



LUNDS
UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Brandteknisk Riskvärdering SundspärLAN



Libertad Aguilar
André Boman
Marita Koskinen
Olof Sundström
Johan Wong

Handledare:
Håkan Frantzich

Brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lund 2005
Rapport: 9268

Brandteknisk riskvärdering Sundspärlan

Libertad Aguilar
André Boman
Marita Koskinen
Olof Sundström
Johan Wong

© Brandteknik, Lund 2005

Titel Brandteknisk Riskvärdering, Sundspärlan

Title Fire Safety Evaluation, Sundspärlan

Avdelningen för Brandteknik

Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund
www.brand.lth.se

Department of Fire Safety Engineering

Lund University
P.O. Box 118
SE 221 00 Lund
Sweden
www.brand.lth.se

Rapport/Report 9268

Av/ By Libertad Aguilar
André Boman
Marita Koskinen
Olof Sundström
Johan Wong

Sökord BTR, Brandteknisk Riskvärdering, CFAST, SIMULEX, Brandscenario, Utrymning, Sundspärlan, Kritiska förhållanden, Experiment

Keywords BTR, Fire Safety Evaluation, CFAST, SIMULEX, Fire Scenario, Evacuation, Sundspärlan, Critical Conditions, Experiment

Abstract In order to examine the evacuation conditions in the case of a fire at Sundspärlan a fire safety evaluation has been conducted. Different fire scenarios have been analysed, evaluated, and calculated with manual and computer aided methods. The time it takes for a fire to cause critical conditions in the building has been compared with the evacuation time in order to secure a safe evacuation in the case of fire. Fire safety improvements have been suggested to increase the current safety standard.

Språk/Language Svenska/Swedish

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

Vi vill rikta ett stort tack till dem som hjälpt oss under färdigställandet av denna rapport.

- Håkan Frantzich Tack för ditt tålamod, din pedagogiska vägledning och att du utan en min förklarar varför en garderob vid brand inte utvecklar lika mycket energi som Ringhals.
- Sven-Ingvar Granemark Vi hoppas att du och brandlabbet hämtar sig efter att vi rostat bröd i konkalorimetern, rökt upp dina cigaretter, haft barbecue under rökuppsamlingshuven och använt två gasflaskor gasol för att (äntligen!) få eld på brödbackarna.
- Ola Paulsson Tack för ditt engagemang i att ge oss full insikt i Sundspärlans verksamhet och att du tålmodigt svarade på alla våra frågor.
- Leif Strömberg Tack för all information angående försäkringar.
- Jonas Hedin Tack för värdefulla synpunkter och uppmuntrande hejarop.
- Skogaholms bageri Tack för allt bröd.

Författarna, Lund December 2005

Sammanfattning

Detta arbete är en brandteknisk riskvärdering av festlokalen Sundspärlan i Helsingborg. Syftet med rapporten är att analysera brandsäkerheten, primärt med avseende på personskydd, kartlägga brister samt att ge förslag till förbättringar av brandsäkerheten.

Sundspärlan är en danslokal för upp till 1800 gäster. Anläggningen för alla praktiska ändamål är att betrakta som en enda brandcell byggd i ett plan på 3000 m² med ett stort dansgolv/matsal, några barer, en foajé och en köksavdelning.

Observationer på objektet, experiment i brandlaboratorium på inventarier och semistrukturerade intervjuer med nyckelpersoner har gett den primärdata som använts i arbetet. Denna information har kompletterats med analyser av planlösningar och brandteoretiska litteraturstudier.

Utifrån de data som inhämtats har ett antal möjliga scenarier för brand konstruerats. Dessa har prioriterats efter mänsklig påverkan, sannolikhet och konsekvens. De tre dimensionerande brandförlopp som analyserats i detalj är brand i verkstaden i källaren, brand på scenen samt brand i garderoben i foajén.

För alla brandscenarier är utrymningssituationen tillfredsställande. Två av de tre scenarierna som har undersökts har dock bara en liten marginal i förhållande mellan kritiska tider och utrymning. För att öka marginalen har vissa åtgärdsförslag tagits fram, exempelvis utbilda personal inom brand och utrymning, installera ett automatiskt brandlarm direktkopplat till räddningstjänsten, samt utarbeta en handlingsplan för personal som arbetar under evenemangen.

De strukturella kostnaderna för dessa åtgärder kan delvis finansieras med sänkta försäkringspremier som ett resultat av den förhöjda säkerheten.

Innehållsförteckning

<i>Förord</i>	3
<i>Sammanfattning</i>	5
<i>Innehållsförteckning</i>	7
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Metod	1
1.4 Avgränsningar	2
2 Objektsbeskrivning	3
2.1 Verksamheten	3
2.2 Byggnaden	4
2.2.1 Ventilation.....	6
2.3 Försäkringar	6
3 Nuvarande skyddsnivå	9
Aktiva system	9
3.1	9
3.1.1 Utrymningslarm.....	9
3.1.2 Brandsläckare.....	9
3.1.3 Inomhusbrandpost.....	9
3.1.4 Brandfilt.....	9
3.1.5 Vattentillgång och åtkomlighet för räddningstjänsten.....	10
3.2 Passiva system	10
3.2.1 Brandcellsindelning.....	10
3.2.2 Brandcellsavskiljande byggnadsdelar.....	10
3.2.3 Ytskikt.....	11
3.3 Utrymningsvägar	11
3.3.1 Dörrar för utrymning.....	11
3.3.2 Maximalt gångavstånd.....	11
3.3.3 Nödbelysning.....	12
4 Brandscenarier och utrymning	13
4.1 Allmänt	13
4.2 Beskrivning av tvåzonsmodellen	13
4.2.1 CFAST.....	13
4.2.2 Begränsningar med CFAST.....	13
4.3 Kritiska förhållanden vid utrymning	14
4.3.1 Utrymningsförloppet.....	14
4.4 Simulex	15
4.4.1 Allmänt.....	15
4.4.2 Utrymningstider.....	15
4.4.3 Maximalt personantal.....	15
4.4.4 Förutsättningar för Simulex.....	15
4.5 Garderoobsbrand	16
4.5.1 Dimensionering av bränder.....	16

4.5.2	Effektutveckling.....	16
4.5.3	CFAST-simulering av brand i tre rack inne i garderoben	18
4.5.4	Strålning mot golv.....	18
4.5.5	Temperatur	19
4.5.6	Brandgaslagrets höjd.....	19
4.5.7	Känslighetsanalys.....	20
4.5.8	CFAST-simulering av brand i ett rack inne i garderoben.....	21
4.5.9	Simulex-simulering av brand i garderob	23
4.5.10	Resultat.....	23
4.6	Källarbrand	23
4.6.1	Effektutveckling.....	24
4.6.2	Känslighetsanalys.....	25
4.6.3	CFAST-simulering av brand i källare	26
4.7	Scenbrand	28
4.7.1	Effektutveckling.....	28
4.7.2	CFAST-simulering av brand på scen	29
4.7.3	Känslighetsanalys.....	30
4.7.4	Simulex-simulering av brand på scen och i källare	31
4.7.5	Resultat.....	31
4.7.6	Känslighetsanalys.....	32
5	Brandskyddsindex	33
5.1	Resultat	33
6	Slutsats och diskussion.....	35
6.1	Val av scenarier.....	36
6.2	Brandskyddsindex.....	37
7	Förslag till förbättringar.....	39
8	Referenslista	41
Bilaga A: Brandexperiment	8-43	
Bilaga B: Handberäkningar	8-47	
Bilaga C: Diagram	8-49	
Bilaga D: Ingående data till brandskyddsindex.....	8-51	
Bilaga E: Befintligt brandskydd jämfört med BBR 2002	8-53	

1 Inledning

Detta kapitel redogör varför denna rapport skrivits, den metod med vilket detta skett, till vilken målgrupp den är ämnad samt de avgränsningar inom vilkas gränsvärden rapporten är tillämplig.

1.1 Bakgrund

BTR, Brandteknisk Riskvärdering, är en kurs på 10 poäng (15 ETCS) som ges av Lunds Tekniska Högskola (LTH), Avdelningen för Brandteknik. Kursen är ämnad för blivande Brandingenjörer och Civilingenjörer i riskhantering och utgör ett obligatoriskt moment i utbildningen. Det övergripande målet är att träna problemlösning på svårdefinierade problem, skaffa sig ökade kunskaper om metodik och att med ingenjörsmässiga bedömningar tillämpa det tidigare inhämtade teoretisk-matematiska kunnande från mer formella ämnen på en reell situation.

Kursen baseras till stor del på ett projektarbete som resulterar i en rapport som denna. Olika objekt, i detta fall Sundspärlan i Helsingborg, undersöks med avseende på personsäkerhet vid brand och en analys av befintligt och möjligt framtida skydd genomförs.

Vid besök på Sundspärlan frågade författarna Ola Paulsson vad han ville få ut av arbetet. ”Att kunna känna mig trygg när jag blickar ut över folkhavet en fredagskväll” blev svaret. Med detta i bakhuvudet har denna rapport utarbetats för en målgrupp bestående av personalen på Sundspärlan och blivande brandingenjörer.

1.2 Syfte

Syftet med denna rapport är att analysera brandsäkerheten vid festlokalen Sundspärlan i Helsingborg med primärt avseende på personskydd, kartlägga brister samt att ge förslag på förbättringar av brandsäkerheten.

1.3 Metod

Noggranna observationer på objektet och semistrukturerade intervjuer med nyckelpersoner har gett den primärdata som använts i arbetet. Detta har kompletterats med sekundära analyser av planlösningar och brandteoretiska litteraturstudier.

Utifrån de data som inhämtats har ett antal möjliga scenarier för brand konstruerats. Dessa prioriterades efter mänsklig påverkan, sannolikhet och konsekvens. De tre dimensionerande brandförlopp har analyserats i detalj. Effektkurvor för dessa tre bränder togs fram med handberäkningar från tidigare experiment och bedömningar grundade på vedertagen brandingenjörspraxis. Brandförloppen simulerades sedan i programmet CFAST för att bedöma brandgasers spridning och temperaturförändringar i byggnaden som följd av brand. Utrymningen från objektet simulerades med programmet SIMULEX för att identifiera flaskhalsar i utrymningen och jämföra tiden för utrymning med tiden innan kritiska förhållanden i byggnaden uppnåddes i syfte att hitta risker för personer i byggnaden.

Känslighetsanalyser, utvärdering av de erhållna simuleringarna och ingenjörsmässiga bedömningar har slutligen använts för att värdera riskerna och ge förslag på åtgärder för att minska dessa.

1.4 Avgränsningar

Denna rapport behandlar bara personsäkerheten vid brand i Sundspärlan. Miljöskador, materiella skador och sekundära effekter av brand, exempelvis verksamhetsbortfall, har inte beaktats. De åtgärder som föreslås är begränsade i sin omfattning till följd av ledningens explicita önskan att minimera kostnader för eventuella riskreducerande åtgärder. Vidare behandlas bara säkerheten ur ett normalt brandperspektiv. Bränder och konsekvenser av dessa till följd av sabotage eller en medveten strävan att bränna ner objektet kan vara väsentligt värre än de scenarier som presenteras i detta arbete.

2 Objektsbeskrivning

Detta kapitel beskriver byggnadens struktur och verksamhet samt de försäkringsvillkor som nu gäller på objektet.

2.1 Verksamheten

Sundspärlan är en nöjes- och konferensanläggning i utkanten av Helsingborg stad med arrangemang för alla åldrar. Antalet fast anställda är 12 personer. De fast anställda arbetar oftast dagtid med att planera och är inte med på arrangemangen i någon större utsträckning. Beroende på arrangemang tillkommer ofta mycket extrapersonal såsom värdar, servitörer och utbildade ordningsvakter

Ett återkommande arrangemang är dans på tisdagar mellan 18.00-22.00 och fredagar mellan 21.30-01.30. Tisdagsdanserna brukar besökas av 300 gäster i medelåldern. Vid dessa tillställningar framträder ett liveband. Fredagsdanserna besöks av 300-1500 gäster, största antalet har varit 2400 gäster men eftersom lokalen bara är godkänd för 1800 och avsteg från den regeln enligt uppgift bara skett en gång kommer 1800 gäster att användas som maximalt dimensionerande antal personer i lokalen. På tisdagarna är konsumtionen av alkohol ytterst liten medan den är väsentligt högre på fredagar. Nöjesparken har fullständiga rättigheter.

Det anordnas också ungdomsdiscon på Sundspärlan. Då kan det bli ca 1500 högstadieungdomar som antrar dansgolvet mellan kl. 21.00-01.00. Vid dylika arrangemang anställs för kvällen 8 vakter och 10-15 värdar.

Andra arrangemang är barnteater för dagisbarn, mässor till exempel mat och nöjesmässa, temafester och konferenser. Konferenserna har upp till 700 gäster. Vid vissa av dessa arrangemang, oftast mässorna, används speciell uppsatt inredning såsom tyg hängandes från taket, tyg på väggar och olika typer av fondväggar för att få en trevligare stämning.

Varje år anordnas ett antal julshower med uppträdanden. Det kan då bli uppemot 900-1200 sittande matgäster och ett 50 tal servitriser. Inför denna tillställning görs en genomgång av brand med utrymningsövning för personalen.

Sundspärlan är ett kommersiellt bolag som ägs till 40% av Helsingborgs kommun, resterande ägs av företag och privatpersoner. Omsättningen är runt 30 miljoner kronor.

2.2 Byggnaden

Nöjesparken Sundspärlan ligger i utkanten av Helsingborg stad. Själva byggnaden är uppförd i början av 70-talet, har en fasad av tegel och plåt samt är försedd med plåttak. Max antal gäster i lokalen är begränsat till 1800 personer. Byggnaden är tillverkad i ett plan med en area på 3140 m², ett mindre entresolplan och en källare på 380 m².

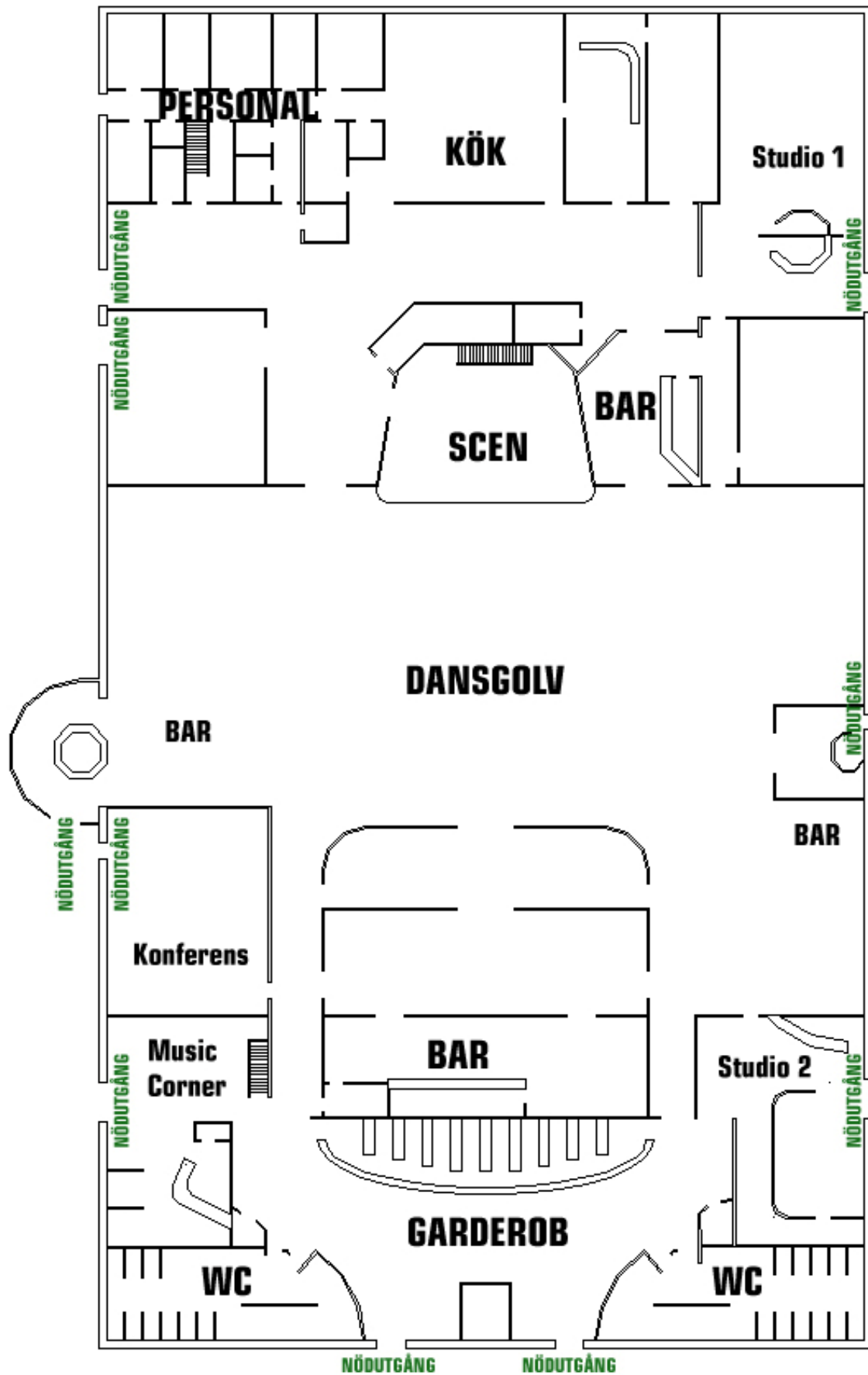
På byggnadens kortsida mot väster finns huvudentrén där gästerna går in (se ritning 1). Rakt fram några meter innanför entrédörrarna finns en garderob där gästerna kan hänga in sina kläder, garderobens kapacitet är 1000 jackor. På höger respektive vänster sida i entréhallen finns dam- och herrtoaletter. På vardera sidan om garderoben finns det ingångar som leder in till huvuddelen av lokalen.

I den södra delen direkt innanför ingången vid garderoben finns ett mindre rum med bar kallad Studio 2. Innanför ingången på den norra sidan om garderoben finns en separat bar och musikavdelning med tillhörande entresolplan, Musik Corner. Till höger om denna avdelning, i mitten av byggnaden och rakt bakom garderoben finns en stor bar.

