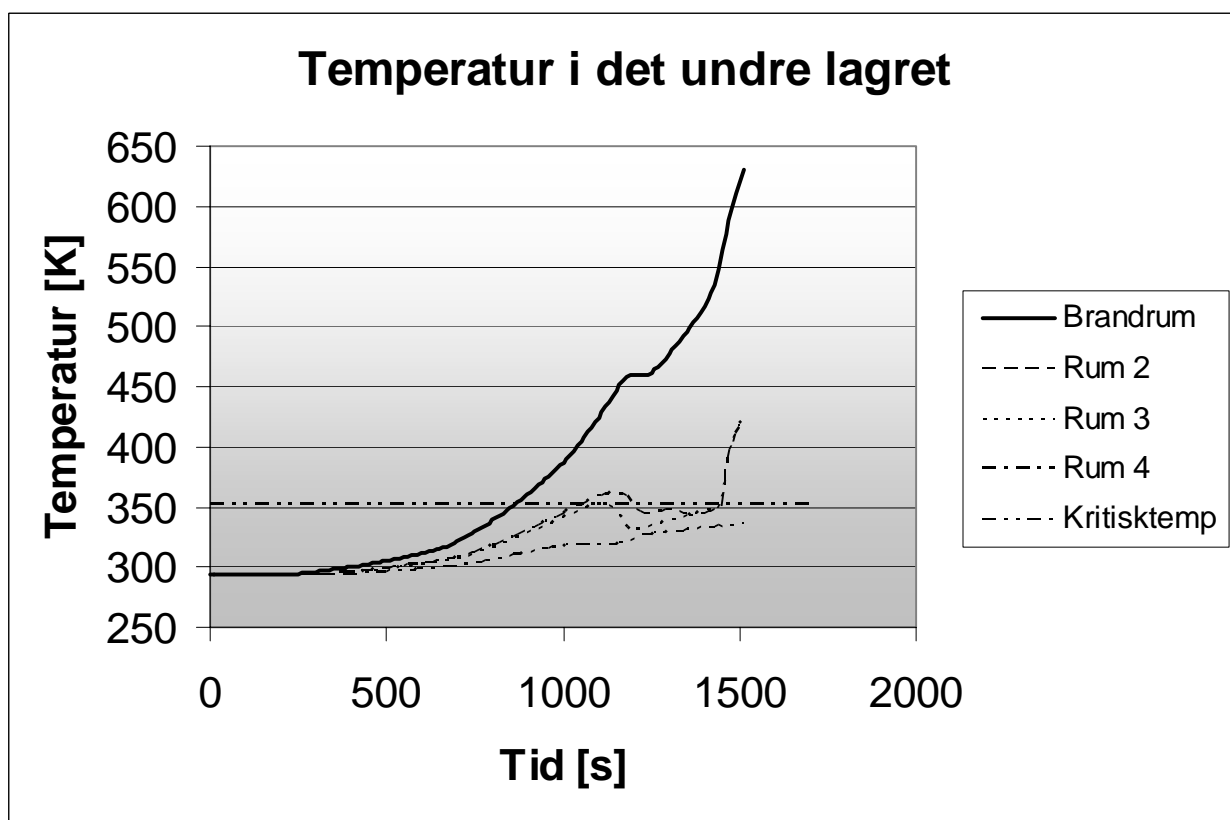


Diagram 73: Undre lagrets temperatur, scenscenariot.

Bilaga IV: Brand i stolsförråd

I denna bilaga redovisas resultat från simuleringar i CFAST angående brand i stolsförrådet.

Stolsförrådet uppfyller kriterierna för att en tvåzonsmodell ska gälla (se kapitel 4.1.1):

$$L/W = 1,18 \quad L/H = 1,73 \quad 5 \times L \times W \times H1/2 = 99,59 \text{ kW} \quad Q = 1500 \text{ kW}$$