I mitten av lokalen mot den södra väggen ligger en mindre bar, lilla baren, öppet i anslutning till det stora dansgolvet i mitten på byggnaden. Framför dansgolvet finns en stor scen för uppträdanden, denna ligger centralt i byggnaden mot den östra delen. Ett casino med tillhörande bar ligger på den södra sidan bredvid scenen. I den östra delen av byggnaden bakom scenen finns personalutrymme, kök och förråd. Ett mindre dansgolv ligger beläget i sydöstra hörnet av byggnaden.

Går man in i lokalen från garderoben via den norra delen istället kommer ett konferensutrymme på vänster sida direkt efter Musik Corner (se ritning 1). Detta konferensutrymme delas av mot en mindre bar med en vikvägg. Ytterligare en bit in efter den norra delen finns ett rum som används som förvaringsutrymme för stolar och bord.

Källarplanet ligger i den östra delen av byggnaden, under personalutrymmet och köket, och utgör cirka en tiondel av den totala arean på byggnaden. I källaren finns loger för de artister som uppträder, vaktmästeri samt en mindre verkstad för diverse reparationer. För att komma ner i källaren finns en trappa direkt bakom scenen samt en trappa vid kontor och personalavdelningen.



Ritning 1. Sundspärlans markplan.



Norr

2.2.1 Ventilation

Fläktrummet finns ovanför innertaket vid ingången till personaldelen, mer exakt i utrymmet ovanför kylen närmast kontoren där personalen håller till dagtid (se ritning 1). Brandspridning via ventilationen kan endast ske i markplan, då ventilationssystemet ej sträcker sig ner i källaren. Det system som används är ett till/frånluftsystem. Med detta system kommer spridning först att ske via tilluftskanalen och då brandtrycket blivit tillräckligt stort kommer brandspridning även att ske genom frånluftskanalen. För att brandspridning via frånluftskanalen ska ske från dansgolvet måste trycket öka så pass mycket att detta inte anses rimligt.

I personaldelen, köket, toaletterna samt i området vid entrén är brandgasspridning via tilluften överhängande i respektive område, eftersom ventilationssystemet i detta område är sammankopplat.

2.3 Försäkringar

Sundspärlan AB är idag försäkrat genom Trygg Hansa. Objektet är fullvärdeförsäkrat till 41 mkr vilket innebär att byggnaden utan avskrivningstid återuppbyggs/repareras vid totalförstörelse/skada. Inventarier och vissa installationer skrivs dock av med tiden och bekostas vid återuppbyggnad av ägarna.

Försäkringen köps i ett paket som omfattar brand, vattenskada, inbrott, maskinhaveri, rättsskydd, husbocksangrepp och fastighetsägaransvar upp till 10 mkr om ägaren på grund av oaktsamhet blir vållande till skada på tredje part (*Strömberg L, 2005*).

Årspremien uppgår till 141 kkr varav branddelen av premien är ca 70 % och inbrottsdelen är ca 10 % (*Johansson S, 2005*). I dagsläget är brandskyddet på Sundspärlan av den karaktären att inga rabatter utnyttjas men Trygg Hansa ger premierabatter på ca 20 % om automatiskt utrymnings- och brandlarm med automatisk larmöverföring installeras. Denna årliga rabatt för Sundspärlan skulle således kunna uppgå till 20 kkr.

Ytterligare rabatt på premien (ca 2,5 % på inbrottsdelen) skulle kunna ges om byggnaden uppgraderades till inbrottssäkerhetsklass 3 (från nuvarande klass 2) genom att det befintliga inbrottslarmet kopplades via en övervakad ledning till larmcentral samt ny centralapparat och detektorer installerades (*Svensson B, 2005*). Den sannolikt låga attraktionen hos Sundspärlan för avancerad brottslighet och den omfattande initialkostnaden (ca 100 kkr) i relation till den årliga besparingen (350 kr) gör dock detta ekonomiskt oförsvarbart.

En långsiktig årlig besparing på 20 kkr vid en diskonteringsränta på 5 % motsvarar ett nuvärde på 154 kkr på 10 år, 250 kkr på 20 år och 308 kkr på 30 år.

Detta är framräknat med formeln:

$$(1-(1+r)^{-t})/r \quad (\text{Yard 1995})$$

där

r diskonteringsräntan och
t tiden i år

Diskonteringsräntan på 5 % har valts som ett konservativt antagande av differensen mellan försäkringspremiens årliga realkostrandsökning och företagets internränta.

En investering i ett vidarekopplat brandlarm med detektorer för upp till ca 150- 300 kkr skulle således, konservativt räknat och med säkerhetshöjande aspekter oaktat, med en rimlig soliditet i företaget vara en direkt god affär.

3 Nuvarande skyddsnivå

För att kunna göra rätt bedömning om byggnaden är tillräckligt säker har nuvarande skyddsnivå observerats. Denna information används sedan för att se om någon komplettering bör göras eller om den aktuella skyddsnivån är tillräcklig.

3.1 Aktiva system

De aktiva systemen i byggnaden är släckutrustning och ett manuellt utrymningslarm. Med släckutrustning avses här brandsläckare, inomhusbrandposter och brandfiltar. Denna utrustning finns tillgänglig i byggnaden och kan användas av alla personer som vistas i lokalen, förutsatt att de känner till hur man ska bruka utrustningen.

3.1.1 Utrymningslarm

Det finns ett manuellt aktiverbart utrymningslarm. När utrymningslarmet har aktiverats läses ett automatiskt meddelande upp, samtidigt stängs musiken av och lamporna tänds. Meddelandet börjar med ett tutande ljud och lyder sedan enligt följande.

”Viktigt meddelande. Brand har utbrutit i byggnad. Lämna omedelbart byggnaden genom närmaste nödutgång. Använd inte hissarna.” (Inga hissar finns för övrigt i byggnaden).

3.1.2 Brandsläckare

Det finns två sorters handbrandsläckare utplacerade på Sundspärlan, nämligen koldioxid (CO₂) och skum. I köket finns tre stycken brandsläckare. Alla tre brandsläckarna innehåller CO₂. En av dessa brandsläckare är inte fastmonterad och saknar också tillhörande skylt. De andra brandsläckarna finns spridda i byggnaden. De brandsläckare som är lätta att se finns utanför förrådet bredvid diskrummet, vid utgången från personaldelen och vid sidan om scenen på den nordöstra sidan.

Personalen har tillgång till fler släckare som är placerade i personalutrymmen. Dessa finns vid dansgolvet i den lilla baren på södra sidan bakom disk, så även i den stora baren, garderoben, Music Corner och i discjockeybåset i studio 1.

I trappan ner till källaren via scenen finns också en brandsläckare lättillgänglig men endast synlig om man befinner sig på scenen eller i trappan. Antalet brandsläckare är tillfredsställande.

3.1.3 Inomhusbrandpost

Det finns totalt tre stycken inomhusbrandposter, en direkt utanför diskrummet och två vid utgången från dam- respektive herrtoaletten (se figur 1).

3.1.4 Brandfilt

Direkt i anslutning till kökets ingång finns en brandfilt (se figur 2). Det finns också en brandfilt bakom tre av barerna, den stora baren, den lilla baren på södra sidan om dansgolvet och i Musik Corner.



Fig. 1. Bild på inomhusbrandpost inne i entrén



Fig. 2. Bild på brandfilt

3.1.5 Vattentillgång och åtkomlighet för räddningstjänsten

Det finns endast en kommunal brandpost i närheten av byggnaden. Denna är belägen på en cykelväg ca 100 meter från den stora utomhusscenen. Det finns vidare en sjö 100 meter bort nedanför en kulle mot öster (20 meters höjdskillnad). Åtkomligheten är mycket god och det finns plats för många fordon. Dock har det vid många tillställningar inträffat att åtkomligheten inte alls är möjlig för räddningstjänsten på grund av att gästerna parkerar sina fordon på olämpliga platser som är direkt blockerande. Tiden från larm till dess att räddningstjänsten anländer är ca 10 minuter.

3.2 Passiva system

På Sundspärlan var det svårt att se var eventuella brandcellsindelningar¹ fanns eftersom de inte stod med i ritningarna. Efter okulär bedömning kunde dock brandcellsindelning urskiljas. Dörrar i brandteknisk klass B30 finns i vägg som ej är brandklassad, detta kan inge en falsk säkerhet. Det finns varken utrymningskarta eller organiserad samlingsplats.

3.2.1 Brandcellsindelning

Hela entréplanet och entresolvåningen är i en enda brandcell. Källaren är uppdelad i två brandceller varav rummet med kylaggregat är ett och resten utgör den andra brandcellen.

3.2.2 Brandcellsavskiljande byggnadsdelar

Sundspärlan skall enligt BBR kap 5:21 vara utformad i minst brandteknisk klass 2, eftersom det är en samlingslokal på markplan. Byggnadsdelarna skall vara utförda i lägst brandteknisk klass EI30 (BBR 5:6212). Detta krav uppfyller båda brandcellerna i källaren.

Dörrarna i brandcellerna är i brandteknisk klass B30. B30 är en gammal beteckning för branddörrar som ska motstå brand i 30 minuter. Dock skall dörr till eller i utrymningsvägar vara självstängande (BBR 5:6214) vilket Sundspärlan inte uppfyller. Dörrar i

¹ En brandcell är ett utrymme som har en viss tålighet mot brandpåverkan, exempelvis ett rum i en byggnad som kan motstå en brand under en bestämd tid, vanligen 15-60 minuter.

utrymningsvägar stod uppställda med kilar och på en av dörrarna fungerade inte heller stängningsanordningen. Magnetuppställda dörrar hade löst problemet med uppställda dörrar.

3.2.3 Ytskikt

Ridån i scenen är av tändskyddande material och uppfyller kriterierna (BBR 5:673) som brandskyddsridå. Takbeklädnad finns i baren söder om scenen i form av paraplyer (se figur 3) som täcker hela taket ungefär 3 meter ovanför golvet. Denna beklädnad uppfyller inte BBR (5:51) och kan vid brand smälta och droppa ner. Även södra baren vid dansgolvet har beklädnad i taket som innehåller plast (plaströr som dekoration) och täcker stor del av taket.



Figur 3: Dekorationsparaplyer i taket.

Platsen där stolarna förvaras på den nordöstra sidan är frånskilt från ett annat utrymme med ett draperi. Draperiet är inte tändskyddat och droppar vid antändning. För att säkerställa muntlig information om materialens brandmotstånd utfördes kompletterande experiment redovisade i bilaga A.

3.3 Utrymningsvägar

Rådet enligt (BBR 5:371) för en samlingslokal som är avsedd för 1000 besökare eller fler skall ha minst fyra utgångar. Det finns gott om utrymningsvägar i byggnaden, de två som finns på den nordöstra sidan är dessvärre ofta blockerade, den ena av leveranser och den andra används som förvaringsutrymme. Rådet angående avstånd till utrymningsväg på denna sida av byggnaden är uppfyllt oavsett om det finns en eller två nödutgångar.

3.3.1 Dörrar för utrymning

Den fria bredden i varje utrymningsväg ska vara minst 1,20 meter och den totala bredden av samtliga utrymningsvägar skall vara minst 1,0 m per 150 personer. Detta innebär att vi bör ha 12 meter total utrymningsväg (Brandskydds handboken kap 6.8). Sundspärlan uppfyller detta. I entrén finns 1,20 meters dörrar, men flera av dem är låsta så att de endast går att öppna som 0,90 meters dörrar. De andra utrymningsvägarna uppfyller bredden. Dörrar för utrymning skall också vara lätt öppningsbara, vilket Sundspärlan i de flesta fall uppfyller.

3.3.2 Maximalt gångavstånd

Krav på maximalt gångavstånd, 30 meter, finns för nybyggnad och tillbyggnad. Detta skulle inte uppfyllas vid personal- och köksdel. Om en nödutgångsskylt placeras vid ingången till personaldelen (se ritning 1) skulle kravet för området kontor/kök uppfyllas. Källaren och entresolplanet uppfyller kraven.

3.3.3 Nödbelysning

Kravet på reservkraftaggregat för nödbelysning uppfylls med hjälp av batteribackup i källaren (se figur 4). Batterierna är beräknade att räcka i en timme. Alla skyltar är genomlysta, väl placerade och väl synliga från alla håll. Dock förekommer vissa gamla modeller av utrymningsskyltar. Dessutom fungerade inte alla skyltar som var av typen genomlysta skyltar.



Fig. 4 Bild på batteribackup i källaren

I bilaga E har Sundspärlans befintliga brandskydd jämförts med BBR 2002. Sundspärlan omfattas inte av BBR 2002 eftersom byggnaden uppfördes innan reglerna började gälla och reglerna gäller inte retroaktivt.

4 Brandscenarier och utrymning

4.1 Allmänt

I detta kapitel kommer personsäkerheten vid brand att analyseras med olika datorprogram och handberäkningar. För att kunna göra detta kommer möjliga brandscenarier att studeras och utrymningssäkerheten i samband med dessa scenarier simuleras. De kritiska förhållanden som kan komma att uppstå för Sundspärlans gäster och personal i samband med en brand är hög temperatur, hög strålningsintensitet och lågt brandgaslager som försämrar sikten. Tider för kritiska förhållanden jämförs sedan med tiden för utrymning för respektive scenario.

4.2 Beskrivning av tvåzonsmodellen

Tvåzonsmodellen delar in rummet i två zoner precis som namnet antyder. Rummet är uppdelat i en övre, varm zon och en undre, kall zon. Den övre varma zonen innehåller förbränningsprodukter som uppkommer från branden. Den undre kalla zonen är rumstempererad och innehåller inga brandgaser. I de två zonerna är temperaturen och gaskoncentrationen homogen överallt i respektive zon, vilket gör att temperaturdifferensen blir stor när man går från den ena zonen till den andra. Tvåzonsmodellerna är uppbyggda så att de ska kunna simulera bränder i ett eller flera rum som är anslutna till varandra. Det finns ett antal olika tvåzonsmodeller att välja mellan när man ska simulera bränder och brandgasspridning. I denna rapport har CFAST används som modell. CFAST står för Consolidate model of Fire growth And Smoke Transport och ingår i ett programpaket som heter Hazard.

4.2.1 CFAST

CFAST är ett datorprogram utvecklat av National Institute of Standards and Technology, (NIST). Programmet bygger på den ovan beskrivna tvåzonsmodellen och löser ekvationer kontinuerligt för den övre respektive undre zonen. Ekvationerna behandlar mass- och energibalanser mellan de olika zonerna under brandförloppet. Programmet kan behandla upp till 30 olika rum som antas vara rektangulära och sammankopplade med öppningar. För att kunna göra en simulering i CFAST måste viktiga indata för byggnaden anges såsom: antal rum med tillhörande rumsgeometri i x-, y- och z-led, öppningar i form av dörrar och fönster, effekten av branden samt väggarnas och golvet termiska egenskaper. Dessa egenskaper läggs in i ett program som heter CEdit och körs sedan i CFAST. När simuleringen är gjord sparas information om brandgaserna för respektive rum i en utdatafil.

Informationen i utdatafilen representeras bland annat av:

- Brandgaslagrets höjd över golvet
- Optisk densitet i brandgaslagret
- Strålning från brandgaslagret
- Temperatur i de olika zonerna
- Koldioxidhalt
- Kolmonoxidhalt

4.2.2 Begränsningar med CFAST

- Programmet gör enbart simuleringar innan övertändning inträffar och man kan inte med hjälp av CFAST beräkna när detta sker. Vid övertändning kan man inte använda sig av en tvåzonsmodell som CFAST bygger på eftersom det blir omblandande

förhållanden i rummet. Detsamma gäller för en väldigt liten brand i ett stort utrymme eller i utrymmen långt från brandrummet då brandgaserna på grund av sin relativt låga temperatur sjunker mot golvet och blir omblandade vilket gör att zonbildning inte uppstår.

- När branden simuleras i CFAST beräknar den inte hur lång tid det tar för brandgaserna att nå upp till taket. På grund av detta blir transporttiden av brandgaserna och förloppet snabbare än i verkligheten.
- Programmet klarar inte av att hantera andra geometrier än rektangulära, är rummet exempelvis cirkulärt får det anpassas som ett rektangulärt rum istället. Har man långa korridorer där längd breddförhållandet överstiger 10:1 måste man dela in korridoren i flera små rum istället. Programmet har visserligen en ny funktion för korridorberäkningar, men i de versioner som använts vid denna simulering fungerade den inte tillfredsställande.
- Programmet antar att syrehalten är 12 % (vilket enligt programmet ska vara den lägsta halten syre som förbränning pågår under) i både det övre och undre lagret vilket inte stämmer med experimentella data som gjorts. Experimentella data visar på att syrehalten i brandgaslagret kan hamna ner emot 0 %.
- Själva zonmodellen i sig är ett problem eftersom det inte är homogen temperatur överallt i de två zonerna.

(Gojkovic D, 2005)

4.3 Kritiska förhållanden vid utrymning

Den vanligaste orsaken till dödsfall vid bränder är inandning av de toxiska gaser som bildas. Kolmonoxiden i brandgaserna fäster på blodets hemoglobin och gör att syremolekyler inte kan tas upp. Förutom den toxicitet som gaserna har är de även varma. Värmen från brandgaserna kommer att stråla ner mot människor och material som befinner sig under gaserna. Brandgaserna gör även att sikten blir dålig vilket gör att det är svårt att orientera sig inne i brandrummet. Både siktbarheten, värmen samt strålningen spelar stor roll vid en eventuell utrymning. När dessa olika faktorer uppnår ett visst värde säger man att kritiska förhållanden har uppstått.

För att kunna göra en tillfredsställande utrymning måste utrymningen vara klar innan dess att kritiska förhållanden har uppstått (Frantzich H, 2001).

Enligt brandskyddshandboken gäller följande kriterier vid utrymning:

- Temperaturen på luften får inte överstiga 80°C
- En kortvarig strålning på max $10\text{ kW} / \text{m}^2$, en maximal strålningsenergi på $60\text{ kJ} / \text{m}^2$ utöver en strålning på $1\text{ kW} / \text{m}^2$.
- En långvarig strålning på max $2,5\text{ kW} / \text{m}^2$.
- Rökgasnivå på lägst $1,6 + (0,1 \times H)$ där H är rumshöjden, uttryckt i meter.
- I brandrummet får sikten ej understiga 5 m.
- De utrymmande får ej utsättas för en CO_2 -halt högre än 5 volymsprocent.
- De utrymmande får ej utsättas för en CO-halt högre än 2000 ppm.

4.3.1 Utrymningsförloppet

Enligt Boverkets byggregler skall byggnader ”utformas så att tillfredsställande utrymning kan ske vid brand.” (BBR 5:31)

Den beräknade tiden för utrymning kan delas upp i tre faser: varseblivningstid, besluts- och reaktionstid och förflyttningstid. Dessa tre faser kräver sinsemellan olika lång tid.

- Varseblivningstid – den tid det tar att upptäcka att en brand har uppstått. Vid de tillfällen då automatiskt brandlarm saknas är det svårt att uppskatta varseblivningstiden. Det innebär ju att någon gäst eller någon i personalen måste upptäcka branden för att sedan trycka på till exempel en larmknapp. Det kan innebära att varseblivningstiden kan bli allt från relativt kort till mycket lång, beroende på var branden startar.
- Besluts- och reaktionstid – den tid det tar för olika personer att fatta ett beslut angående utrymning vid en brand. I rapporten *tid för utrymning* finns möjlighet att se hur lång tid besluts- och reaktionstiden är, detta i kombination med hur brandförloppet ter sig.
- Förflyttningstid – den tid det tar att förflytta sig. Denna tid är den lättaste av de tre olika att bestämma eftersom sträckan och hastigheten människor rör sig med är känd.

Därmed har vi fått en formel för utrymningstiden som ser ut på följande vis:

$$t_{\text{utrymning}} = t_{\text{varseblivning}} + t_{\text{beslut \& reaktion}} + t_{\text{förflyttning}}$$

4.4 Simulex

4.4.1 Allmänt

Simulex är ett dataprogram för utrymningssimuleringar som är utformat av IES Ltd som finns i Skottland. CAD-ritningar av byggnaden läggs in i programmet. Därefter bestäms antal människor och vilken utgång de ska utrymma genom, man kan även bestämma vissa.

4.4.2 Utrymningstider

I föregående avsnitt redovisades utrymningens tre faser, nämligen varseblivningstid, reaktions- och beslutstid och förflyttningstid. Detta innebär att alla tre delkomponenter måste beaktas när utrymningstiden beräknas. Den enklaste fasen att bestämma är förflyttningstiden, detta görs med hjälp av dataprogrammet Simulex.

4.4.3 Maximalt personantal

Antalet personer på Sundspärlan varierar kraftigt beroende på vilket evenemang som pågår. Utrymning beräknas enligt ett så kallat ”worst case” scenario, där vi använder oss av högsta antal personer som får vistas på Sundspärlan, vi gör även ett försök med betydligt färre gäster, för att se om det blir någon större skillnad i utrymningstiden.

4.4.4 Förutsättningar för Simulex

I simuleringarna används kategorin ”Office Staff” vilket definieras som 30% medelpersoner, 40% män, 30% kvinnor och 0% barn. I utrymningstiderna antas tiden för varseblivning och tiden för beslut och reaktion sammanlagt vara 2 minuter. Detta kan tyckas vara en kort tid. Det finns emellertid tre faktorer som påskyndar förloppet: För det första kommer bränderna på scenen och i garderoben att upptäckas omedelbart då utrymmena är bemannade. Varseblivningstiden för personalen och de gäster som befinner sig närmast är därför mycket kort. I källaren kan visserligen en brand utvecklas utan upptäckt men eftersom tiden till kritiska förhållanden på dansgolvet vid en källarbrand är så lång kommer det inte påverka

utrymningssäkerheten. För det andra kommer personalen efter att brand upptäckts omedelbart att aktivera utrymningslarmet. Detta innebär att ett talat meddelande som manar till utrymning läses upp vilket tillsammans med att musiken stängs av och ljuset tänds rimligen får en stor effekt på reaktionstiden. För det tredje är den beslutstid som avses i denna rapport den tid det tar för de första personerna, inte för alla personerna i lokalen, att börja lämna byggnaden. Med 1800 personer i lokalen spelar det ingen roll om det tar sju minuter för den långsammaste att besluta sig och reagera, han eller hon kommer ändå att behöva köa för att komma ut. Utrymningen påbörjas då de första lämnar lokalen, inom två minuter, och de som inte uppfattat branden kommer ändå att följa massan mot utgångarna. Det bör dock beaktas att besluts och reaktionstiderna förutsätter att personalen betar sig enligt förslag i denna rapport (se ”förslag till förbättringar”) för att förutsättningarna för utrymningstiderna ska gälla.

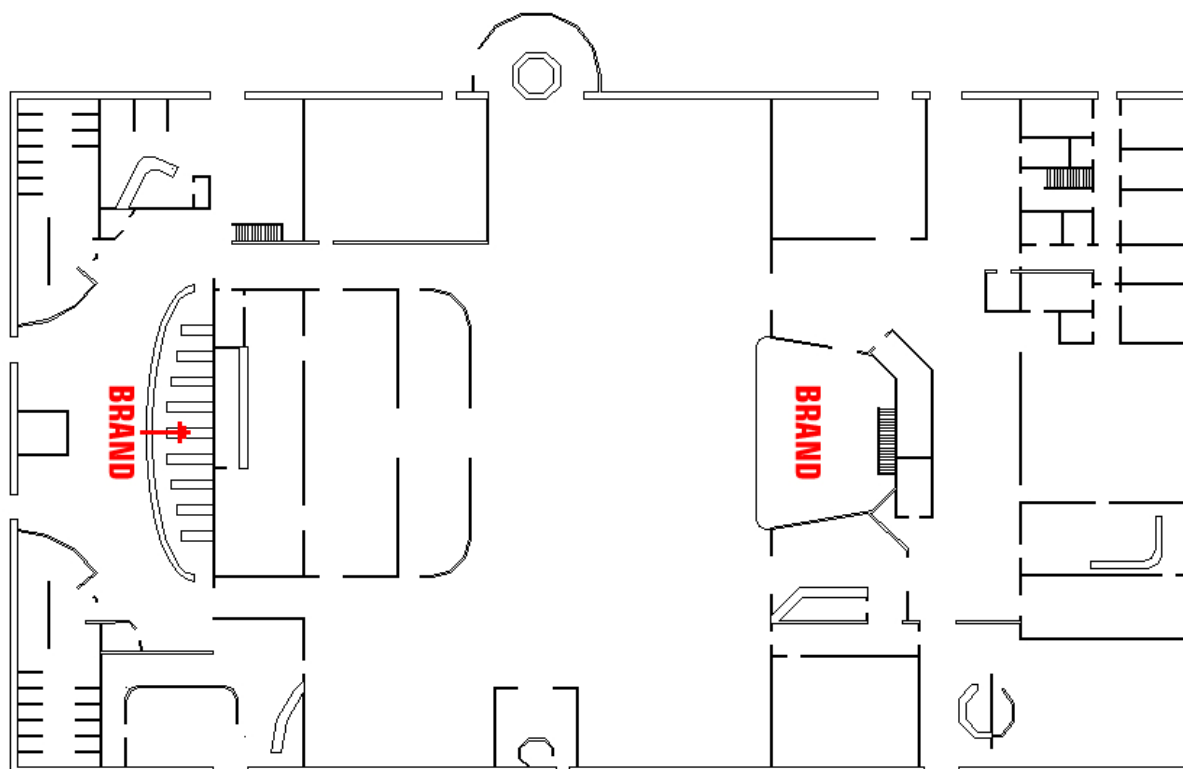


Fig. 5. Bilden visar brand i garderob och brand på scenen

4.5 Garderobsbrand

4.5.1 Dimensionering av bränder

Ett vanligt förekommande sätt att dimensionera bränder är att anta en tillväxthastighet som är beroende av det material som brinner. Effekten antas få ett specifikt värde genom att multiplicera en konstant med tiden i kvadrat. Konstanten som benämns alfa (α) multiplicerat med tiden i kvadrat är tillväxthastigheten. Hastigheten brukar delas in i fyra olika hastigheter, slow, medium, fast och ultrafast.

4.5.2 Effektutveckling

Sundspärlan tar in maximalt 1800 personer. I garderoben får det plats 1000 jackor. Det finns med andra ord relativt mycket brännbart material i garderoben, speciellt vintertid. Enligt statistik som finns på räddningstjänstens hemsida är inte bränder speciellt vanliga i garderober. Men det är ändå ett intressant scenario eftersom huvudingången blir blockerad av

branden efter en viss tid. Enligt gjorda experiment sker oftast utrymning genom den ingång som man gick in i (*Frantzich H, 2001*). En trolig antändningskälla kan vara en cigarett i en jackficka som inte har släckts ordentligt.

Effektutvecklingen bygger på Markus Abrahamssons uppgifter angående hundra jackor som hänger på ett rack. Abrahamsson får fram i sitt resultat att hundra jackor avger en effekt på 3000 kW (*Abrahamsson M, 1997*).

Björn Johansson eldade 105 jackor som hängde på ett rack i en eldningscontainer. Han kom fram till en effektutveckling genom att ställa ett klädrack på en våg och sedan mäta massavbrinningen. Effekten blev 4095 kW redan efter 90 sekunder (*Johansson B, 2004*), vilket betyder att han fick en ultrafastkurva på brandtillväxten. Den snabba tillväxten beror sannolikt på den geometri containern hade där kläderna befann sig, endast några decimeter från tak och väggar. Detta gör att flammorna kommer slå upp i tak samt väggar och återstråla mycket värme, vilket höjer effektutvecklingen (se figur 6).



Fig. 6. Bild på Johanssons försök.

Därmed anses ett värde på 3000 kW för hundra jackor vara mer trovärdigt på grund av den geometri som garderoben på Sundspärlan har. Med samma anledning antas tillväxten bli långsammare med en kurva som motsvarar en fastkurva. Branden antas starta i mittenracket av de tio rack som finns inne i garderoben (se figur 5).

Vidare undersöks om de två rack som står närmast på varsin sida om det brinnande racket kan antändas via strålning från det brinnande racket. För att antändning ska kunna ske krävs en strålning mellan 15-20 kW/m². Enligt gjorda beräkningar antänder de två racken bredvid (se handberäkningar bilaga B). Ett antagande görs angående tidpunkten för antändning, tidpunkten sätts till ca hundra sekunder efter att maximal effekt har uppnåtts för det första racket. Ett annat antagande som görs är att rack två och tre kommer antända på sidan och inte mitt i racket som rack ett antas göra. Därmed antas effekten bli något lägre samt att tillväxten blir något långsammare. Maxeffekten för rack två och tre sätts till 2700 kW och tillväxten antas motsvara en mediumkurva.

Vidare är det ej troligt att branden blir ventilationskontrollerad. Rummet är väldigt stort och det är relativt högt till tak. För att beräkna den teoretiska maxeffekten i ett rum används

$$Q_{\max} = 13,1 \cdot 0,23 \cdot 0,5 \cdot A_o \cdot \sqrt{H_o} \quad (\text{Karlsson B, Quintiere J G, 2000}). \text{ Maxeffekten i}$$

garderoben blir således 11 MW (se handberäkningar bilaga B). Beräkningarna är baserade på att båda dörrarna till höger och vänster om garderoben antas vara öppna in till stora danslokalen och att det stora utrymmet dansgolvet utgör antas vara jämförbart med en obegränsad lufttillförsel. Dörrar till toaletter och entré antas vara stängda eftersom det sitter dörrstängare på dörrarna. Ett visst tillskott av syre kan antas tillkomma när människorna börjar utrymma genom entrén. Men detta syretillskott försummas eftersom utrymning endast kommer att ske genom entrén under en kort tid. Detta på grund av de förhållanden som branden kommer att skapa i anslutning till branden i form av brandgaser, temperatur och strålning.

- Antändningskälla – en cigarettfimp som inte har blivit ordentligt släckt, ligger och glöder i en jackficka.
- Brandtillväxt – rack ett har en brandtillväxt som motsvarar en fastkurva, $\alpha = 0,047 \text{ kW} / \text{s}^2$. Rack två och tre antas ha en lägre tillväxt som motsvarar en mediumkurva, $\alpha = 0,030 \text{ kW} / \text{s}^2$.
- Maxeffekt – hamnar på ca 8400 kW under förutsättning att rack två och tre antänder 100 sekunder efter det att maximal effekt har uppnåtts för rack ett.

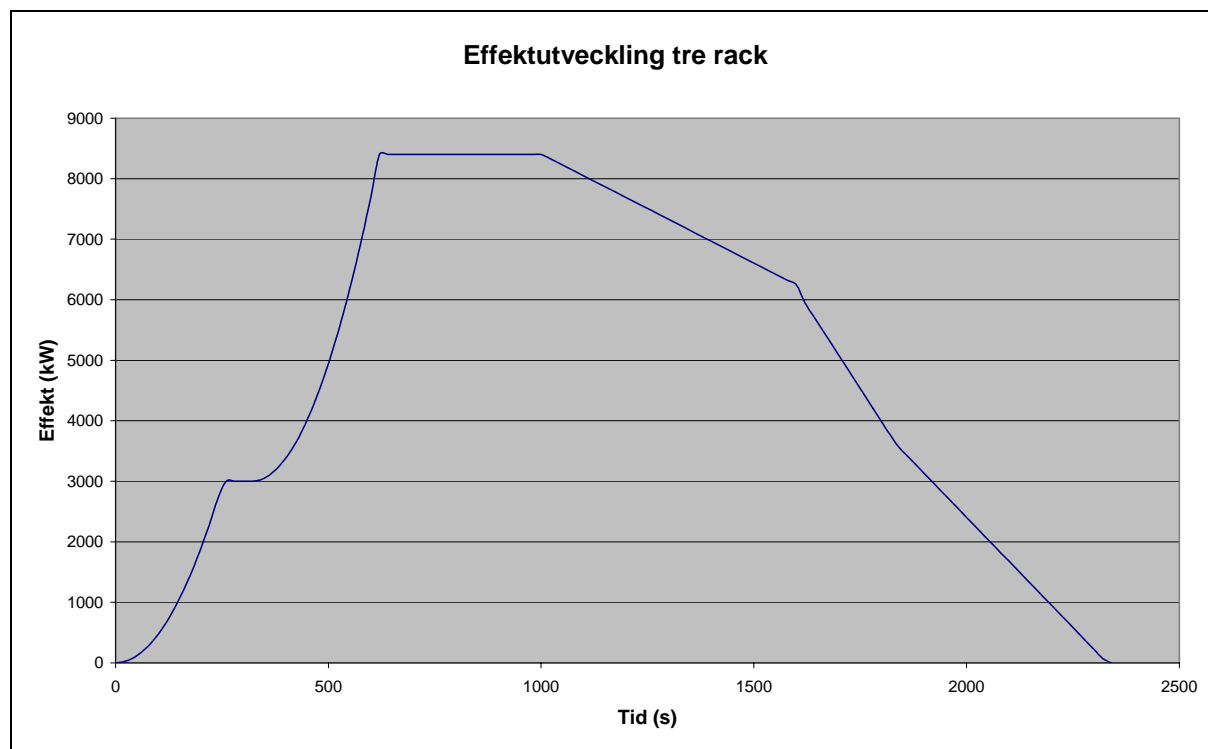


Fig. 7. Effektutveckling som funktion av tiden för tre brinnande rack.

4.5.3 CFAST-simulering av brand i tre rack inne i garderoben

Nedan följer de resultat från CFAST-simuleringen som erhöles.

4.5.4 Strålning mot golv

Enligt BBR får strålningen mot golvet ej överstiga $2,5 \text{ kW/m}^2$. Den strålningsintensitet som ger kritiska förhållanden sker efter 9,5 minuter inne i garderoben. På dansgolvet kommer aldrig strålningsintensiteten upp i kritiska nivåer.

4.5.5 Temperatur

Kritiska nivåer uppnås aldrig, varken i garderoben eller på dansgolvet i det undre lagret. Däremot uppnås en temperatur på 80°C i det övre brandgaslagret efter 3 minuter. Det är emellertid inte speciellt viktigt att veta när kritiska förhållanden uppstår i det övre brandgaslagret eftersom utrymning ej sker där.

4.5.6 Brandgaslagrets höjd

Tid till kritiska nivåer inne i garderoben blir nästan 3 minuter. På dansgolvet blir tiden 9,2 minuter. Eftersom kritiska förhållanden uppstår först på grund av brandgaslagrets höjd, används den tiden för utrymningssimuleringen.

Parameter	Tid till kritiska förhållanden
Strålning mot golv	2,5 kW/m ² efter 9,5 minuter i garderoben, dansgolvet når ej k.f
Temperatur övre lagret	80°C efter 3 minuter i garderoben, dansgolvet når ej k.f
Temperatur undre lagret	Når ej k.f
Höjd brandgaslager	2,05 m efter nästan 3 minuter i garderoben, 2,1 m på dansgolvet efter 9,2 minuter

Tabell 1. Tid till kritiska förhållanden vid brand i tre rack

Se bilaga C för diagram som visar temperatur och strålning som funktion av tiden.