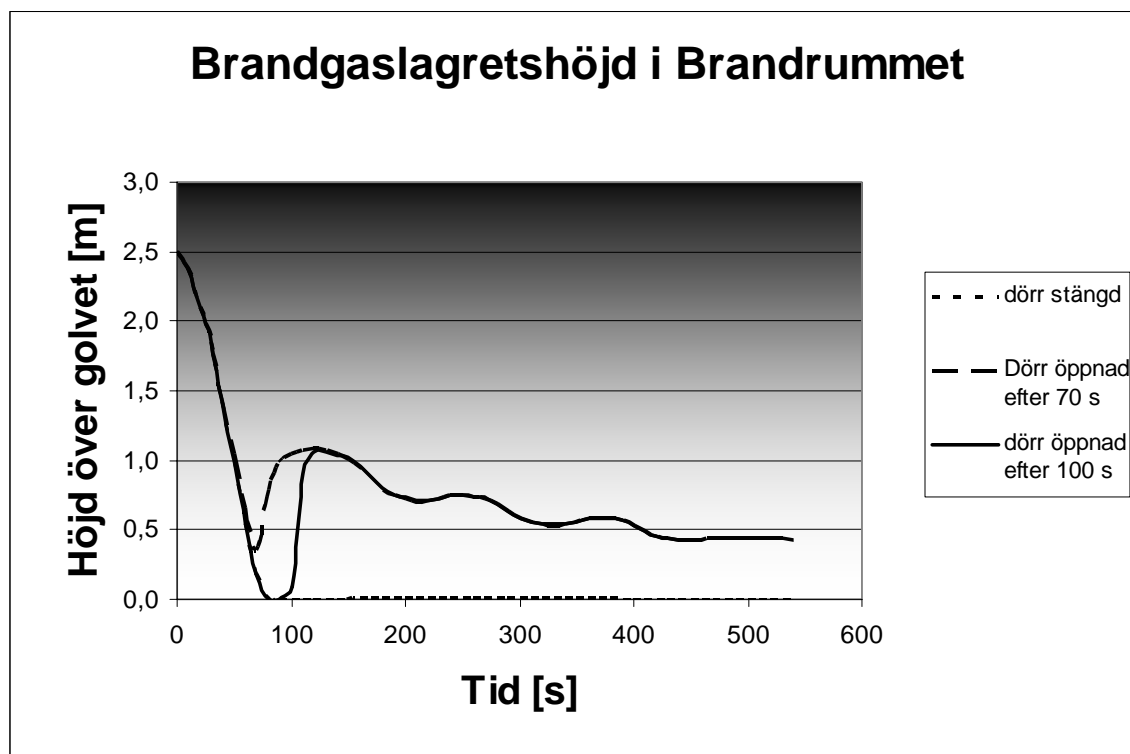


Diagram 8: Brandgaslagrets höjd i stolsförrådet.