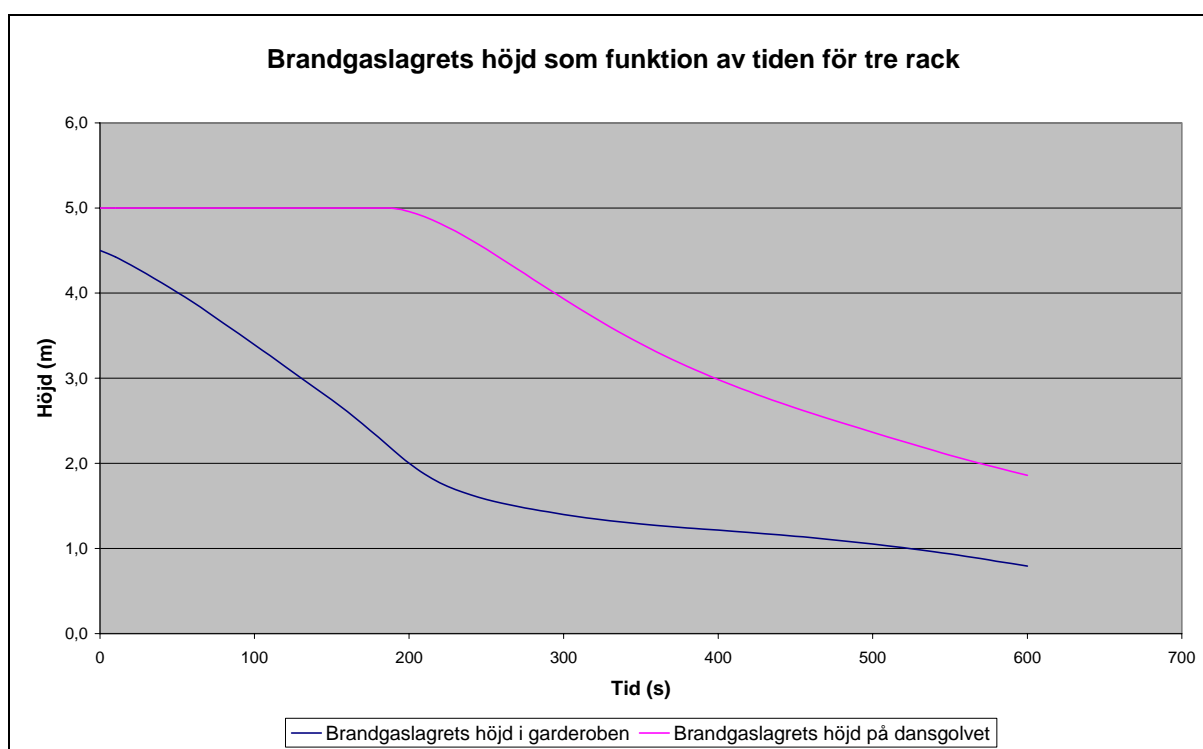


Fig. 8. Höjd på brandgaslagret som funktion av tiden för tre rack

4.5.7 Känslighetsanalys

Ovan behandlades fallet då tre rack brinner men det är även troligt att bara ett rack brinner. Möjligheten finns att det inte hänger några kläder på racken bredvid vilket gör att brandspridning ej sker, strålningen från det rack som brinner är möjligtvis inte tillräckligt stor för att antända racken bredvid. Effektutvecklingen antar en tillväxt som motsvarar en fastkurva samt maxeffekten antas bli 3000 kW.

- Antändningskälla – en cigarettfimp som inte har blivit ordentligt släckt, ligger och glöder i en jackficka.
- Brandtillväxt – rack ett har en brandtillväxt som motsvarar en fastkurva, $\alpha = 0,047 \text{ kW} / \text{s}^2$.
- Maxeffekt – 3000 kW, maxeffekt uppnås efter ca 250 sekunder för ett rack.

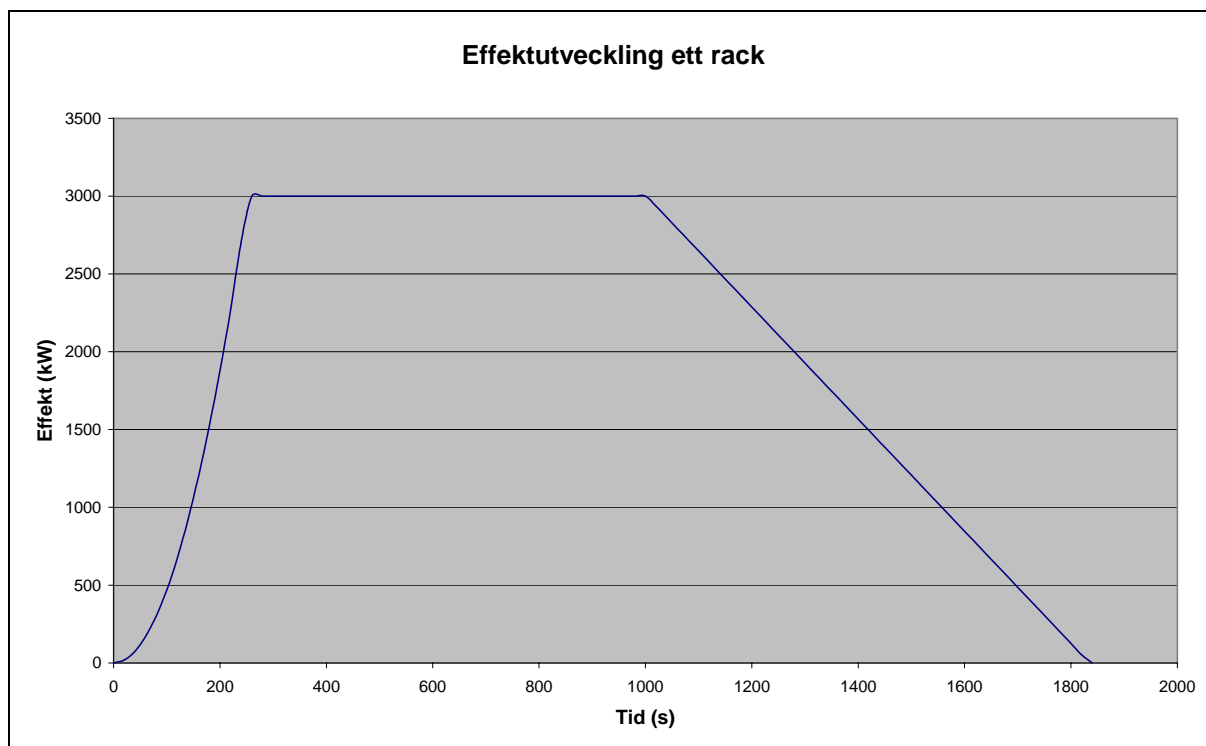


Fig. 9. Effektutvecklingen som funktion av tiden för ett brinnande rack.

4.5.8 CFAST-simulering av brand i ett rack inne i garderoben

Parameter	Tid till kritiska förhållanden
Strålning mot golv	Når ej k.f
Temperatur övre lagret	80°C efter 3 minuter i garderoben, dangolvet når ej k.f
Temperatur undre lagret	Når ej k.f
Höjd brandgaslager	2,05 m efter nästan 3 minuter i garderoben, 2,1 m på dangolvet efter 9,5 minuter

Tabell 2. Tid till kritiska förhållanden för ett brinnande rack

Tabellen visar ingen större skillnad mot fallet då tre rack brinner. Anledningen är att det tar 340 sekunder till antändning av de andra två racken, därför blir värdena desamma i det tidigare skedet av brandförloppet.

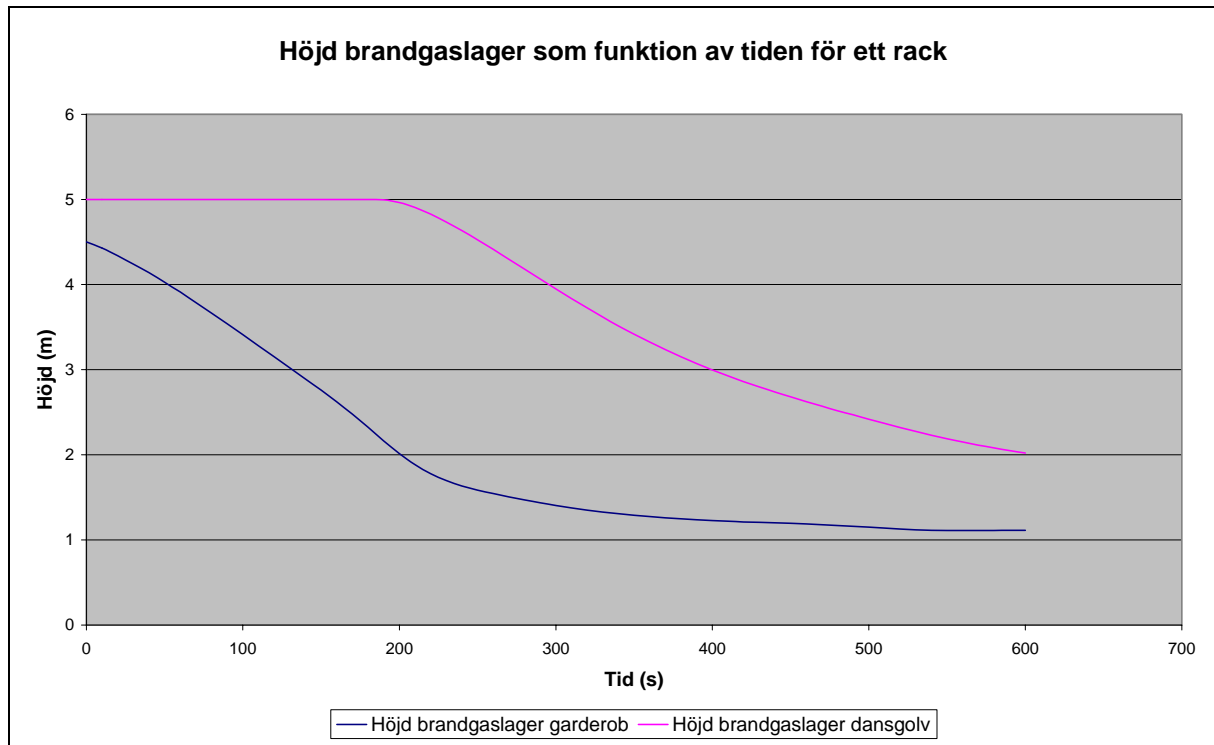


Fig. 10. Höjd på brandgaslagret som funktion av tiden för ett rack

Se bilaga C för diagram som visar temperatur och strålning som funktion av tiden för brand i ett rack.

4.5.9 Simulex-simulering av brand i garderob

I denna simulering går ingen ut via huvudingångarna med anledning av att garderoben rökfylls relativt snabbt och kritiska förhållanden nås efter ca 3 minuter. Den kritiska tiden i stora salen är 9,2 minuter.

Uppdelning hur personerna går ut via utgångarna har antagits enligt kriteriet att huvudutgången är blockerad och att de flesta beger sig mot den närmaste synliga nödutgången (se figur 11). I en verklig brandsituation är det svårt att veta till vilken utgång ett visst antal personer går ut genom.

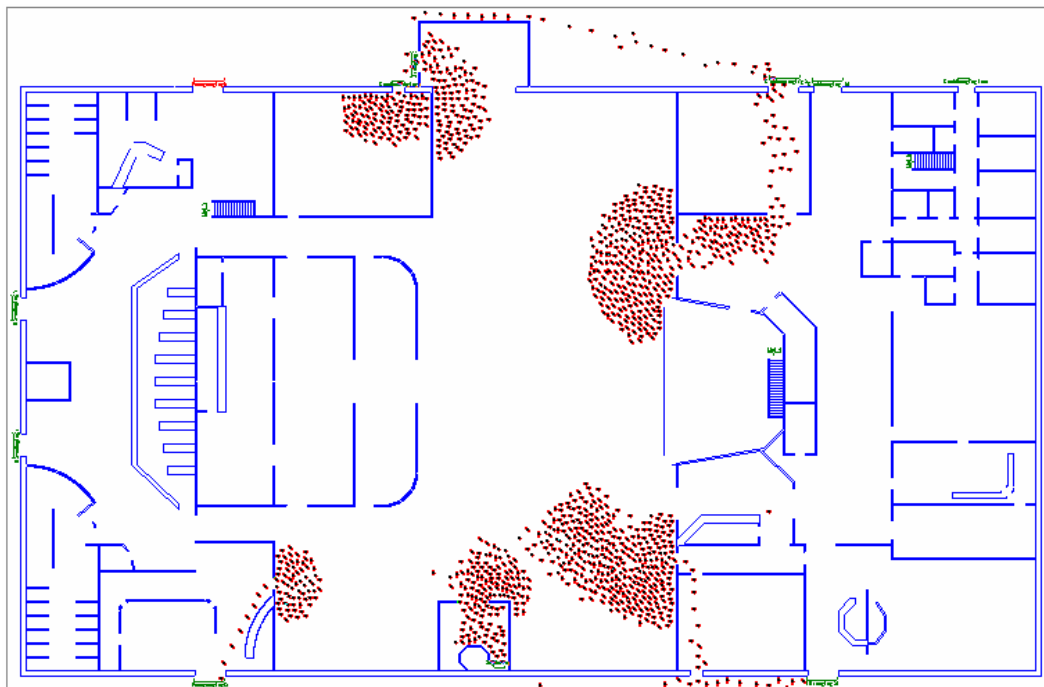


Fig. 11. Utrymning vid garderobsbrand 1800 personer

4.5.10 Resultat

Garderob	1800 pers	600 pers
Förflyttningstid	6:35	4:40
Varseblivning och beslut och reaktionstid	2:00	2:00
Utrymningstid	8:35	6:40

Tabell 3. Tid i minuter för utrymning med 1800 respektive 600 personer

Utrymningstiden för en garderobsbrand blev för 1800 personer 8 minuter och 35 sekunder, samt 6 minuter och 40 sekunder för 600 personer. Kritiska nivåer för brandgaslagrets höjd är 9,2 minuter på dansgolvet. Det innebär att en tillfredsställande utrymning för maximalt antal gäster kommer att kunna ske.

4.6 Källarbrand

En brand i källaren bedöms som både trolig och allvarlig. Detta på grund av att lokalen innehåller mycket brännbara inventarier, antändningskällor i form av självantändande oljetrasor, elektrisk apparatur, värmeutveckling vid borning och sågning samt den ständigt

närvarande risken av en kvarglömd cigarettfimp i papperskorgen. Trots förbudet anses det inte osannolikt att någon av artisterna från de intilliggande logerna tar sig ett bloss i skydd av verkstadens avskildhet. Inverkan av en brand i källarens verkstad anses vidare kunna bli stor, huvudsakligen beroende på att en brand i detta utrymme sannolikt kan fortgå under lång tid för att till slut utvecklas till en fullt utvecklad brand. Brandgasspridningen från denna brand kan sprida sig till markplanet och orsaka rökfyllnad av danslokalen.

4.6.1 Effektutveckling

Verkstaden mäter $7 \cdot 4 \cdot 2,4 \text{ m}^3$ med en dörröppning på $2,1 \cdot 0,9 \text{ m}^2$. Den största möjliga effekten vid en ventilationskontrollerad brand beräknas med formeln $Q_{\max} = 13,1 \cdot 0,23 \cdot 0,5 \cdot A_o \cdot \sqrt{H_o}$ (Karlsson B, Quintiere J G, 2000) vilket ger en teoretisk maximal effektutveckling på 4 MW.

I förrådet finns möbler, pallar och ett antal enklare hyllor av trä som täcker väggarna (se figur 12). På dessa hyllor står en mängd färgburkar, träföremål, textilier samt kartonger med varierande brännbart innehåll.



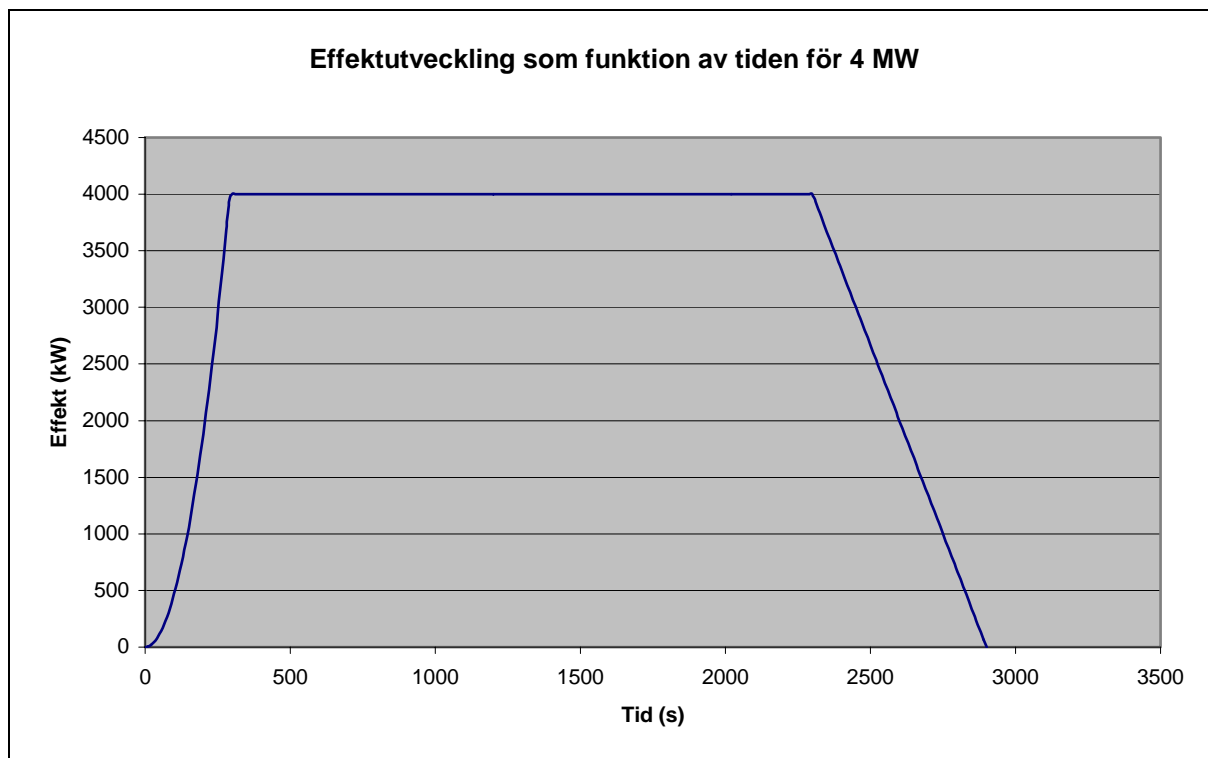
Fig. 12. Verkstaden i källaren

För att uppskatta brandbelastningen i utrymmet antas inventarierna kunna representeras av fem staplar av träpallar staplade till en dryg meters höjd. Dessa anger vid förbränning en effekt av 18 MW (Särdqvist S, 1993) vilket är mer än den teoretiska maxeffekten.

En annan jämförbar approximation av brandbelastningen i rummet är att golvytan anses täckt av träpallar staplade till en halv meters höjd. Detta ger en total möjlig effekt vid brand om $1,4 \text{ MW/m}^2$, totalt på utrymmets 28 m^2 således 40 MW (Karlsson & Quintiere 2000). Även om man antar att enbart en fjärdedel av detta material brinner samtidigt överstiger den potentiella effektutvecklingen vid en bränslekontrollerad brand vida den tillgängliga syremängden i verkstaden. Detta skulle ge ett dimensionerande värde på 4 MW men eftersom en del av de oförbrända pyrolysgaserna kan antändas utanför brandrummet och brinna i korridoren utanför blir det dimensionerande värdet i känslighetsanalysen 6 MW.

Förekomsten av pappersföremål och allmänt lättantändligt bråte ger rimligen ett snabbt alfavärde, $0,047 \text{ kW/s}^2$ (Karlsson & Quintiere, 2000). Med formeln $\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$ beräknas tiden till att maximal effekt uppnås, vilket ger 292 sekunder. För att räkna ut varaktigheten av den utvecklade branden antas den genomsnittliga effektiva förbränningsvärmens $\Delta H_{C,eff}(\text{medel})$ av trä, papper, plast och färg vara 20 MJ/kg (Karlsson & Quintiere, 2000).

Med en total brännbar massa i verkstaden på 600 kilo blir det 12 000 MJ enligt formeln $Q = \Delta H_{C,eff} \cdot m$.



Figur 13. Effektutveckling som funktion av tiden i källaren

Under tillväxtfasen genereras energin $Q = \alpha \int_0^t t^2 dt$ MJ, vilket med ett alfavärde på $0,047$

under 292 sekunder ger 390 MJ. Varaktighet av den utvecklade branden blir således $(12\,000 - 390) / 4 = 2900$ sekunder eller 48 minuter. Avsvalningsfasen bedöms sedan som något mer flack än tillväxtfasen.

4.6.2 Känslighetsanalys

Scenariot att dörren till förrådet är stängd beaktas inte. Rummet är med sina betongväggar att betrakta som en egen brandcell och avsaknaden av frånluftkanaler gör att en sluten brand i utrymmet inte bedöms som trolig att sprida sig. Den kan dock ligga och pyra under en längre tid varför möjligheten till snabb övertändning och i värsta fall backdraft² är att beakta om dörren plötsligt öppnas. Eftersom brandpotentialen, den möjliga brandbelastning som inventarierna kan ge upphov till, i det brännbara materialet i utrymmet vida överstiger den teoretiska ventilationsbegränsade maximala effekten finns en stor möjlighet att icke förbrända

² Explosionsartad övertändning vid plötslig syretillförsel. Kan till exempel ske om dörren till ett slutet utrymme med många oförbrända brandgaser öppnas.

brandgaser antänds utanför rummet. För att kompensera för denna ytterligare brandbelastning i källaren simuleras vid CFAST beräkningar en brandeffekt om 6 MW.

Maximal effekt uppnås efter 357 sekunder enligt formeln $\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$ med en effekt på 6 MW.

Under tillväxtfasen genereras energin $Q = \alpha \int_0^t t^2 dt$ MJ, vilket med ett alfavärde på 0,047

under 357 sekunder ger 715 MJ. Varaktighet av den utvecklade branden blir således $(12\ 000 - 715) / 6 = 1880$ sekunder eller 31 minuter. Avsvlningsfasen bedöms sedan som något mer flack än tillväxtfasen.

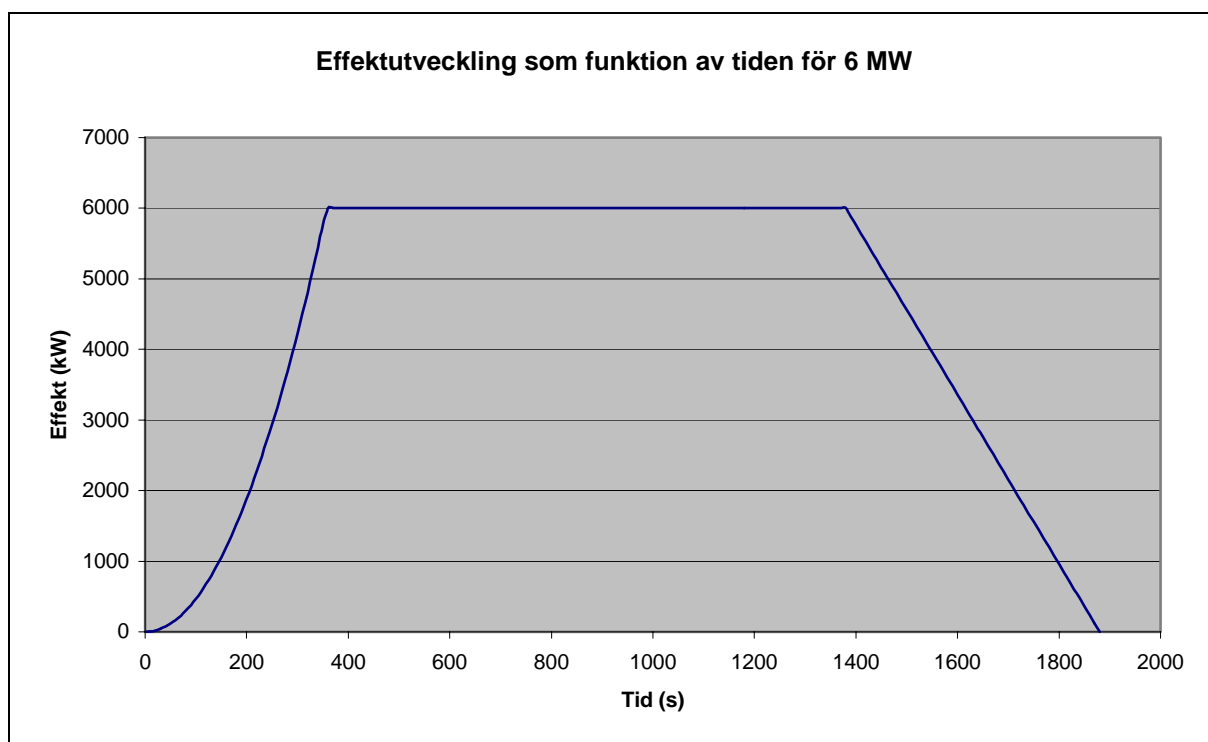


Fig. 14. Effektutveckling som funktion av tiden för källarbranden med hänsyn tagen till oförbrända gaser i korridoren utanför

4.6.3 CFAST-simulering av brand i källare

Eftersom geometrin i byggnaden är komplicerad med många sammanhängande rum och korridorer bedöms handberäkningar inte vara tillförlitliga. Datorsimuleringar i CFAST används för att estimeras brandgasspridning, strålning från brandgaslager och temperatur i sammanlänkade utrymmen som resultat av en brand på 6 MW i källaren enligt ovanstående effektkurva. Kritiska värden uppnås mycket snabbt i verkstaden och den angränsande korridoren men då dessa måste vara tömda på folk för att en brand överhuvudtaget ska kunna utvecklas obemärkt beaktas inte dessa utrymmen. Av intresse är istället dansgolvet (som står i förbindelse med källaren via två korridorer och trappa) samt utrymmet bakom dansgolvet, sammanbundet med kök och delar av matsalen. Då distansen mellan branden och dessa utrymmen är stor framkommer det av resultaten att varken strålning mot golv eller temperaturhöjningen är signifikant. Temperaturen i det lägre lagret ökar med storleksordningen en grad. Istället är det den relativt svala brandgasen som orsakar utrymningshinder på övervåningen efter en tid.

Diagrammen visar höjden i meter mellan golv och brandgaslager som funktion av tid på dansgolvet och utrymmet bakom scenen vid en brand i källarens verkstad.

Bakom scenen:

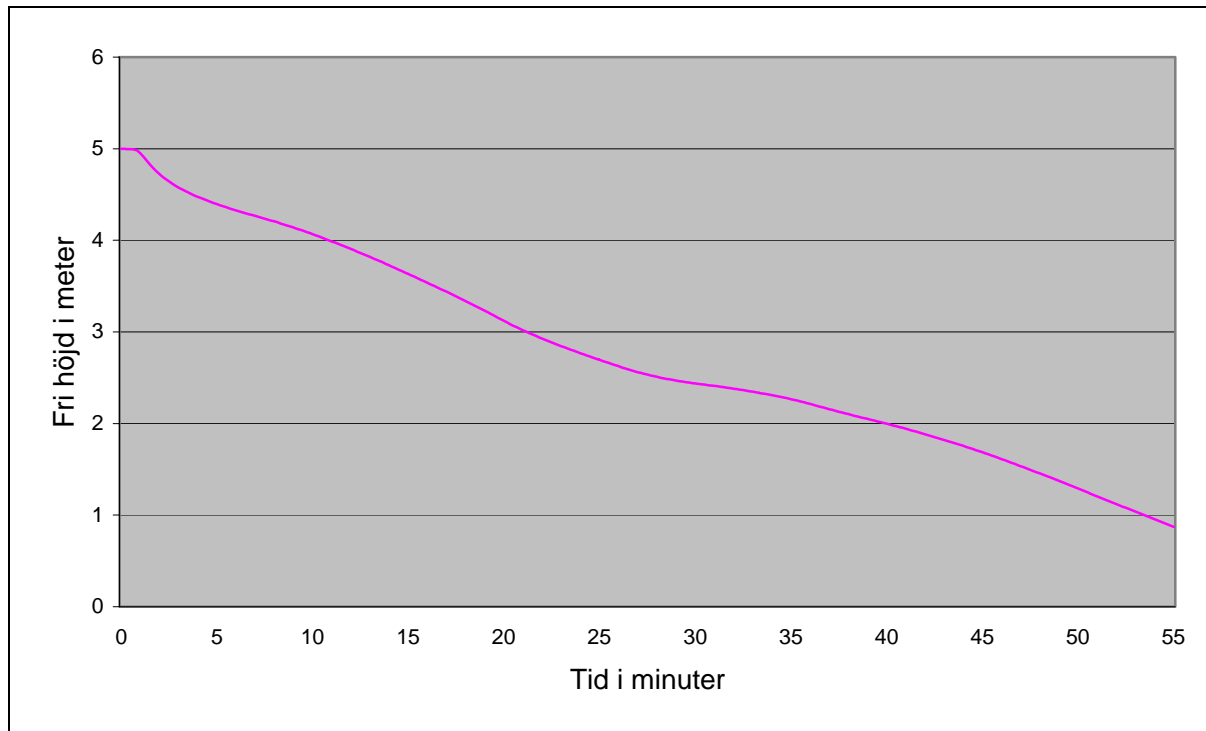


Fig. 15. Brandgaslagrets höjd i utrymmet bakom scenen

Dansgolvet:

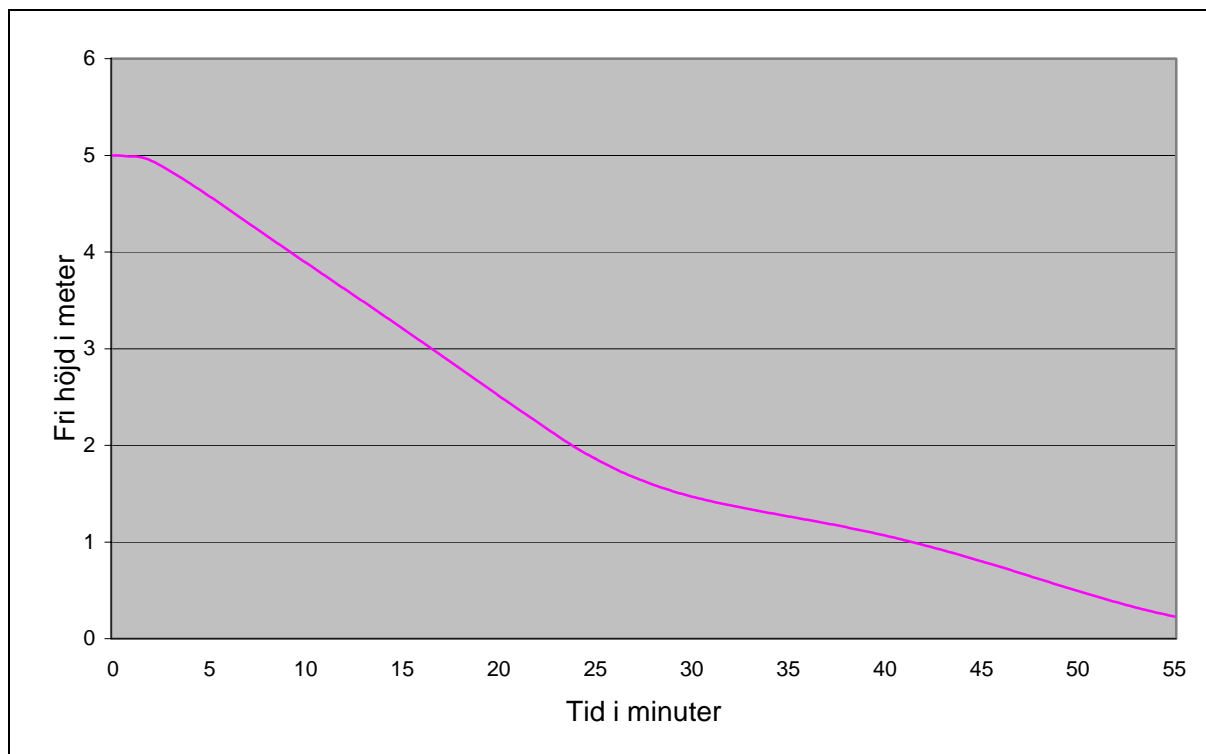


Fig. 14. Brandgaslagrets höjd på dansgolvet

Det framgår att efter 40 respektive 20 minuter efter att en brand startat i källaren är förhållandena sådana att en säker utrymning inte längre kan ske. Lokalen måste därför vara tömd inom denna minsta dimensionerande tidsrymd.

4.7 Scenbrand

4.7.1 Effektutveckling

Ett annat scenario som kan inträffa är att hela scengolvet börjar brinna efter att skräp under scenen antänds. Detta kan vara fallet då en övertändning sker under scen. Scenariot kan ske antingen om en kortslutning eller annat elfel inträffar eller om en brand anläggs under scen. Området under scen är 50 cm hög och scenens area är $11 \cdot 8,8 \text{ m}^2$. Tiden 2 minuter antas för en snabb övertändning och 10 minuter som är ungefär den tid det tar för räddningstjänsten att anlända. För att en övertändning ska ske under scenen krävs en effektutveckling på 440 kW om tiden 2 minuter används och 300 kW då tiden är 10 minuter (se bilaga B). För att nå en övertändning är effektutvecklingen som krävs ganska låg vilket medför att detta är ett troligt scenario.

Den maximala effektutvecklingen om hela scengolvet börjar brinna, efter en övertändning under scenen kan också beräknas med följande formel $\dot{Q} = A_f m'' \chi \Delta H_c$.

Eftersom syretillgången hela tiden är god kommer branden aldrig att bli ventilationsventilerad och den maximala effektutvecklingen blir då 6,5 MW. Maxeffekt nås efter ca 12 minuter och bränslet räcker i ca 30 minuter innan branden börjar avta (för beräkningar se bilaga B). Med givna värden blir effektutvecklingskurvan enligt nedan.

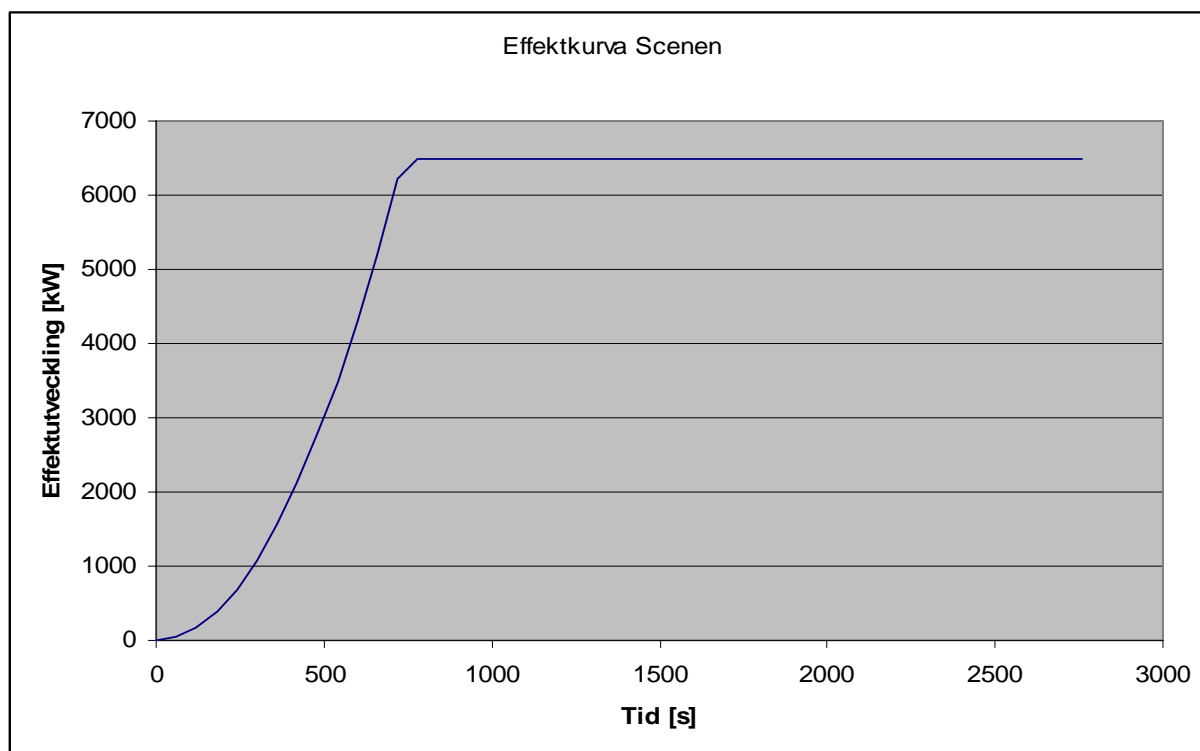


Fig. 16. Effektutveckling som funktion av tiden för scenbranden

4.7.2 CFAST-simulering av brand på scen

CFAST visar att om en brand uppkommer på scenen kommer brandgaslagrets höjd att nå en kritisk höjd efter 10 minuter och i rummet bakom scenen efter 8 minuter. Det är denna faktor som först uppnår kritiska förhållanden, och blir därmed den dimensionerande faktorn. Under den simulerade tiden som var 15 minuter kommer temperaturen inte att nå kritiskt temperatur 80°C i något rum under brandgaslagret. Temperaturen i brandgaslagret uppnår kritisk temperatur efter 7 minuter på dansgolvet och i rummet bakom scenen efter 13 minuter.