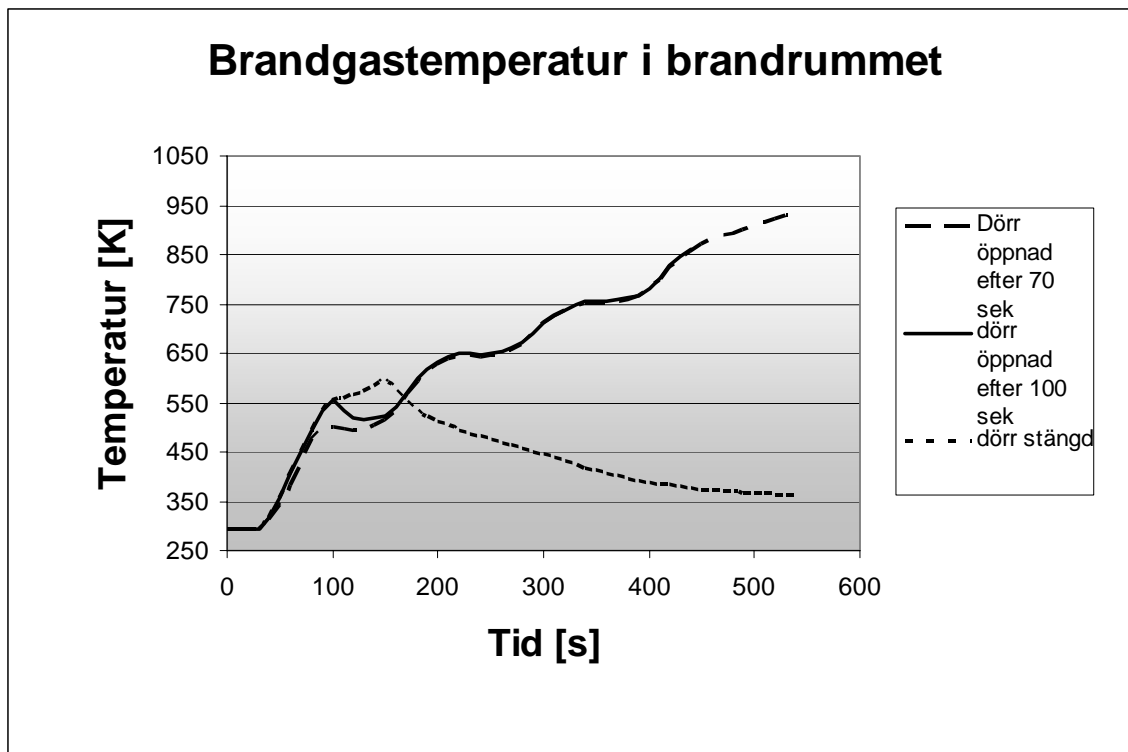


Diagram 9: Brandgastemperatur i stolsförrådet.

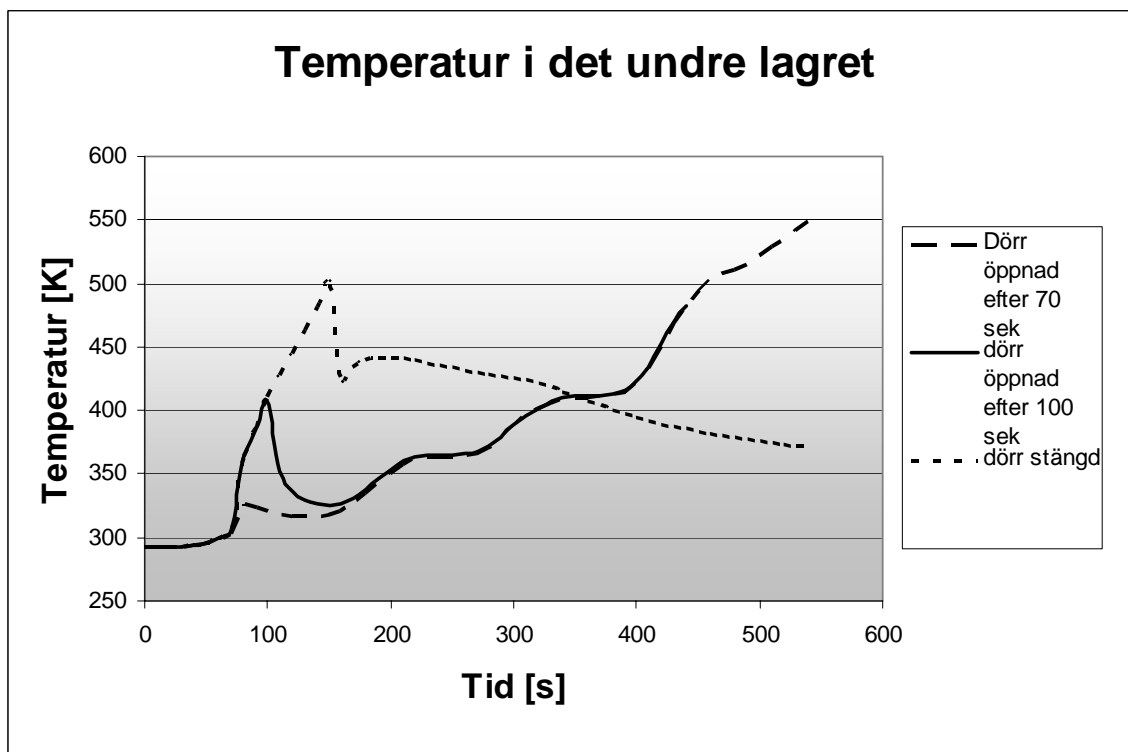


Diagram 10: Undre lagrets temperatur i stolsförrådet.