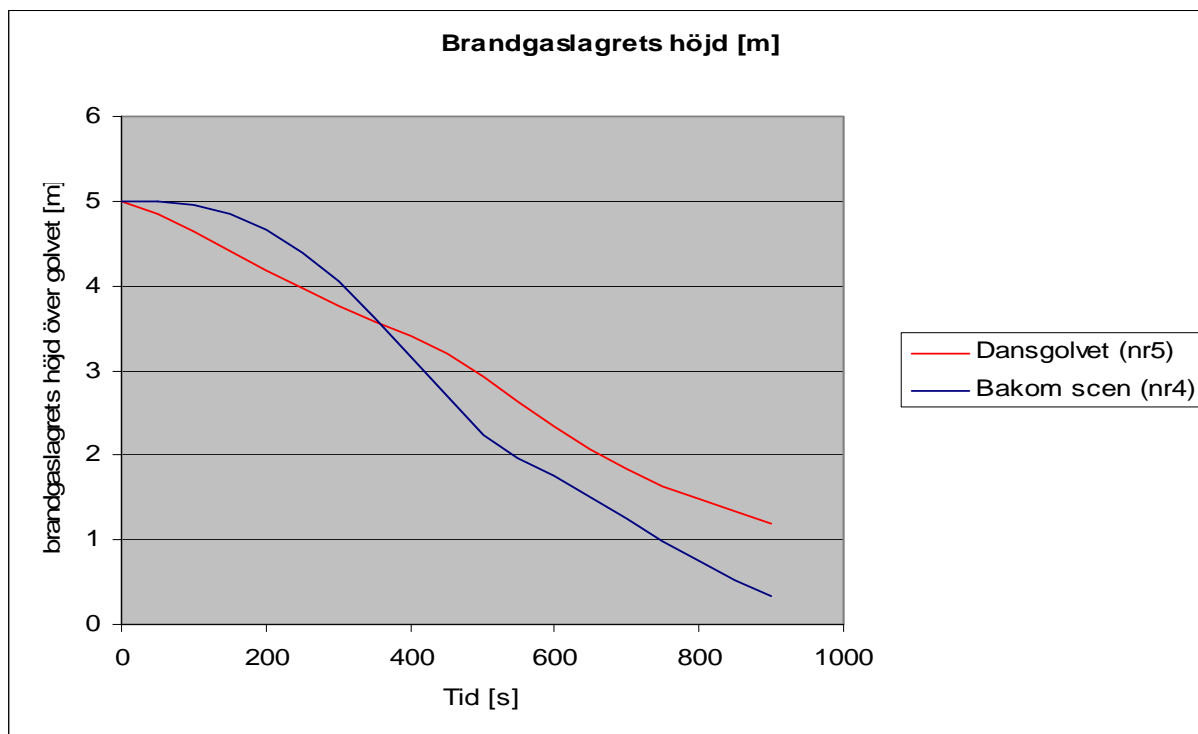


Fig. 17. Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden

Värmestrålningen som också utgör en av kritiska faktorerna bör ej överstiga $2,5 \text{ kW/m}^2$. I simuleringen kom strålningen aldrig upp till detta värde i något av rummen.

Parameter	Tid till kritiska förhållanden
Strålning mot golv	Når ej k.f
Temperatur övre lagret	80°C efter 7 minuter på dansgolvet, bakom scenen är temperaturen 80°C efter 13 minuter
Temperatur undre lagret	Når ej k.f
Höjd brandgaslager	2,1 m på dansgolvet efter 9,5 minuter, bakom scenen nås 2,1 m efter 8 minuter ³

Tabell 4. Tid till kritiska förhållanden.

Resterande rum i lokalen var inte vid något tillfälle under kritiska förhållande.

³ Denna tid är mindre än den totala utrymningstiden men simuleringar har visat att ingen befinner sig i utrymmet bakom scenen 8 minuter efter en detekterad brand.

4.7.3 Känslighetsanalys

När alfavärdet ökades till ett värde på $0,030 \text{ kW/m}^2$ så minskade tiden till kritiska förhållanden. Att uppnå brandgaslagrets kritiska höjd i rummet bakom scen tog endast 7 minuter till skillnad från 8 minuter från tidigare simulering. På dansgolvet var tiderna 8 minuter till skillnad från 9,5 minuter. För övriga utdata var resultaten i stort sett samma som i tidigare simulering. Detta visar att tid till kritiska förhållanden blir mindre än tid till utrymning vid en högre effektutveckling.

Då ursprungs alfavärdet behölls men maxeffekten ökades till 11000 kW , blev resultaten exakt de samma som i den första simuleringen eftersom simuleringen endast sträckte sig 15 minuter.

Rumshöjden måste ses som den avgörande variabeln vid simuleringen. Detta eftersom kritiska förhållanden med avseende på brandgaslagrets höjd är helt beroende på geometrin. Lägre rumshöjd ger större återstrålning från brandgaser och väggar, vilket i sin tur medför ett snabbare brandförlopp.

4.7.4 Simulex-simulering av brand på scen och i källare

I denna simulering antas att cirka 75% av människorna utrymmer via entrédörrarna eftersom det är den utgången som de flesta kom in igenom och därför söker sig ut genom samma utgång (Frantzich H, 2001). Personerna i lokalen har därför placerats ut så att tre fjärdedelar söker sig till huvudingången oavsett var de befinner sig i lokalen medan de övriga går till närmaste nödutgång (se figur 19).

Samma förutsättningar används till brand på scen och källare. Scenbranden ger mest rök i lokalen. Om utrymning sker säkert med en brand på scen, kommer utrymning med en brand i källaren också göra det, eftersom röken från källaren letar sig upp där scenbranden börjar och förhållandena blir likvärdiga. Kritisk tid för en scenbrand är i stora salen 10 minuter och utrymnet bakom scen 8 minuter. Kritisk tid för källarbrand uppe i stora salen är 23 minuter.

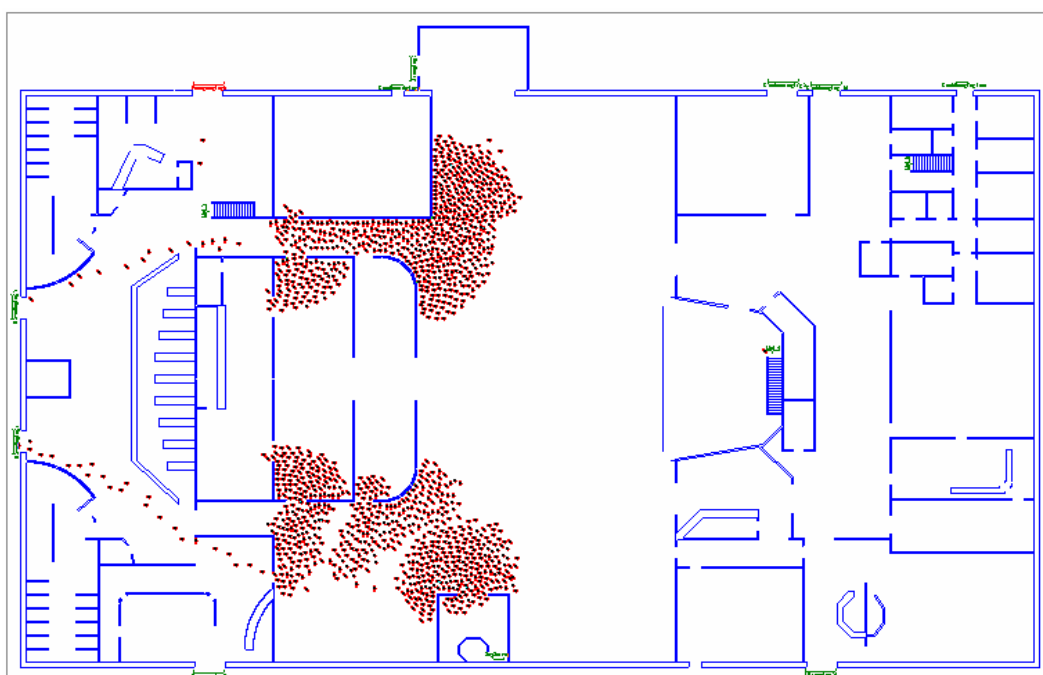


Fig. 19. Utrymning vid scenbrand

4.7.5 Resultat

Scen	1800 pers	600 pers
Förflyttningstid	7:20	3:00
Varseblivning och beslut och reaktionstid	2:00	2:00
Utrymningstid	9:20	5:00

Tabell 5. Tid i minuter för utrymning med 1800 respektive 600 personer

Utrymningstiden för scenbranden för 1800 personer blev 9 minuter och 20 sekunder, det är bara 10 sekunder tills kritiska förhållanden uppstår på dansgolvet. Samtidigt när brandgaslagret kritiska nivåer bakom scenen efter 8 minuter. Dimensionerande för utrymning blir förhållandena på dansgolvet då ingen bedöms vistas bakom scenen 8 minuter efter en startad brand varför tillräcklig säkerhetsnivå, om än med små marginaler, anses uppfyllda.

4.7.6 Känslighetsanalys

För samma antal personer får man olika tider beroende på vilka utgångar man väljer och hur många som ska gå ut genom respektive utgång. Beroende på placering av personerna ändrades utrymningstiden. Då antalet personer blev fler ökade även utrymningstiden. Programmet är väldigt känsligt, ibland klumpar personer ihop sig och går in i varandra och kan inte komma loss. Tiderna som man får ut måste beaktas med försiktighet och inte som ett faktum. Men det är till stor hjälp att få en hänvisning om tiderna.

Entrédörrarnas bredd är inte av signifikant betydelse för utrymningsförloppet. Simuleringar av dörrbredder på 2 * 90 cm, 2* 180 cm och 2* 270 cm ger i stort sätt samma värden då flaskhalsarna i en massutrymningssituation är gångbredden mellan dansgolvet och foajén (se figur 19).

Dessa flaskhalsar gör också att de lösa inventarierna i Sundspärlan har mycket begränsad betydelse för utrymningstiderna. Eftersom trängseln är stor vid utgångarna påverkar den extra tid det tar att runda exempelvis uppställda montrar eller bord i lokalen inte den slutgiltiga utrymningstiden. Flaskhalsarna bildas på någon minut. Det bör dock beaktas att den psykologiska effekten av att ha siktskymmande objekt i vägen vid en utrymningssituation kan skapa förvirring. Antalet gäster i lokalen om montrar eller bord är uppställda är dock av utrymmesskäl väsentligt lägre än de 1800 gäster som maximalt får vistas i lokalen varför lösa inventarier inte bedöms påverka utrymningstiden.

5 Brandskyddsindex

Håkan Frantzich har tagit fram en rapport som har för avsikt att bedöma om skolor och danslokaler har en acceptabel skyddsnivå eller ej. Bedömning sker genom 21 delfrågor där bland annat personal och deras utbildning samt kunskap om brandskydd värderas, lokalens utformning och brandskydd, tid till att räddningstjänsten anländer. Dessa delfrågor bedöms med ett siffervärde mellan 0-5. Siffervärdena används i en formel beroende på vilken fråga de avser för att bestämma ett komponentvärde. Värdena av komponenterna viktas med avseende på deras betydelse. Komponentvärdet multipliceras med komponentvikten och man erhåller en komponentsäkerhet. Komponentssäkerheterna för varje fråga adderas ihop till ett specifikt värde, detta värde indikerar om säkerheten ligger på en acceptabel nivå eller inte. Det är svårt att fastställa en acceptabel skyddsnivå utifrån ett siffervärde enligt Frantzich: ”*Det går inte att fastställa några exakta gränser för vad som kan anses vara en acceptabel skyddsnivå för de två verksamheterna eftersom antalet analyserade objekt är för litet. För danslokalerna verkar det dock som en nivå strax under 3,0 verkar indikera en acceptabel nivå...*” (Frantzich H, 2005).

5.1 Resultat

Enligt den utvärdering som gjorts på Sundspärlan har ett värde på 2.32 erhållits. Detta värde på komponentsäkerheten kan anses som ett något för lågt värde. (Frantzich H, 2005). Se vidare i bilaga D angående de ingående data som har använts.

6 Slutsats och diskussion

För scenarierna som redovisas i denna rapport är utrymningen tillfredsställande enligt de simuleringar som har gjorts med CFAST och Simulex. Värt att notera är att marginalen för utrymning jämfört med kritiska förhållanden för två av de tre scenarierna är väldigt små. Skulle effektutvecklingen vara större än de som antagits i respektive scenario kan dessvärre utrymningen komma att bli otillfredsställande (se kapitel 4.7.3). Tiderna som har erhållits ur de simuleringar och beräkningar som gjorts kan inte anses vara helt definitiva. På grund av modellernas begränsningar och de antaganden som gjorts kan tiderna variera. Schematiskt kan säkerhetsmarginalerna illustreras med nedanstående figur:

Tid i minuter

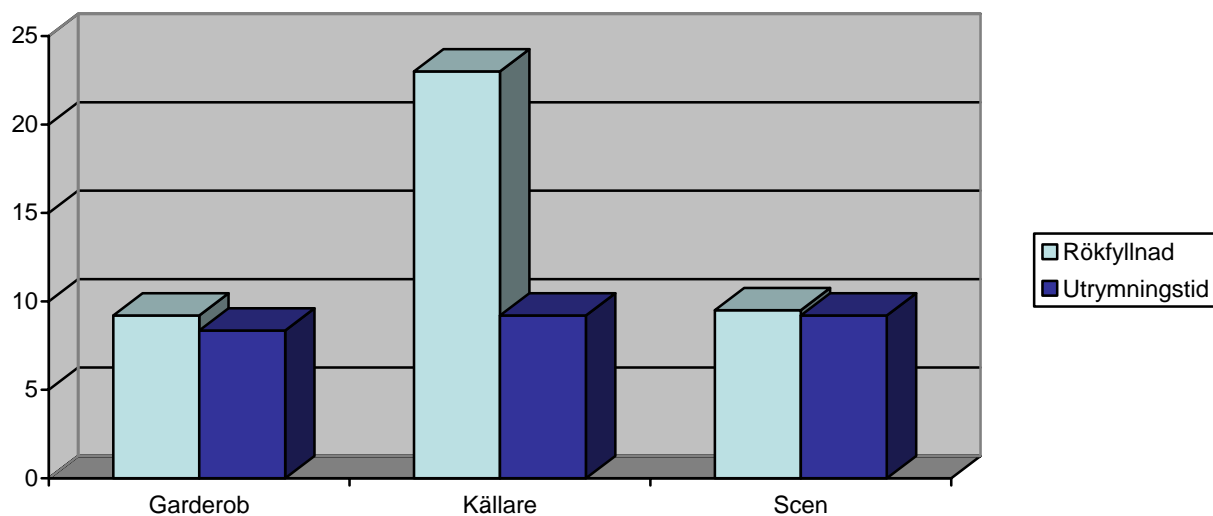


Fig. 20. Illustrering av tiderna för kritiska förhållanden och utrymningstiden vid de olika scenarierna.

Med de relativt stora osäkerheter och bedömningsvårigheter som karakteriserar en analytisk dimensionering är det inte meningsfullt att prata om tider för exempelvis utrymning i sekunder. Två olika simuleringar med identiska förhållanden i Simulex kan ge värden som skiljer sig tiotals sekunder åt eller mer. Sänker man noggrannheten i de erhållna värdena till enheten minuter ser förhållandet mellan utrymning och kritiska förhållanden ut enligt nedanstående tabell:

	Scen	Garderob	Källare
Tid till kritiska förhållanden	10	9	23
Utrymningstid 1800 personer	9	9	9
Utrymningstid 600 personer	6	7	6
Marginal 1800 personer	1	0	14
Marginal 600 personer	4	2	17

Tabell 6: Sammanställning av tiden avrundat i hela minuter till kritiska förhållanden uppstår och utrymningstiden vid olika antal personer i byggnaden.

Det kanske mest osäkra antaget i denna rapport gäller tiden för varseblivning samt beslut- och reaktion. Den är relativt kort i denna rapport. Sammanlagt har den satts till 2 minuter. Denna kan tyckas vara relativt kort för en större mängd människor, sannolikt under olika grad av berusning, men tiden är baserad på följande argument: Varseblivningstiden är mycket kort för garderobsbranden eftersom personalen borde upptäcka en brand nästan omedelbart. Det förutsätts att garderoben alltid är bemannad. Även för scenbranden förutsätter vi en kort varseblivningstid för en brand där är väl synlig och upptäcks snabbt. En brand i källaren däremot skulle kunna få brinna ostört eftersom den varken är synlig eller konstant bemannad, där är dock tiden till kritiska förhållanden så pass lång att längre varseblivning och beslut- och reaktionstid ändå inte borde göra att utrymningstiden blir längre än tiden till kritiska förhållanden. Dessutom kommer personalen efter det att en brand detekterats omedelbart att starta utrymningslarmet. Detta består av ett talat meddelande som läses upp samtidigt som ljuset tänds och musiken tystnar. I kombination med att personalen i enlighet med de råd som ges i denna rapport därefter börjar öppna nödutgångar och visa gästerna närmaste vägen ut kommer besluts- och reaktionstiden att vara begränsad. Slutligen är den tid som avses innan utrymning påbörjas den tid det tar för de första gästerna att lämna lokalen, inte den tid tills alla eller ens majoriteten har förstått att det brinner. Eftersom det kommer bildas köer vid utgångar och förträngningar i byggnaden (se figur 19) räcker det med att några börjar lämna byggnaden för att det ska betraktas som att utrymningen har påbörjats. De personer som lämnar först kommer sannolikt att vara de som är närmast de nödutgångar personalen öppnar och visar enligt instruktioner. När en utrymning sedan har påbörjats kommer resterande gäster att följa kollektivet ut ur byggnaden även om den individuella reaktionstiden av olika anledningar är mycket lång.

Det bör dock understrykas att personalen måste vara informerad om sina uppgifter i händelse av brand (se ”förslag till förbättringar”) för att förutsättningarna för utrymningsscenerierna i denna rapport ska kunna antas vara uppfyllda

Fler aspekter som påverkat våra resultat är att brandbelastningen i våra scenarier är stor, att branden inte antas vara bekämpad av handbrandsläckare och att maximalt antal gäster är närvarande i lokalen, en situation som sällan uppstår. Detta bidrar till att utrymningssituationen trots de små marginalerna bedöms som tillfredsställande, förutsatt att de åtgärder som föreslås vidtas.

Förutsättningarna är att personalen vet vad de ska göra i en brandsituation och handlar rätt.

Marginalerna kan ökas genom att placera ut detektorer i Sundspärlans lokaler, detta skulle leda till en snabbare detektion och öka personsäkerheten. En annan fördel är att försäkringspremien blir lägre och både ekonomi och utrymningssäkerhet förbättras. Enligt försäkringsbolaget skulle automatisk larmöverföring till räddningstjänsten krävas för lägre premie.

6.1 Val av scenarier

De tre scenarier som behandlats har valts utifrån olika aspekter angående säkerheten. Garderobsbranden valdes på grund av att huvudingången kan blockeras av brandgaser och värmestrålning, vilket gör att utrymningen kan bli besvärlig. Studier visar att de flesta väljer att använda den utgång som de kom in igenom, utrymning via andra utgångar kommer därför att ta längre tid eftersom en ny utgång måste hittas. Källarbranden valdes på grund av den höga brandbelastningen, dessutom får en brand i källaren utvecklas obehindrat under en längre tid utan att någon upptäcker den. Scenbranden har även den hög brandbelastning. En

brand under scengolvet skulle upptäckas betydligt snabbare än en brand i källaren, men eftersom scenen är centralt placerad är en brand på scenen ändå ett allvarligt scenario.

Andra brandscenarier är fullt möjliga där konsekvenserna skulle kunna bli allvarliga, dock har de tre scenarion som behandlats antagits vara de värsta. De tre scenarion som har valts täcker i stor utsträckning in utrymningsproblematiken på Sundspärlan.

6.2 Brandskyddsindex

Brandskyddsindexet visar ett något lågt värde, dock kan detta indexvärde ökas genom att till exempel utbilda personalen, installera detektorer och göra en insatsplan för Sundspärlan.

7 Förslag till förbättringar

Förslagen till förbättringar presenteras i bedömt prioritetsordning där de två första skall åtgärdas för att utrymningssituationen ska kunna betraktas som tillfredsställande.

Ansvarig för kvällens evenemang på Sundspärlan skall instrueras av vikten av snabb utrymning i händelse av brand. Han eller hon skall samla all personal som skall arbeta under kvällen innan gästerna anländer, visa nödutgångar och handbrandsläckare och instruera att när utrymningslarm ljuder ska samtliga nödutgångar ställas upp och gästerna vänligen men bestämt visas närmaste väg ut ur byggnaden. Personalen i garderoben skall göras extra uppmärksam av vikten att begränsa en brand i klädracken. För att ytterligare utöka säkerheten i garderoben skall en extra brandsläckare placeras ut där.

Detektorer i källaren skall installeras då rökfylld och brand kan uppstå i källaren utan att någon på entréplan uppmärksammas. En tidig detektion i källaren skulle underlätta och påskynda utrymningen på entréplan genom att detektorerna kopplas till det befintliga utrymningslarmet. På entréplan skall detektorer installeras för att öka personsäkerheten genom tidig detektion av svårupptäckta bränder. Detta skulle även medföra lägre försäkringspremier för Sundspärlan om larmet kopplas direkt till Räddningstjänsten.

Ut- och ingången vid personaldelen på den nordöstra sidan bör göras till en nödutgång för att minimera gångavstånd i händelse av brand (se ritning 1). Samtliga utrymningsskyltar bör ses över kontinuerligt så att all belysning alltid fungerar.

En utrymningskarta samt en uppsamlingsplats bör upprättas.

Problemet med uppställda dörrar i källaren bör åtgärdas, lämpligen med magnetuppställda dörrar som automatiskt stängs vid brand.

Draperiet vid utrymmet där stolarna förvaras på den nordöstra sidan bör bytas ut mot ett tändskyddat material som ej droppar vid brand. De beklädnader i taket som innehåller plastmaterial bör tas bort.

Utrymningslarmet kunde göras mer effektivt genom att ta bort informationen om att hissarna ej ska användas då sådana inte finns i byggnaden. Enligt forskningsstudier har det visat sig att ju längre meddelande desto mindre information tar personen till sig, (SFPE, 2002).

Nödutgången vid utrymmet där stolarna förvaras på den nordöstra sidan skulle kunna tas bort, då kravet för maximalt gångavstånd ändå uppfylls (se ritning 1). Istället kan man använda nödutgången alldeles bredvid, därmed kan utrymmet där stolarna förvaras på den nordöstra sidan användas just för förvaring. Den nödutgång som ska vara kvar skall absolut inte blockeras med varuleveranser.

8 Referenslista

Tryckta

Abrahamsson, M: *Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler*, Report 5007, Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik 1997

Burström P G: *Byggnadsmaterial*, Studentlitteratur, Lund 2001

Drysdale D: *Fire Dynamics*, Wiley, Chichester 2003

Frantzich H: *Tid för utrymning vid brand* P21-365/01, Räddningsverket, Karlstad 2001

Frantzich H: *Brandskyddsvärdering Brandskyddsindex för skola och danslokal*, Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik 2005

Gojkovic D, föreläsning i CFAST, BTR, Brandteknisk Riskvärdering, hösten 2005

Johansson B: *Analys av utrymningssäkerheten vid brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå*, Report 5135, Lund Tekniska Högskola, Brandteknik 2004

Karlsson B, Quintiere J: *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press, London 2000

SFPE: *Engineering Guide to Human Behavior in Fire*, 2002

Yard, Stefan: *Kreditkalkyler*, Studentlitteratur, Lund 1995

Muntliga

Johansson, Sege. Trygg Hansa. Intervju 14 November 2005.

Strömberg, Leif. Trygg Hansa. Intervju 11 November 2005.

Svensson, Bertil. Trygg Hansa. Intervju 11 November 2005

Bilaga A: Brandexperiment

Brandexperiment på inventarier i Sundspärlan

Syfte

Syftet med experimentet var att undersöka vissa inventarier som inte är standardiserade ur brandsynpunkt⁴ på objekt Sundspärlan med avseende på antändlighet, brandutveckling och beteende under strålningspåverkan. De simulerade förhållanden som undersöktes var kvarglömd cigarettfimp lagd på respektive material, tappad tändsticka, omkullvält stearinljus på dukarna och öppen låga⁵ som antändningskälla samt 10 kW/m² strålning i konkalorimeter avsedd att motsvara en brand i intilliggande objekt.

Experimentresultat

Experimenten redovisas med undersökt föremål, typ av simulering samt det resultat som erhållits. I vissa fall, exempelvis takprydnader, har vissa simuleringar, exempelvis cigarett, inte beaktats eftersom detta antändningsscenario förefaller osannolikt. Om en mindre kraftig antändningskälla gett upphov till en brand testas inte de mer kraftiga antändningskällorna.

Stolsits, gammal

En mindre del av stolarna i Sundspärlan har en äldre typ av sits med ett grovt strukturerat ytmaterial, skumfyllning och plywoodkärna.

- Cigarett: Efter att fimpen glött 7 minuter på sitsen hade den inte antänt. Viss sotbildning i tyget förekom.
- Tändsticka: Lågan i en tappad tändsticka räcker för att antända stolsitsen. Sitsen brinner långsamt under liten rökutveckling, spridnings- och tillväxthastigheten är långsam men branden självslocknar inte.
- Strålning: Efter 96 sekunder under påverkan av 10 kW strålning antänder sitsen med en gnista som utlösare. Sitsen brinner kraftigt under moderat rökutveckling.



Fig. 21. Sitsen blir bränd men antänder ej



Fig. 22. En liten låga får sitsen att brinna långsamt

⁴ Med standardiserade inventarier avses till exempel träbord och tygsoffor där data för bland annat antändning, brandspridning och effektutveckling är noggrant utredda i brandlitteraturen.

⁵ Med öppen låga avses en liten brand, till exempel i en tidning, som sprider sig till det undersökta materialet. I experimentet simulerat med en "Sievert Powergas".

Stolsits, ny

Huvuddelen av stolarna i Sundspärlan är av trä med en stoppad dyna i skumplast och flamskyddat tyg. Varken cigarettfimp, tändsticka eller ens en rejäl öppen låga antände sitsen. Vid kraftig eldning med gasbrännare avger skumplasten små mängder brandgas men så fort brännaren förs bort från materialet slocknar flammorna omedelbart. Sitsen betraktas som oantändlig.

- Cigarett: Ingen påverkan.
- Tändsticka: Ingen påverkan.
- Öppen låga: Ingen påverkan.

Gobeläng ovanför garderob

Ovanför garderoberna i foajén hänger stora dekorativa tygstycken. Varken cigaretter, tändstickor eller stearinljus antas vara rimliga antändningskällor men flammor från en intilliggande brand kan vara en orsak till antändning.

- Öppen låga: Antändning efter sju sekunder. Mycket snabb brandutveckling under produktion av brandgaser.



Fig. 23. Tyget antänder snabbt

Bordsduk

På Sundspärlan används två typer av bordsdukar, en ”vardagsvariant” i ett pappersliknande material och en ”festduk” i kraftigare tyg.

- Cigarett: Ingen effekt
- Tändsticka: Slocknar på festduken. Antänder vardagsduken omedelbart och ger upphov till en brand som sprider sig och utvecklas långsamt under liten rökutveckling.
- Stearinsljus: Antänder bordsduken efter 38 sekunder. Branden sprider sig och utvecklas snabbt under moderat rökutveckling.
- Strålning: Efter tre minuter under inverkan av 10 kW antänds festduken med en gnista och brinner kraftigt.



Fig. 24. En tändsticka antänder vardagsduken



Fig. 25 och 26. Festduken efter 30 s

Plastväxt

I foajén står några manshöga plastväxter. Dessa undersöktes primärt i syfte att utröna huruvida en kastad fimp skulle kunna vara orsak till brand. Växtens storlek är inte av den omfattningen att den utgör ett brandtekniskt problem i sig, men om den antänds kan den möjligen sprida branden till andra inventarier.

- Cigarett: Ingen effekt
- Öppen låga: Omedelbar antändning, brinner snabbt under kraftig rökutveckling.

Draperi

Det finns tre typer av draperier på Sundspärlan. Ett på scenen (1), ett som avskiljer dansgolvet (2) och ett som avskiljer stolsförvaringen i det nordöstra hörnet (3) (figur 26). Inget av dessa antänder vid påkänning av en öppen låga men draperiet (3) smälter vid upphettning och bildar droppar av smält plast vilket inte är att betrakta som lämpligt, särskilt eftersom en av nödutgångarna nås genom att passera detta draperi.

- Öppen låga: Inget draperi antänder. Ingen påverkan på draperi (1) och (2), avger gulgröna lågor vilket tyder på flamskydd. Draperi (3) smälter och droppar het plast på golvet. Samtliga draperier avger små mängder brandgas och sot.
- Strålning: Draperi (3) smälter till en plastklump och avger moderata mängder brandgas

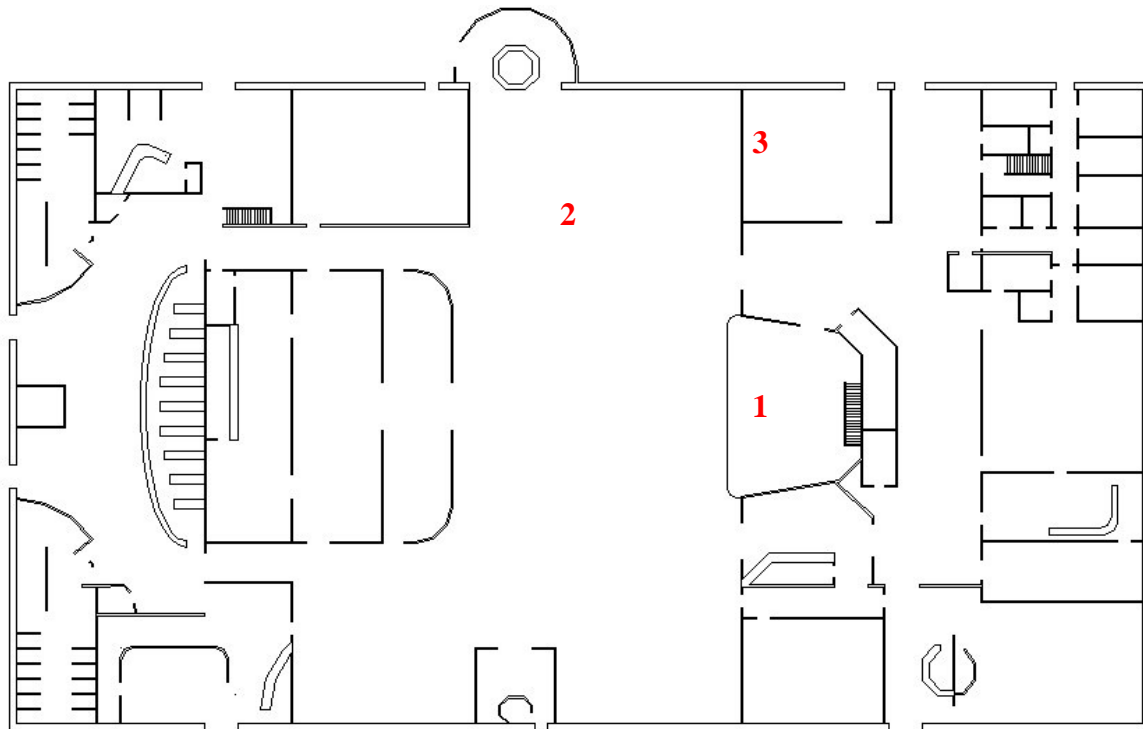


Fig. 27. Ritningen visar var draperierna 1, 2 och 3 finns

Takdekoration

I taket på dansgolvet hänger vid tillfällen stora buktande takdekorationer av lätt tyg. Dessa är som draperierna uppenbart flamskyddade men smälter på likartat sätt som draperi (3) vid upphettning vilket är ännu mer olämpligt då droppar av smält plast riskerar att träffa utrymmande personer i byggnaden.

- Öppen låga: Antänder ej men smälter och droppar plast under liten rökutveckling.

Brödbackar i kök

Under studiebesök på Sundspärlan stod bortåt 50 brödbackar i plast staplade i köket. Dessa utgör förutom fett ansamlad i fläktsystemet det kvantitativt intressant brännbara i köket. Under brandsimulering visade sig backarna svårantändliga, men utvecklades med tiden mycket kraftigt under stor brandgasproduktion.

- Strålning: Vid 10 kW smälter plasten och avger liten mängd pyrolysgas, dock inte tillräckligt för antändning ens med gnista.
- Öppen låga: Svårt att antända och långsam brandspridning. Dock utvecklade brödbacken en mycket kraftig brand med stor rökutveckling efter 10 minuter.



Fig. 28. Antändning



Fig. 29. Efter 10 min.



Fig. 30. Släckning efter 15 min.

Bilaga B: Handberäkningar

Garderobsbrand

Maxeffekt vid ventilation som begränsande faktor

$$H_{\text{öppningar}} = 2,1 \text{ m}$$

$$A_{\text{öppningar}} = 2 \cdot 1,2 \cdot 2,1 = 5,04 \text{ m}^2$$

$$m_a = 2 \cdot 0,5 \cdot A_{\text{öppning}} \cdot \sqrt{H_{\text{öppning}}} = 3,65 \text{ kg / s}$$

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

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

Maxeffekten beräknas genom:

$$\dot{Q}_{\text{max}} = \Delta H_{c,ox} \cdot 0,23 \cdot m_a = 11 \text{ MW}$$

Strålningsberäkningar mellan rack

$$A_{\text{flamma}} = \text{Racklängd} \cdot \text{Flamhöjd} = 3 \cdot \left(0,235 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02 \cdot D \right) = 13,5 \text{ m}^2$$

(Karlsson B, Quintiere J G, 2000)

Detta gäller en flamma som är helt rektangulär, vilket den inte är. Flamman antas därför ha en area på ca 10 m^2 . Att arean skulle vara exakt 10 m^2 hela tiden är ett antagande, en flamma fluktuerar och ändrar area hela tiden. Antagandet att 30 % av effekten strålar.

$$\dot{q}'' = E \cdot \phi$$

$$E = \frac{0,3 \cdot \dot{Q}}{2 \cdot A_{\text{flamma}}} = \frac{0,3 \cdot 3000}{2 \cdot 10} = 45 \text{ kW / m}^2$$

Längden mellan racken antas till ca 0,6 m. Eftersom flamman är 4,5 meter hög räknas avståndet från flammans mittpunkt till racket ut med Pytagoras sats med vissa förenklingar. Avståndet blir ca 2,3 m. Racket är 3 m långt.

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4 = 4 \cdot 0,09 = 0,42$$

$$\dot{q}'' = E \cdot \phi = 45 \cdot 0,42 = 19 \text{ kW / m}^2$$

(Drysdale D, 2003)

Scenbranden

Den effektutvecklings som krävs för övertändning under scen.

$$t_1 = 2 \text{ min}$$

$$t_2 = 10 \text{ min}$$

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}} = \sqrt{\frac{0,14 * 500 * 2700}{120}} = 39,67 \text{ W / Km}^2$$

$$\dot{Q}_{FO,1} = 610(h_k A_T A_0 \sqrt{H_0})^{0,5} = 610(39,67 \times 10^{-3} \times 207,9 \times 55 \times \sqrt{0,5})^{0,5} = 442 \text{ kW}$$

$$A_T = 0,5 \times 11,00 \times 2 + 0,5 \times 8,80 \times 2 + 8,80 \times 11,00 \times 2 - 0,5 \times 11,00 = 207,9 \text{ m}^2$$

$$h_k = \sqrt{\frac{0,14 \times 500 \times 2700}{600}} = 17,75 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

$$\dot{Q}_{FO,1} = 610(h_k A_T A_0 \sqrt{H_0})^{0,5} = 610(17,75 \times 10^{-3} \times 207,9 \times 55 \times \sqrt{0,5})^{0,5} = 296 \text{ kW}$$

Maximala effektutvecklingen om hela scengolvet börjar brinna.

$$\dot{Q} = A_f m'' \chi \Delta H_c = 11,00 \times 8,80 \times 16 \times 0,7 \times 6 \times 10^{-3} = 6,5 \text{ MW}$$

$$m'' = 6 \times 10^{-3} \text{ kg / m}^2 \text{ s}$$

Max effektutveckling med hänsyn till syretillgången.

$$A_0 = 11,00 \times 4 + 8,80 \times 4 = 79,2 \text{ m}^2$$

$$H_0 = 4 \text{ m}$$

$$\dot{Q} = 13,1 \times 79,2 \times \sqrt{4} \times 0,5 \times 0,23 = 238,6 \text{ MW}$$

Detta visar att branden aldrig kommer att bli ventilationsventilerad, då syretillgången hela tiden är god.