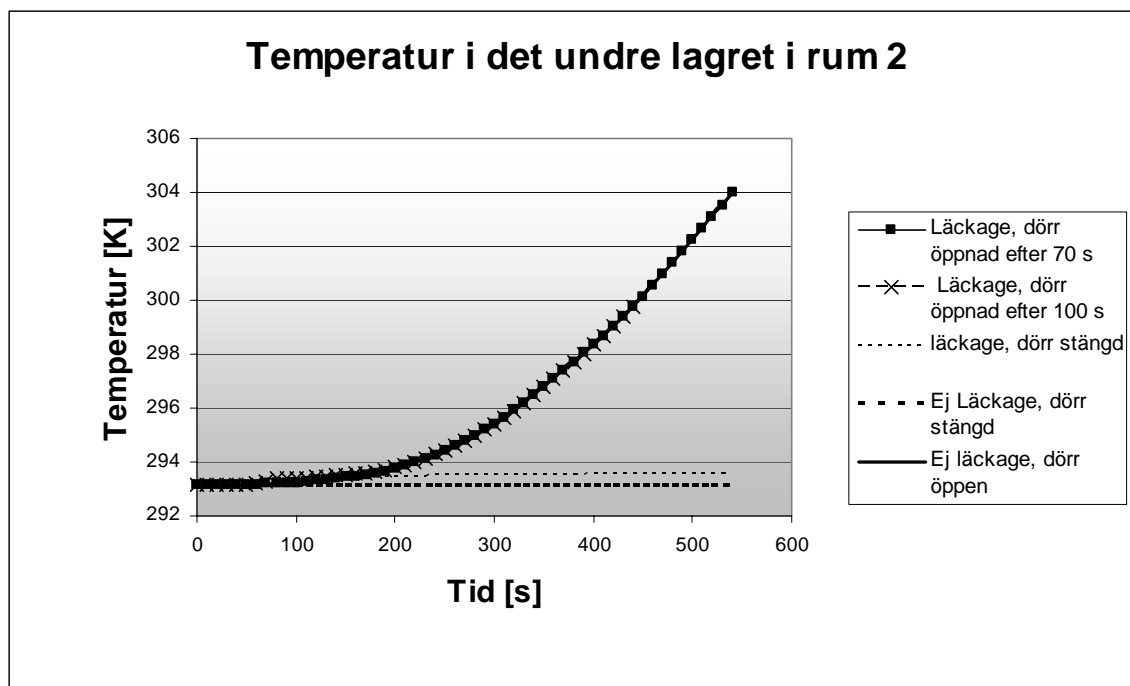


Diagram 11: Undre lagrets temperatur i rum 2, stolsförrådsbrand.

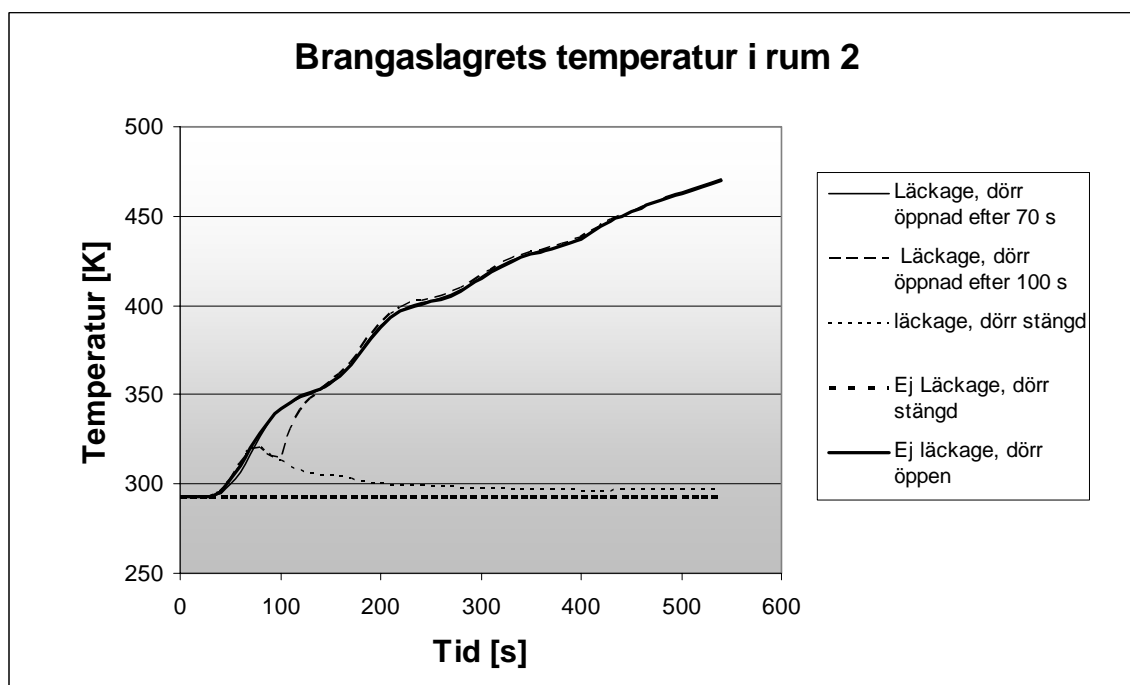


Diagram 12: Brandgaslagrets temperatur i rum 2, stolsförrådsbrand.

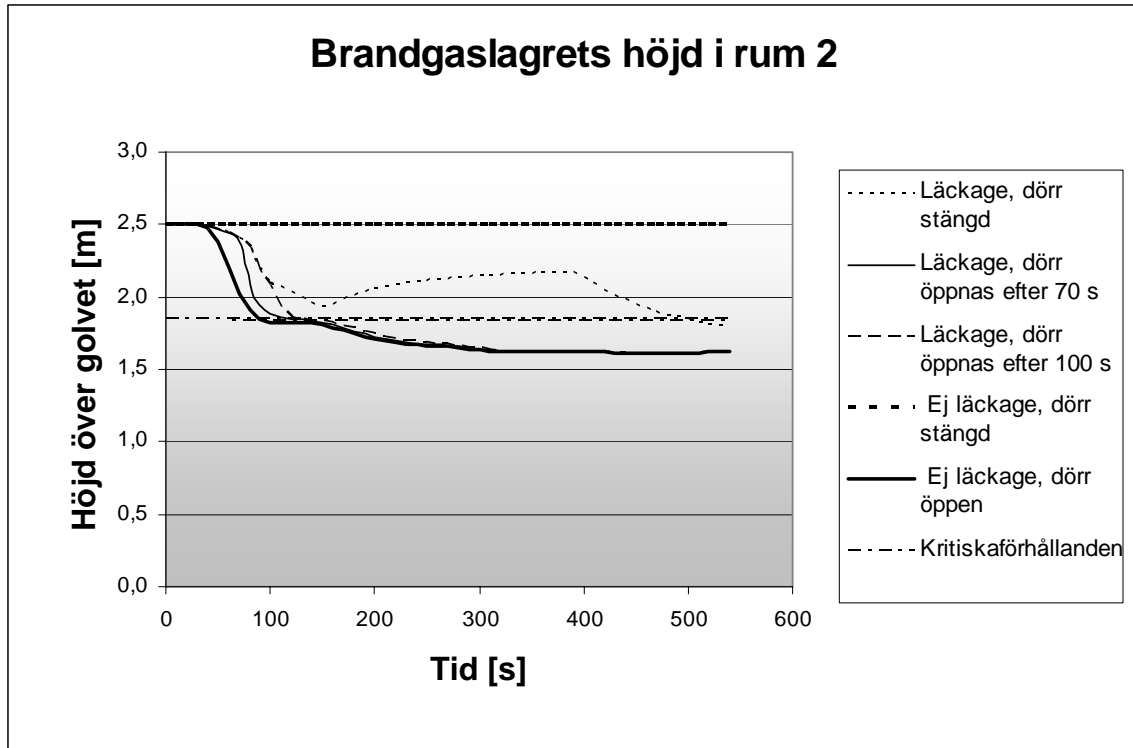
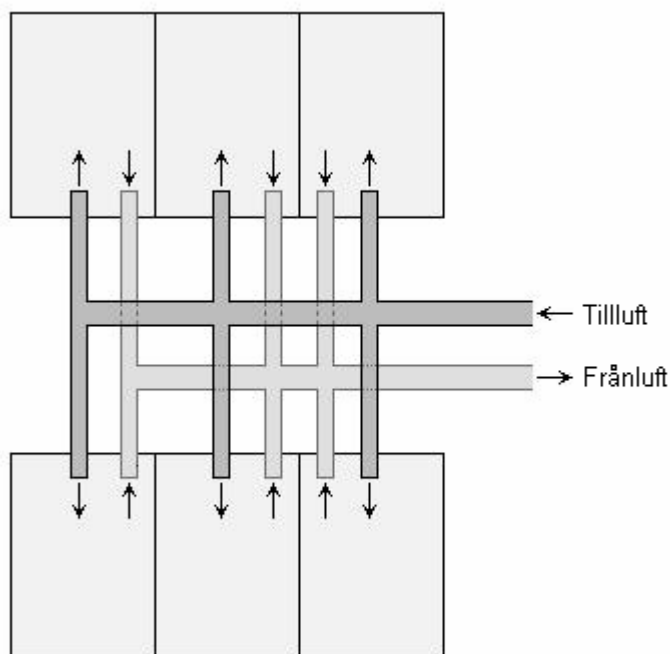


Diagram 13: Brandgaslagrets höjd i rum 2, stolsförrådsbrand.