För att få ut den tiden det skulle ta för scenen att nå sin max effekt, antas ett mediums snabbt förlopp för branden på scenen som ett resultat av en övertändning under densamma. I detta fall motsvarar det träpallar staplade till höjden 0,45 m på scenen. Detta förlopp har ett alpha värde på 0,012 kW/s² (motsv. mediumkurva, från Enclosure Fire Dynamics).

$$t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{6,5 \times 10^3}{0,012}} = 736 \text{ s} \approx 12 \text{ min}$$

För att beräkna tiden tills hela scengolvets plywoodskiva brunnit upp används massavbrinningshastigheten 0,6 mm/min (byggnadsmaterial kap 4, kap 25).

$$t = \frac{d}{m} = \frac{20}{0,6} \approx 33 \text{ min}$$

Bilaga C: Diagram

Garderobsbrand ett rack

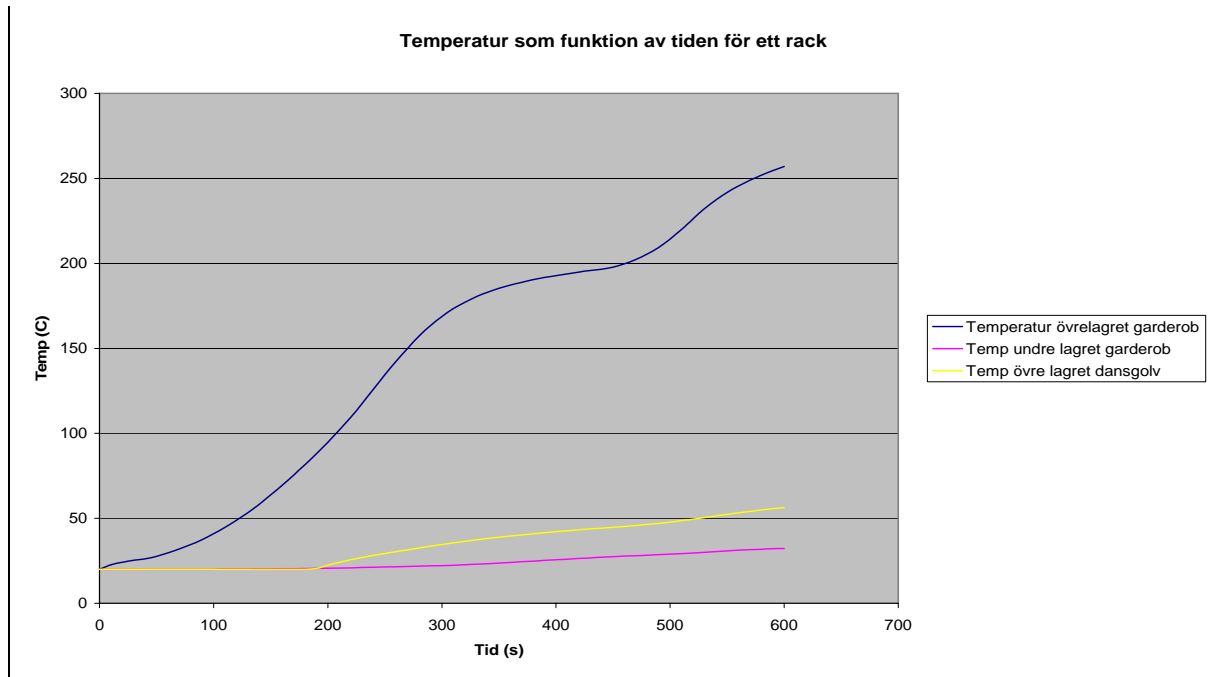


Fig. 31. Temperatur som funktion av tiden

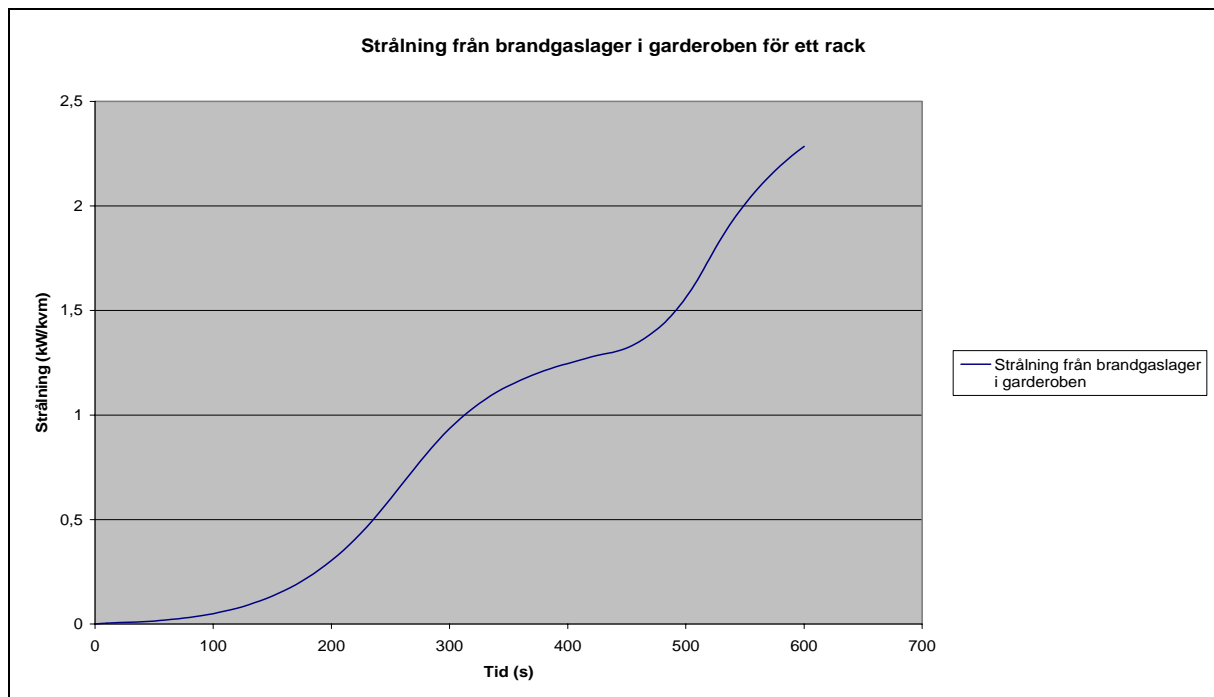


Fig. 32. Strålning från brandgaslager som funktion av tiden

Garderobsbrand tre rack

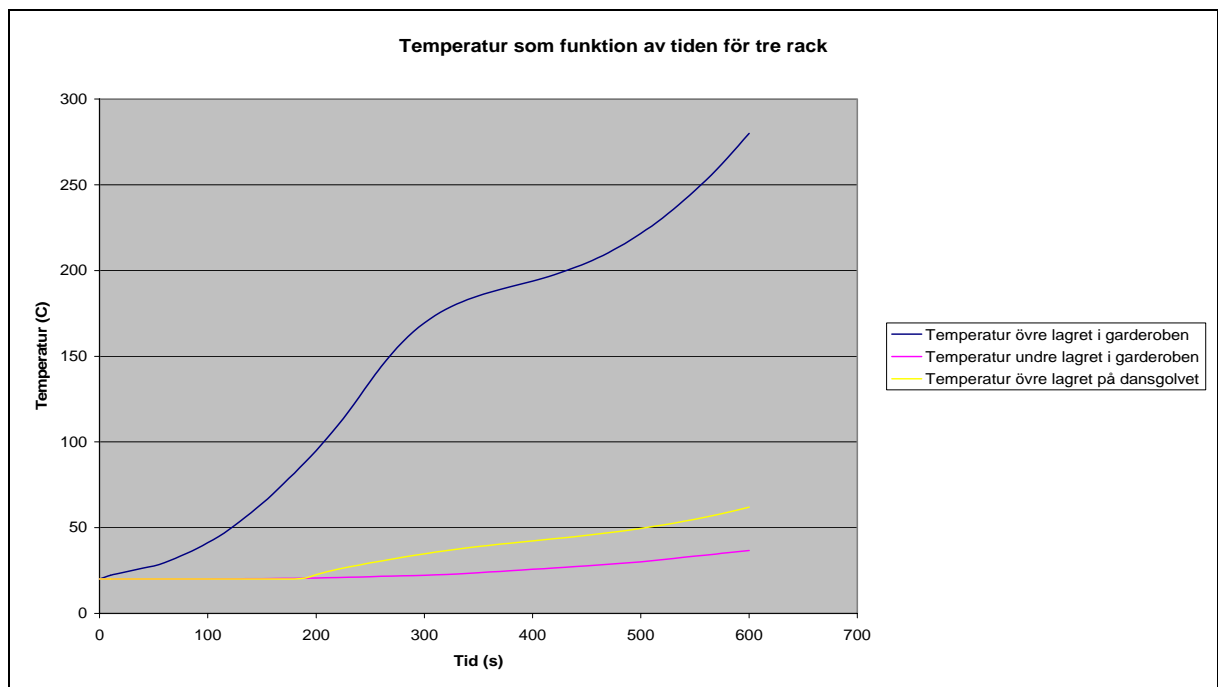


Fig. 33. Temperatur som funktion av tiden

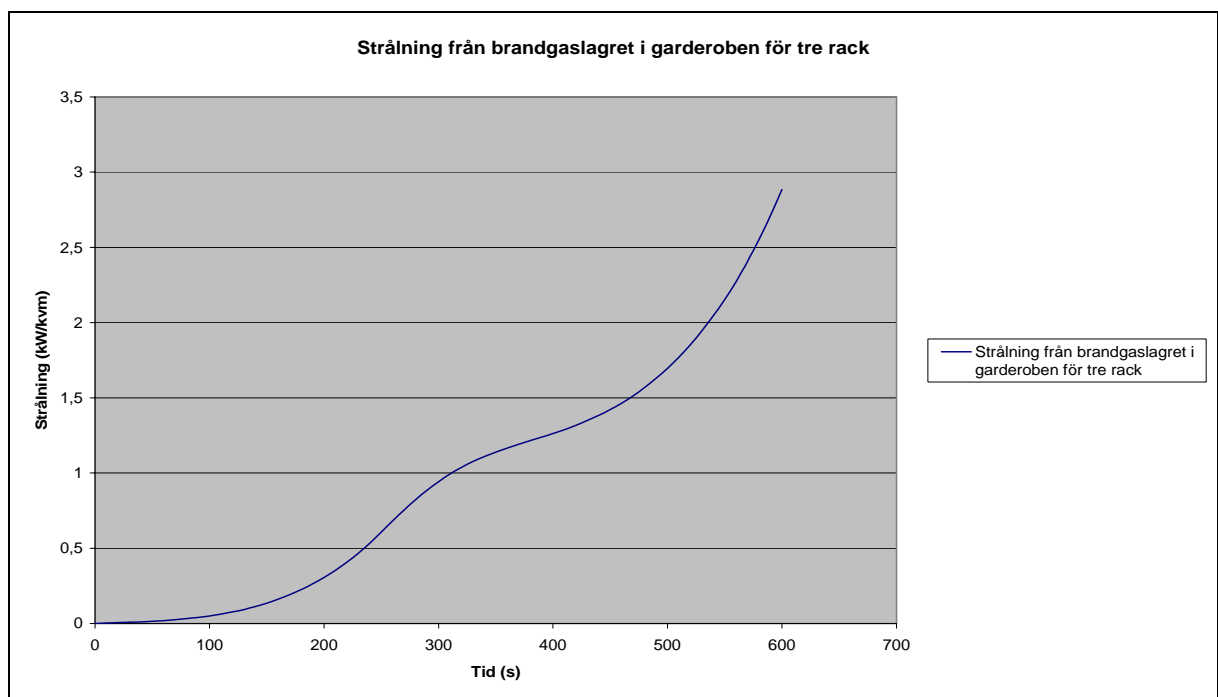


Fig. 34. Strålning från brandgaslager som funktion av tiden

Bilaga D: Ingående data till brandskyddsindex

Objektnamn:		SUNDSPÄRLAN		
Komponent	Bedömning	Komponentvärde	Komponentvikt	Komponentsäkerhet
1 Personal		2,40	0,0948	0,22752
Personalens placering (A)	1			
Utbildning och kunskap (B)	0			
Brandskyddsansvarig och befogenhet (C)	5			
2 Gäster		2,33	0,0562	0,13113333
Persontäthet (A)	5			
Åldersfördelning och alkohol (B)	1			
3 Riskkällor	3	3,00	0,0334	0,1002
4 Verksamhet	2	2,00	0,0418	0,0836
5 Lös inredning	1	1,00	0,0643	0,0643
6 Garderob	3	3,00	0,0401	0,1203
7 Organisatoriskt brandskydd		1,00	0,0695	0,0695
Ledningssystem (A)	1			
Säkerhetskultur (B)	1			
8 Drift och underhåll	5	5,00	0,0643	0,3215
9 Placering i byggnad	5	5,00	0,0397	0,1985
10 Lokalen	5	5,00	0,0453	0,2265
11 Brandcellsindelning	0	0,00	0,0564	0
12 Utrymningsvägar och förhållanden direkt innan		4,20	0,0269	0,11298
Kapacitet och hinder (A)	3			
Placering av utrymningsvägar (B)	5			
Vägledning (C)	5			
13 Dörr till och i utrymningsväg	0	0,00	0,0269	0
14 Ytskikt på väggar och tak		4,33	0,045	0,195
Ytskikt på väggar (V)	3			
Ytskikt på taket (T)	5			

15	Sprinkler	0	0,00	0,0671	0
16	Brandlarm		0,00	0,0455	0
	Typ av detektor och placering (A)	0			
	Kontrollsystem (B)	0			
	Larmöverföring (C)	0			
17	Utrymningslarm	1	1,00	0,0304	0,0304
18	Brandgasventilation	0	0,00	0,0292	0
19	Belysning och nödbelysning	4	4,00	0,0306	0,1224
20	Utrustning för brandsläckning och utrymning	4	4,00	0,0508	0,2032
21	Räddningstjänst		2,67	0,0419	0,11173333
	Typ av räddningstjänst (A)	5			
	Insatstid (B)	3			
	Förberedd insatsplan (C)	0			
Säkerhetsnivå					2,32

Tabell 7. Ingående data till brandskyddsindex.

Bilaga E: Befintligt brandskydd jämfört med BBR 2002

Nedan görs en jämförelse mellan det brandskydd som krävs och det som rekommenderas för nybyggnationer enligt Boverkets byggregler 2002. Reglerna gäller inte retroaktivt och därför inte för Sundspärlan som byggdes långt innan dessa regler kom ut. I kapitel 5 i BBR finns reglerna som avser brandskyddet för en nybyggnad, den kursiva stilen anger de krav som ställs enligt BBR 2002. Ur kapitlet har ett antal punkter valts ut som kan anses vara viktiga ur synpunkt på den verksamhet som bedrivs på Sundspärlan.

5:1 Allmänt

BBR 5:12 Dokumentation

"En brandskyddsdocumentation skall upprättas. Av denna skall framgå förutsättningarna för utförandet av Brandskyddet samt brandskyddets utformning."

På Sundspärlan finns ingen brandskyddsdocumentation.

5:2 Brandtekniska klasser och övriga förutsättningar

BBR 5:21 Byggnad

"Byggnader skall utföras i klass Br1, Br2 eller Br3. Byggnader där brand medför stor risk för personskador skall utföras i klass Br1. Byggnader där brand kan medföra måttlig risk för personskador skall utföras i klass Br2. Övriga byggnader får utföras i klass Br3."

Sundspärlan klassas som en Br2-byggnad eftersom det är en samlingslokal på markplan.

BBR 5:232 Brandcell

"Med brandcell avses en avgränsad del av en byggnad inom vilken en brand under en föreskriven minsta tid kan utvecklas utan att sprida sig till andra delar av byggnaden"

Sundspärlan är indelad i tre olika brandceller.

BBR 5:233 Utrymningsväg

"En utrymningsväg skall vara en utgång direkt till gata eller motsvarande eller en utgång till terrass, gårdsplan, eller dylikt från vilken gata eller motsvarande lätt kan nå"

I Sundspärlans fall ledde alla utrymningsvägar direkt ut till gatan eller det fria.

5:3 Utrymning vid brand

BBR 5:31 Allmänt

"Byggnader skall utformas så att tillfredsställande utrymning kan ske vid brand."

Utrymningssimuleringar som gjorts i Simulex på de brandscenarier som beräknats visar att tillfredsställande utrymning kan skapas vid alla scenarier, om än dock med liten marginal.

BBR 5:341 Passagemått i utrymningsväg

"Utrymningsvägar skall utformas med sådan rymlighet och framkomlighet att de kan betjäna det antal personer de är avsedda för".

Sundspärlan uppfyller kraven.

BBR 5:342 Dörr i utrymningsväg

"Dörrar till eller i en utrymningsväg skall vara utåtgående i utrymningsriktningen och lätt identifierbara som utgångar. Dörrar till en utrymningsväg skall vara lätt öppningsbara".

Dörrarna i utrymningsvägarna på Sundspärlan var alla utåtgående och mer eller mindre lätta att öppna.

BBR 5:3541 Automatiskt brandlarm

"I byggnader eller i delar av byggnader där krav på tidig upptäckt av brand ställs skall automatiskt brandlarm installeras. Detektering skall, där så är möjligt, ske med hjälp av rökdetektorer".

På sundspärlan fanns varken automatiskt brandlarm eller rökdetektorer

BBR 5:3711 Utrymningslarm

"Samlingslokaler skall förses med utrymningslarm som aktiveras automatiskt eller från bemannad plats vid brandindikation".

På Sundspärlan hade man larmknappar på ett flertal strategiska platser som aktiverades av personalen vid brandindikation. När man trycker in knappen tänds automatiskt belysningen och musiken stängs av varpå ett talande meddelande förklarar att brand uppstått i byggnaden samt att man ska bege sig till närmaste nödutgång.

BBR 5:3712 Nödbelysning m.m.

"Samlingslokaler skall vara försedda med allmänbelysning och nödbelysning. Omedelbart utanför utgångar till det fria skall nödbelysning anordnas. Den belysning som behövs i samlingslokaler vid utrymning skall kunna tändas från en plats i lokalen".

På Sundspärlan finns det nödbelysning.