Bilaga V: Ventilationsberäkning

Systemet är ett FT-system där fläktarna stängs av vid brand. Beräkningarna har gjorts för en del av en av hotellkorridorerna. Ventilationssystemet är uppbyggt enligt figur 13 nedan och sektionen är sedan kopplad till en samlingsbox som är kopplad till fläkten. Vid samlingsboxen sitter brandgasspjäll. I beräkningarna antas att fläkten stängs av och att ett brandgasventilerande schakt är kopplat till kanalerna. Förgreningarna i systemet är ca 3 m från varandra.



Figur 63: Del av ventilationssystemet till hotellrummen

V-I Beräkningar

Brandflödet kan antas vara

$$q_b = 0,28 * V^{0,53} * \alpha^{0,43}$$

Där :

q_b är brandflödet i m³/s

V är rummets volym i m³ (3,45 m * 5,8 m * 2,4 m = 48,024)

α i kW/s² (0,047 kW/s² för fastkurva)

brandflödet blir då 0,585 m³/s = 585 l/s

Antag att till/frånluftsflödet är 20 l/s i normalfallet

V-I.I Fönstret stängt

Det normala flödet är 20 l/s i båda kanalerna men nu skall det tryckas igenom 292 l/s per kanal. I kanalen går normalt 40 l/s till de två sista rummen, därefter 40 l/s per rumpar. Totalflödet till sektionen är således 120 l/s.

Normalt tryckfall i ett system är oftast ca 1 Pa/m, vilket också antas här. Nu ökas flödet 7,3 (292/40) gånger det normala flödet vilket medför att tryckfallet ökar till 33,7 Pa/m ($7,3^{1,77}$). De första 3 metrarna ger en tryckförlust på ca 100 Pa därefter ca 100 Pa ytterligare fram till brandgasschaktet, totalt ca 200 Pa tryckfall.

Hur mycket kan då skorstensverkan ge:

Om skorstenen antas vara 2 meter i höjd, och brandgaserna ha en övertemperatur på ca 300 °C ger skorstenen följande tryckstegring

$$h * \rho * g = 2 \text{ m} * (353/293-353/593) \text{ kg/m}^3 * 9,81 \text{ m/s}^2 = \\ 2 * (1,205-0,6) * 9,81 = 12 \text{ kg/ms}^2 = 12 \text{ Pa (motsvarar 6 Pa/m)}$$

vilket betyder att endast 6 % av brandgaserna kan ventileras bort denna väg brandgasspridningen blir utav storleksordning 94 % av brandflödet.

Skorstenen skulle behöva vara minst 33 meter hög för att komma upp i 200 Pa.

V-I.II Fönstret öppet

Om fönstret är öppet begränsas övertrycket i rummet till endast den del som är över halva fönstrets höjd, övriga rummet är mer eller mindre tryckutjämnat. Höjden på övre brandgaslagret blir ca 1m och med brandgaser med ca 700 °C övertemperatur blir övertrycket vid taket i rummet:

$$h * \rho * g = (1 * (353/293-353/993) * 9,81) = \\ 1 * (1,205-0,36) * 9,81 = 8,5 \text{ kg/ms}^2 = 8,5 \text{ Pa}$$

8,5 Pa är mindre än det normala tryckfallet över don (ca 25 Pa) vilket innebär att flödet in i kanalen blir mindre än normalflödet. Kanalen blir kraftigt överdimensionerad då att andra flöden är nära noll och tryckfallet från befintlig skorstensverkan bör betyda ingen rökspridning.

V-II Slutsats

Befintlig brandgasventilation är inte tillräcklig för att hindra att brandgaserna sprids till angränsande utrymmen via ventilationen.

